

**Engenharias, São Judas – Unimonte**  
**Transferência de Calor, Prof. Simões**  
**Convecção e Condução**

1. A parede de um forno é fabricada por uma camada de 25 cm de tijolo refratário ( $k=1,278 \text{ W/mK}$ ) e uma camada de 15 cm de tijolo isolante ( $k=0,274 \text{ W/mK}$ ). Dentro do forno o ar está a  $500^\circ\text{C}$  e fora do forno a temperatura ambiente é de  $25^\circ\text{C}$ . Suponha que o coeficiente de película interno seja  $h=67 \text{ W/m}^2\text{K}$  e o externo seja  $h=14 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Determine o fluxo de calor por unidade de área e a temperatura entre as paredes e nas superfícies de ambas. Resposta:  $573 \text{ W}$ ;  $T_{\text{interna}}=491^\circ\text{C}$ ;  $T_{\text{entre}}=379^\circ\text{C}$ ;  $T_{\text{externa}}=65^\circ\text{C}$

2. Calcule o fluxo de calor em  $\text{BTU/h}$  por unidade de área ( $\text{ft}^2$ ) através de uma parede de duas camadas com as seguintes características: lado de interno:  $T_1=250^\circ\text{F}$ ;  $h_1=12 \text{ Btu/hr}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}$ ; parede interna:  $L_1=0,8 \text{ ft}$ ;  $k_1 = 0,70 \text{ Btu/hr}\cdot\text{ft}\cdot^\circ\text{F}$ ; lado externo:  $T_5=40^\circ\text{F}$ ;  $h_2=3,0 \text{ Btu/hr}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}$ ; parede externa:  $L_2=1,2 \text{ ft}$ ;  $k_2 = 1,1 \text{ Btu/hr}\cdot\text{ft}\cdot^\circ\text{F}$ . Determine a temperatura entre as paredes. Resposta:  $79 \text{ BTU/h}$ ;  $T=153^\circ\text{F}$ .

3. Um reator de paredes planas foi construído em aço inox e tem formato cúbico com  $2,0 \text{ m}$  de lado. A temperatura no interior do reator é  $600^\circ\text{C}$  e o coeficiente de película interno é  $45 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$ . Tendo em vista o alto fluxo de calor, deseja-se isolá-lo com lã de rocha ( $k=0,05 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ) de modo a reduzir a transferência de calor. Considerando desprezível a resistência térmica da parede de aço inox e que o ar ambiente está a  $20^\circ\text{C}$  com coeficiente de película  $5,0 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$ , calcular (a) o fluxo de calor antes da aplicação da isolamento; (b) a espessura do isolamento a ser usado, sabendo-se que a temperatura do isolamento na face externa deve ser igual a  $62^\circ\text{C}$ ; (c) a redução (em %) do fluxo de calor após a aplicação do isolamento. Resposta: (a)  $6,3 \times 10^4 \text{ kcal/h}$ ; (b)  $13 \text{ cm}$ ; (c)  $92\%$ .

4. No interior de um reator, um metal no estado líquido é mantido a  $700^\circ\text{C}$ . A parede do reator é de aço, e tem  $10 \text{ mm}$  de espessura. A temperatura na superfície externa no reator deve ser mantida em  $35^\circ\text{C}$ . Para minimizar os custos de isolamento, dois materiais serão usados na superfície externa: primeiro um isolante de alta temperatura (mais caro), aplicado sobre o aço e, depois, magnésia (menos caro) externamente. A temperatura máxima suportada pela magnésia é  $300^\circ\text{C}$ . Pede-se: (a) especifique a espessura de cada material isolante; (b) Sabendo que o custo por  $\text{cm}$  de espessura colocado do isolante de alta temperatura é duas vezes o da magnésia, calcule a elevação percentual de custo se fosse utilizado apenas o isolante de alta temperatura. Dados: temperatura ambiente:  $20^\circ\text{C}$ ; coeficiente de película interno:  $570 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; coeficiente de película externo:  $23 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; condutividade térmica do aço:  $43 \text{ W/mK}$ ; condutividade térmica do isolante de alta temperatura:  $0,104 \text{ W/mK}$ ; condutividade térmica da magnésia:  $0,078 \text{ W/mk}$ . Resposta: (a)  $L_{\text{mag}}=6,0 \text{ cm}$ ;  $L_{\text{int}}=12 \text{ cm}$ ; (b)  $33\%$  mais caro.

5. A parede plana de um tanque para armazenagem de produtos químicos é constituída de uma camada interna à base de carbono ( $k=10 \text{ Kcal/h}\cdot\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ) de  $40 \text{ mm}$  de espessura, uma camada intermediária de refratário ( $k=0,14 \text{ Kcal/h}\cdot\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ) e um invólucro de aço ( $k=45 \text{ Kcal/h}\cdot\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ) com  $10 \text{ mm}$  de espessura. Com a superfície interna da camada carbono a  $190^\circ\text{C}$  e o ar ambiente a  $30^\circ\text{C}$ , a temperatura da superfície externa do aço não deve ser maior que  $60^\circ\text{C}$  por motivos de segurança dos trabalhadores. Considerando que o coeficiente de película no ar externo é  $12 \text{ Kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$ , determine: (a) a espessura mínima do refratário e (b) a temperatura da superfície externa do aço se a camada de refratário for trocada por uma de isolante ( $k = 0,03 \text{ Kcal/h}\cdot\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ) de mesma espessura. Resposta: (a)  $L_{\text{ref}}=5,0 \text{ cm}$ ; (b)  $T=38^\circ\text{C}$ .

