

Lista de exercícios – Caps. 9 e 10

TMEC-030 Transferência de Calor e Massa – Período especial 2017/2

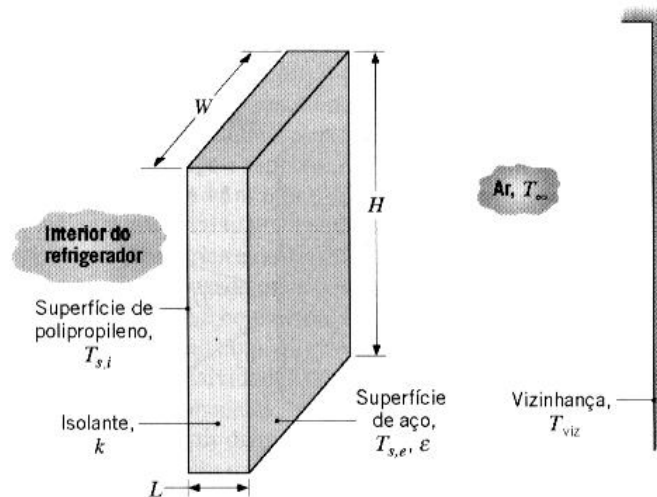
1. (Incropera et al., 6 ed., 9.1) Usando os valores para a massa específica da água da Tabela A.6, calcule o coeficiente de expansão volumétrica térmica a 300 K a partir de sua definição, Equação 9.4, e compare o seu resultado com o valor apresentado na tabela. Resp: $300,9 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

2. (Incropera et al., 6 ed., 9.6) Seja uma grande placa vertical com uma temperatura superficial uniforme de 130°C , suspensa em ar quiescente a 25°C e a pressão atmosférica.
 - a) Estime a espessura da camada-limite em uma posição a 0,25 m da aresta inferior da placa. Resp: 17,5 mm.
 - b) Qual é a velocidade máxima na camada-limite nesse local e em qual posição na camada-limite esse valor máximo ocorre? Resp: 0,47 m/s; 3,5 mm.
 - c) Usando o resultado da solução por similaridade, Equação 9.19, determine o coeficiente de transferência de calor a 0,25 m da aresta inferior da placa. Resp: $4,3 \text{ W/m}^2\text{K}$.
 - d) Em qual local na placa, medido a partir de sua aresta inferior, a camada-limite irá se tornar turbulenta? Resp: 0,60 m.

3. (Incropera et al., 6 ed., 9.9) Considere uma série de aletas retangulares verticais, que deve ser usada para resfriar um componente eletrônico, montada em ar atmosférico quiescente a $T_\infty = 27^\circ\text{C}$. Cada aleta possui $L = 20 \text{ mm}$ e $H = 150 \text{ mm}$, e opera a uma temperatura aproximadamente uniforme de $T_s = 77^\circ\text{C}$.
 - a) Admitindo que cada superfície da aleta seja uma placa vertical em um meio quiescente infinito, descreva sucintamente o motivo da existência de um espaçamento ótimo entre aletas S . Usando a Figura 9.4, estime o valor ótimo de S para as condições especificadas. Resp: 34 mm.
 - b) Para o valor ótimo de S e uma espessura das aletas de $t = 1,5 \text{ mm}$, estime a taxa de transferência de calor saindo das aletas para uma série de aletas com largura $W = 355 \text{ mm}$. Resp: 16,8 W.

4. (Incropera et al., 6 ed., 9.24) Uma placa quadrada em puro alumínio, 0,5 m de lado com 16 mm de espessura, está inicialmente a 300°C e encontra-se suspensa no interior de uma grande câmara. As paredes da câmara são mantidas a 27°C , da mesma forma que o ar em seu interior. Se a emissividade da superfície da placa é de 0,25, qual é a taxa de resfriamento inicial? É razoável supor a temperatura da placa uniforme durante o processo de resfriamento? Resp: -0,136 K/s.