6. O interior de um refrigerador, cujas dimensões são 0,5 x 0,5 m de área da base e 1,25 m de altura, deve ser mantido a 4,0°C. As paredes (incluindo fundo e tampo) do refrigerador são construídas de duas chapas de aço ( $k=36 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ) de 3,0 mm de espessura, com 65 mm de material isolante ( $k=0,213 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ ) entre elas. O coeficiente de película da superfície interna é  $10 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$ , enquanto que na superfície externa é de  $12,5 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$ . Calcular (a) a potência (em HP) do motor do refrigerador para que o fluxo de calor removido do interior da geladeira mantenha a temperatura especificada, numa cozinha cuja temperatura pode chegar a 30°C e (b) as temperaturas das superfícies interna e externa da parede do refrigerador. Resposta: (a) 0,30 HP; (b)  $T_{\text{int}}=10^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{ext}}=29,5^\circ\text{C}$ .

7. Um reservatório esférico de aço ( $k=47 \text{ W/mK}$ ) com 1,0 m de diâmetro interno e 10 cm de espessura, é utilizado para armazenagem de um produto a alta pressão, que deve ser mantido a 160°C. Para isto o reservatório deve ser isolado termicamente, com um material isolante ( $k=0,35 \text{ W/mK}$ ). Sabendo-se que os coeficientes de película do produto e do ar são  $93 \text{ W/m}^2\text{K}$  e  $23 \text{ W/m}^2\text{K}$ , respectivamente, e que a temperatura do ar ambiente é 20°C, pede-se (a) o fluxo de calor antes do isolamento, (b) a espessura de isolante necessária para que o fluxo de calor através do conjunto seja igual a 30 % do anterior e (c) as temperaturas, na interface aço-isolante e na superfície externa do isolante. Resposta: (a) 11 kW; (b) 5,0 cm; (c)  $T_{\text{int}}=152^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{entre}}=150^\circ\text{C}$  e  $T_{\text{ext}}=52,2^\circ\text{C}$ .

8. Duas substâncias são misturadas reagindo entre si e liberando calor dentro de um tubo de diâmetro interno 7,62 cm e espessura igual a 0,5 cm ( $k=37 \text{ W/mK}$ ). O comprimento do tubo é 10 m. Todo calor gerado na reação é cedido ao ambiente de modo que a temperatura da mistura, de 180°C, permanece constante. Por motivo de segurança, será necessário isolar a tubulação, de modo que a temperatura na face externa do isolante ( $k=0,076 \text{ W/mK}$ ) não ultrapasse 50°C. O ar externo está a 25°C, com coeficiente de película  $14 \text{ W/m}^2\text{K}$ . O coeficiente de película da mistura é  $105 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Pede-se a espessura mínima necessária do isolante, para atender a condição desejada. Resposta: 4,1 cm.

9. Um cilindro longo ( $k=0,407 \text{ W/mK}$ ) de diâmetro externo 64 mm e interno 60 mm é aquecido internamente por resistência elétrica de modo a manter a temperatura da superfície externa a 90°C. Quando imerso em água a 25°C, a potência requerida na resistência é 28 kW por metro de comprimento do cilindro. Quando imerso no ar a 25°C, a potência requerida é 400 W por metro de comprimento do cilindro. Calcular (a) os coeficientes de película a água e o ar e (b) a temperatura da superfície interna do cilindro em ambos casos. Resposta: (a)  $h_{\text{água}}=2,1\times 10^{-3} \text{ W/m}^2\text{K}$ ;  $h_{\text{ar}}=31 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; (b)  $T_{c/\text{água}}=796^\circ\text{C}$ ;  $T_{c/\text{ar}}=100^\circ\text{C}$ .

10. Um submarino deve ser projetado para proporcionar uma temperatura agradável à tripulação não inferior a 20°C. O submarino pode ser idealizado como um cilindro de 10 m de diâmetro e 70 m de comprimento. O coeficiente de película interno é cerca de  $14 \text{ W/m}^2\text{K}$ , enquanto que, no exterior, estima-se que varie entre  $80 \text{ W/m}^2\text{K}$  (submarino parado) e  $700 \text{ W/m}^2\text{K}$  (velocidade máxima). A construção das paredes do submarino é do tipo sanduíche com uma camada externa de 19 mm de aço inoxidável ( $k=16,3 \text{ W/mK}$ ), uma camada de 25 mm de fibra de vidro ( $k=0,040 \text{ W/mK}$ ) e uma camada de 6,0 mm de alumínio ( $k=200 \text{ W/mK}$ ) no interior. Determine a potência necessária da unidade de aquecimento requerida se a temperatura da água do mar varia entre 7,0°C e 12°C. Resposta: 41 kW