5. (Incropera et al., 6 ed., 9.29) A porta de um refrigerador possui uma altura de $H = 1 \text{ m}$ e uma largura de $W = 0,65 \text{ m}$ e está localizada em uma grande sala na qual o ar e as paredes estão a $T_\infty = T_{\text{viz}} = 25^\circ\text{C}$. A porta é formada por uma camada de isolamento térmico à base de poliestireno ($k = 0,03 \text{ W/mK}$) posicionada entre finas chapas de aço ($\varepsilon = 0,6$) e de polipropileno. Sob condições normais de operação, a superfície interna da porta é mantida a uma temperatura fixa de $T_{s,i} = 5^\circ\text{C}$. Estime o ganho de calor através da porta na pior condição, que corresponde à ausência da camada de isolante ($L = 0$). Resp: 94,3 W.



6. (Incropera et al., 6 ed., 9.34) O escoamento de ar através de um longo duto de ar-condicionado, com formato quadrado e 0,2 m de lado, mantém a sua superfície externa a uma temperatura de 10°C. Se o duto, na posição horizontal, não possui isolamento térmico e está exposto ao ar a 35°C no porão de uma casa, qual é o ganho de calor por unidade de comprimento do duto? Resp: 86,5 W/m.

7. (Incropera et al., 6 ed., 9.40) Uma grade de aquecimento circular, com diâmetro de 0,25 m e emissividade de 0,9 é mantida a uma temperatura superficial constante de 130°C. Qual é a potência elétrica necessária quando o ar ambiente e a vizinhança estão a 24°C? Resp: 90,2 W.

8. (Incropera et al., 6 ed., 9.54) Uma tubulação de vapor horizontal, sem isolamento térmico, passa através de uma grande sala cujas paredes e o ar ambiente estão a 300 K. A tubulação, com 150 mm de diâmetro, possui uma emissividade de 0,85 e uma temperatura superficial externa de 400 K. Calcule a perda de calor por unidade de comprimento da tubulação. Resp: 698 W/m.

9. (Incropera et al., 6 ed., 9.58) Uma longa linha de vapor horizontal, com 89 mm de diâmetro externo e uma emissividade de 0,8 transporta vapor a 200°C e está exposta a ar atmosférico e a uma grande vizinhança a uma temperatura equivalente de 20°C.

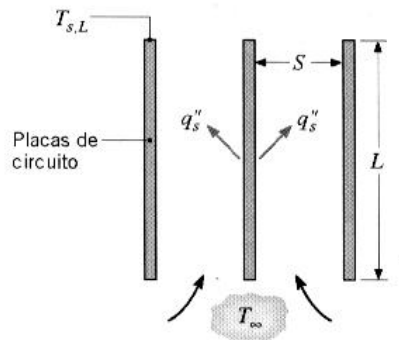
a) Calcule a perda de calor por unidade de comprimento em um dia calmo. Resp: 929 W/m.

b) Calcule a perda de calor em um dia com vento, com sua velocidade igual a 8 m/s. Resp: 2340 W/m.

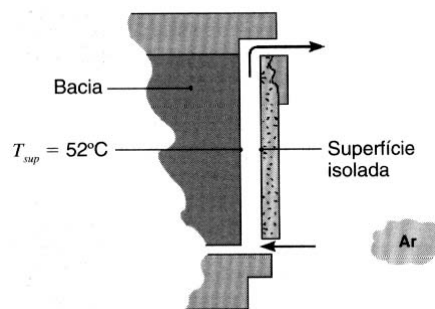
c) Para as condições da parte (a), calcule a perda térmica com uma camada de isolante ($k = 0,08 \text{ W/mK}$) com 20 mm de espessura. A perda térmica irá mudar significativamente com uma velocidade de vento considerável? Resp: 187 W/m.

10. (Incropera et al., 6 ed., 9.83) Uma série de placas de circuitos verticais encontra-se imersa em ar ambiente quiescente a $T_{\infty} = 17^{\circ}\text{C}$. Embora os componentes sejam salientes em relação aos substratos, é razoável, em uma primeira aproximação, considerar placas planas com fluxo

térmico na superfície uniforme q_s'' . Considere placas com comprimento e largura $L = W = 0,4$ m e espaçamento $S = 25$ mm. Se a temperatura máxima admissível na placa é de 77°C , qual é a potência máxima que pode ser dissipada por placa? Resp: 91,8 W



11. (Incropera et al., 6 ed., 9.85) A porta de um lava-louças com largura de 580 mm possui um respiradouro de ar vertical com 500 mm de altura e que apresenta um espaçamento de 20 mm entre a bacia interna, que opera a 52°C , e uma placa externa, que é isolada termicamente.



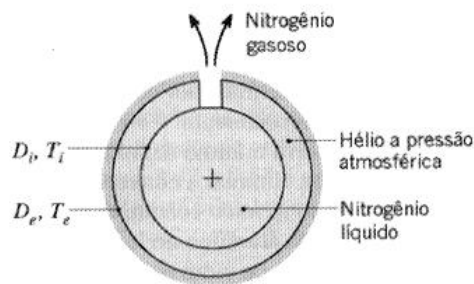
- Determine a perda de calor na superfície da bacia quando o ar ambiente está a 27°C . Resp: 28,8 W.
- Uma mudança no projeto da porta proporciona a oportunidade de aumentar ou diminuir o espaçamento de 20 mm em 10 mm. Quais recomendações você faria com relação a como a variação no espaçamento irá alterar a perda de calor?

12. (Incropera et al., 6 ed., 9.91) A placa absorvedora e a placa de cobertura adjacente em um coletor solar plano estão a 70° e 35°C , respectivamente, e encontram-se separadas por uma camada de ar com 0,05 m de espessura. Qual é a taxa de transferência de calor por convecção natural, por unidade de área superficial, entre as duas placas, se elas estão inclinadas com 60° em relação à horizontal? Resp: 84 W/m^2 .

13. (Incropera et al., 6 ed., 9.93) Uma cavidade retangular é formada por duas placas paralelas quadradas com 0,5 m de lado, separadas por uma distância de 50 mm. As fronteiras laterais da região entre as placas são isoladas. A placa aquecida é mantida a 325 K e a placa resfriada a 275 K. Estime o fluxo térmico entre as superfícies para três orientações da cavidade, usando a notação da Figura 9.6: vertical com $\tau = 90^\circ$, horizontal com $\tau = 0^\circ$ e horizontal com $\tau = 180^\circ$. Resp: 124 W/m^2 ; 146 W/m^2 ; 26 W/m^2 .

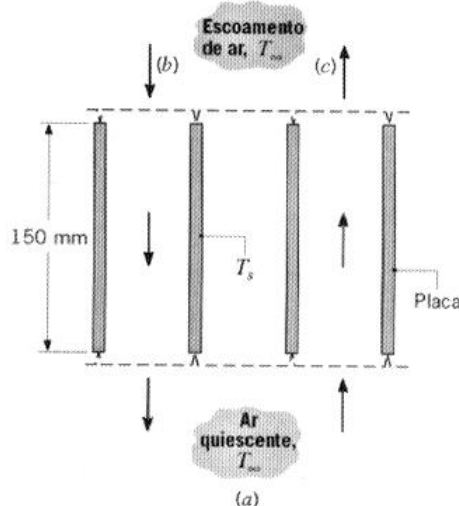
14. (Incropera et al., 6 ed., 9.104) As superfícies de dois longos tubos horizontais concêntricos, com paredes delgadas e raios de 100 e 125 mm, são mantidas a 300 e 400 K, respectivamente. Sendo a região anular pressurizada com nitrogênio a 5 atm, estime a taxa de transferência de calor convectiva, por unidade de comprimento dos tubos. Resp: 463 W/m.

15. (Incropera et al., 6 ed., 9.105) Nitrogênio líquido é armazenado em um vaso esférico com parede delgada, cujo diâmetro é de $D_i = 1$ m. O vaso está posicionado concentricamente no interior de um recipiente esférico maior, também com parede delgada e que possui um diâmetro $D_e = 1,10$ m. A cavidade formada entre os vasos esféricos é preenchida com hélio a pressão atmosférica.



Sob condições normais de operação, as temperaturas nas superfícies das esferas interna e externa são $T_i = 77$ K e $T_e = 283$ K. Sendo o calor latente de vaporização do nitrogênio igual a 2×10^5 J/kg, qual é a taxa mássica $\dot{m}$ (kg/s) de nitrogênio gasoso perdida no sistema? Resp: 0,022 kg/s.

16. (Incropera et al., 6 ed., 9.109) Um conjunto de placas de circuitos verticais com 150 mm de altura deve ser resfriado com ar de tal maneira que a temperatura nas placas não seja superior a 60°C , quando a temperatura do ambiente é de 25°C .

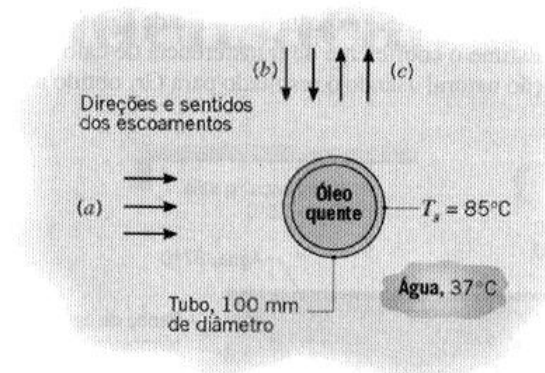


Admitindo condições de superfícies isotérmicas, determine a dissipação de potência elétrica admissível por placa nas seguintes configurações de resfriamento:

- a) Somente convecção natural (nenhum escoamento forçado de ar). Resp: 54,6 W/m.
- b) Escoamento de ar com uma velocidade descendente de 0,6 m/s. Resp: 72,3 W/m.
- c) Escoamento de ar com uma velocidade ascendente de 0,3 m/s. Resp: 70,7 W/m.

d) Escoamento de ar com uma velocidade (ascendente ou descendente) de 5 m/s. Resp: 235 W/m.

17. (Incropera et al., 6 ed., 9.110) Um tubo horizontal com 100 mm de diâmetro transporta óleo quente que deve ser usado no projeto de um aquecedor de água industrial. Com base em uma vazão consumida de água típica, a sua velocidade sobre o tubo é de 0,5 m/s. O óleo quente mantém a temperatura da superfície externa do tubo a 85°C e a temperatura da água é de 37°C.



Investigue o efeito da direção do escoamento sobre a taxa de transferência de calor (W/m) para escoamentos: (a) horizontal; (b) descendente; e (c) ascendente.

18. (Incropera et al., 6 ed., 10.4) Uma corrente elétrica passa por um longo fio com 1 mm de diâmetro. Há dissipação de 3150 W/m e a temperatura superficial do fio atinge 126°C, quando ele está submerso em água a 1 atm. Qual o coeficiente de transferência de calor da ebulição? Estime o valor do coeficiente de correlação $C_{s,f}$. Resp: 38.600 W/m²K; 0,017.

19. (Incropera et al., 6 ed., 10.7) Uma expressão simples para levar em consideração o efeito da pressão no coeficiente convectivo da ebulição nucleada em água (W/m²K) é:

$$h = C(\Delta T_e)^n \left(\frac{p}{p_a} \right)^{0,4}$$

onde p e p_a são a pressão do sistema e a pressão atmosférica padrão, respectivamente. Para uma placa horizontal e no intervalo $15 < q_s'' < 235$ kW/m², $C = 5,56$ e $n = 3$. A unidade de ΔT_e é o Kelvin. Compare as estimativas feitas com essa expressão com aquelas obtidas pela correlação de Rohsenow ($C_{s,f} = 0,013$; $n = 1$) para pressões de 2 e 5 bar, com $\Delta T_e = 10^\circ\text{C}$. Resp: 73 kW/m²; 232 kW/m²; 105 kW/m²; 439 kW/m².

20. (Incropera et al., 6 ed., 10.10) O fundo de uma panela de cobre, que possui 150 mm de diâmetro, é mantido a 115°C por um elemento de aquecimento elétrico. Estime a potência necessária para ferver a água nesta panela. Determine a taxa de evaporação. Qual é a razão entre o fluxo térmico na superfície e o fluxo térmico crítico? Qual temperatura na panela é requerida para atingir o fluxo térmico crítico? Resp: 8,55 kW/ 14 kg/h; 0,384; 130°C.

21. (Incropera et al., 6 ed., 10.13) Etilenoglicol saturado a 1 atm é aquecido por uma superfície horizontal revestida de cromo, que possui um diâmetro de 200 mm e é mantida a uma temperatura de 480 K. Estime a potência de aquecimento exigida e a taxa de evaporação. Qual fração da potência máxima associada ao fluxo térmico crítico é representada pela potência exigida no processo? A 470 K, as propriedades do líquido saturado são: $\mu = 0,38 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$, $c_p = 3280 \text{ J/kgK}$ e $Pr = 8,7$. A massa específica do vapor saturado é $\rho = 1,66 \text{ kg/m}^3$. Considere as constantes de ebulição nucleada iguais a $C_{s,f} = 0,01$ e $n = 1,0$. Resp: 559 W; $689 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$; 0,026

22. (Incropera et al., 6 ed., 10.21) Qual é o fluxo térmico crítico na ebulição de água a 1 atm sobre uma grande superfície horizontal na superfície da lua, onde a aceleração gravitacional equivalente a um sexto da que existe na superfície da Terra? Resp: $0,81 \text{ MW/m}^2$

23. (Incropera et al., 6 ed., 10.27) Uma barra de aço, com 20 mm de diâmetro, 200 mm de comprimento e emissividade 0,9 é removida de um forno a 455°C e subitamente submersa na posição horizontal em um banho de água à pressão atmosférica. Estime a taxa inicial de transferência de calor que sai da barra. Resp: 835 W.

24. (Incropera et al., 6 ed., 10.28) Uma corrente elétrica passa através de um condutor horizontal com 2 mm de diâmetro e emissividade de 0,5, quando este condutor se encontra imerso em água à pressão atmosférica. Estime a dissipação de potência por unidade de comprimento do condutor necessária para manter a sua temperatura superficial em 555°C . Resp: 858 kW/m.

25. (Incropera et al., 6 ed., 10.30) Um elemento aquecedor de 5 mm de diâmetro é mantido com uma temperatura superficial de 350°C , quando imerso horizontalmente em água sob pressão atmosférica. A cobertura do elemento é de aço inoxidável com acabamento de polimento mecânico com uma emissividade de 0,25.

a) Calcule a dissipação de potência elétrica e a taxa de produção de vapor por unidade de comprimento do aquecedor. Resp: 907 W/m; $1,4 \text{ kg/m}\cdot\text{h}$

b) Se o aquecedor fosse operado na mesma taxa de dissipação de potência no regime de ebulição nucleada, qual temperatura a superfície atingiria? Calcule a taxa de produção de vapor por unidade de comprimento para essa condição de operação. Resp: $107,6^\circ\text{C}$; $1,4 \text{ kg/m}\cdot\text{h}$

26. (Incropera et al., 6 ed., 10.37) Água, saturada a 1 atm e a uma velocidade de 2 m/s, escoia sobre um elemento de aquecimento circular com 5 mm de diâmetro. Qual é a taxa máxima de aquecimento (W/m) para a ebulição em piscina? Resp: 68,0 kW/m.

27. (Incropera et al., 6 ed., 10.41) Vapor d'água saturado a 0,1 bar condensa com um coeficiente de transferência de calor de $6800 \text{ W/m}^2\text{K}$ no lado externo de um tubo de latão, que possui diâmetros interno e externo de 16,5 e 19 mm, respectivamente. O coeficiente de

transferência de calor na água escoando no interior do tubo é igual a $5200 \text{ W/m}^2\text{K}$. Estime a taxa de condensação do vapor por unidade de comprimento do tubo, sendo a temperatura média da água igual a 30°C . Resp: $1,11 \times 10^{-3} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$.

28. (Incropera et al., 6 ed., 10.43) Vapor d'água saturado a 1 atm condensa sobre a superfície externa de um tubo vertical com 100 mm de diâmetro e 1 m de comprimento, com uma temperatura superficial uniforme de 94°C . Estime a taxa de condensação total e a taxa de transferência de calor para o tubo. Resp: 16,0 kW; $7,1 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$.

29. (Incropera et al., 6 ed., 10.50) O condensador de uma planta de potência a vapor é constituído por uma matriz quadrada alinhada com 625 tubos, cada um com diâmetro de 25 mm. Considere condições nas quais vapor d'água saturado a 0,105 bar condensa sobre a superfície externa dos tubos, cuja temperatura de parede igual a 17°C é mantida pelo escoamento de refrigerante no interior dos tubos. Qual é a taxa de transferência de calor para a água por unidade de comprimento da matriz tubular? Qual é a taxa de condensação correspondente? Resp: 4,8 MW/m; $1,93 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$.

30. (Incropera et al., 6 ed., 10. 61) Determine a taxa de condensação sobre uma esfera com 100 mm de diâmetro e com uma temperatura superficial de 150°C , que se encontra imersa em vapor saturado de etilenoglicol a uma pressão de 1 atm. Aproxime as propriedades do líquido pelas correspondentes à condição de saturação a 373 K (Tabela A.5). Resp: $2,78 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$.