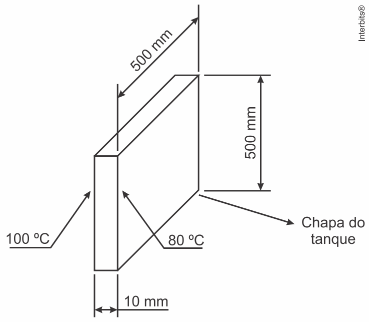
TRANSMISSÃO DE CALOR

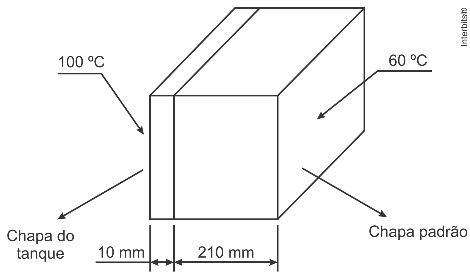
1. (IME 2015) Uma fábrica produz um tipo de resíduo industrial na fase líquida que, devido à sua toxidade, deve ser armazenado em um tanque especial monitorado à distância, para posterior tratamento e descarte. Durante uma inspeção diária, o controlador desta operação verifica que o medidor de capacidade do tanque se encontra inoperante, mas uma estimativa confiável indica que $1/3$ do volume do tanque se encontra preenchido pelo resíduo. O tempo estimado para que o novo medidor esteja totalmente operacional é de três dias e neste intervalo de tempo a empresa produzirá, no máximo, oito litros por dia de resíduo.

Durante o processo de tratamento do resíduo, constata-se que, com o volume já previamente armazenado no tanque, são necessários dois minutos para que uma determinada quantidade de calor eleve a temperatura do líquido em $60\,°C$. Adicionalmente, com um corpo feito do mesmo material do tanque de armazenamento, são realizadas duas experiências relatadas abaixo:

Experiência 1: Confecciona-se uma chapa de espessura $10\,mm$ cuja área de seção reta é um quadrado de lado $500\,mm$. Com a mesma taxa de energia térmica utilizada no aquecimento do resíduo, nota-se que a face esquerda da chapa atinge a temperatura de $100\,°C$ enquanto que a face direita alcança $80\,°C$.



Experiência 2: A chapa da experiência anterior é posta em contato com uma chapa padrão de mesma área de seção reta e espessura $210\,mm$. Nota-se que, submetendo este conjunto a 50% da taxa de calor empregada no tratamento do resíduo, a temperatura da face livre da chapa padrão é $60\,°C$ enquanto que a face livre da chapa da experiência atinge $100\,°C$.



Com base nestes dados, determine se o tanque pode acumular a produção do resíduo nos próximos três dias sem risco de transbordar. Justifique sua conclusão através de uma análise termodinâmica da situação descrita e levando em conta os dados abaixo:

Dados:

- calor específico do resíduo: $5000\,J/kg\,°C$;
- massa específica do resíduo: $1200\,kg/m^3$;
- condutividade térmica da chapa padrão: $420\,W/m\,°C$.

2. (UFG 2014) O corpo humano consegue adaptar-se a diferentes temperaturas externas, mantendo sua temperatura aproximadamente constante em 37 °C por meio da produção de energia por processos metabólicos e trocas de calor com o ambiente. Em uma situação típica, em que um indivíduo esteja em repouso em um ambiente a 25 °C, ele libera calor para o ambiente por condução térmica a uma taxa de 15 J / s e por evaporação de água por meio da pele a uma taxa de 60 kJ/ hora.

Considerando o exposto, calcule:

a quantidade de água, em $m\ell$, que o indivíduo deve ingerir para compensar a perda por evaporação em duas horas.

a espessura média da pele do indivíduo, considerando a área total da superfície da sua pele igual a $1{,}5\ m^2$ e a condutibilidade térmica (k) da mesma igual a $2 \times 10^{-3}\ W \cdot m^{-1} \cdot {}^\circ C^{-1}$.

Dados: Calor latente de evaporação da água à $37\ {}^\circ C$: $2400\ kJ/kg$

Densidade da água: $d = 1\ kg/litro$

3. (UFG 2013) Uma caixa de isopor em forma de paralelepípedo de dimensões $0{,}4 \times 0{,}6 \times 0{,}4\ m$ contém 9 kg de gelo em equilíbrio térmico com água. Esse sistema é fechado e mantido em uma sala cuja temperatura ambiente é de 30°C. Tendo em vista que o gelo é completamente derretido após um intervalo de 10 horas, calcule:

a. o fluxo de calor, em watt, que o conteúdo da caixa de isopor recebe até derreter o gelo;

b. a espessura da caixa de isopor. Utilize o coeficiente de transmissão de calor do isopor $4{,}0 \times 10^{-2}$ W/m/°C.

Dados:

1 cal ≈ 4,0 J

calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g

4. (UPE 2010) Uma das extremidades de uma barra metálica isolada é mantida a 100 °C, e a outra extremidade é mantida a 0 °C por uma mistura de gelo e água. A barra tem 60,0 cm de comprimento e uma seção reta com área igual a 1,5 cm^2. O calor conduzido pela barra produz a fusão de 9,0 g de gelo em 10 minutos. A condutividade térmica do metal vale em W/mK:

Dado: calor latente de fusão da água = 3,5 x 10^5 J/kg

5. (UFC 2009) Uma barra cilíndrica reta metálica, homogênea, de comprimento L, com seção transversal A, isolada lateralmente a fim de evitar perda de calor para o ambiente, tem suas duas extremidades mantidas a temperaturas T_1 e T_2, $T_1 > T_2$. Considere que o regime estacionário tenha sido atingido.

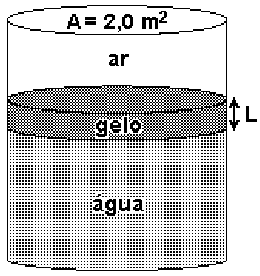
a. Escreva a expressão do fluxo de calor por condução, sabendo-se que esse fluxo é proporcional à área da seção transversal e à diferença de temperatura entre os extremos da região de interesse ao longo da direção do fluxo e inversamente proporcional à distância entre tais extremos.

b. Determine a temperatura de um ponto da barra localizado a uma distância L/3 da extremidade de maior temperatura em função de T_1 e T_2.

6. (UNESP 2009) As constantes termodinâmicas da madeira são muito variáveis e dependem de inúmeros fatores. No caso da condutividade térmica (k_m), um valor aceitável é $k_m = 0{,}15\ W/(m.°C)$, para madeiras com cerca de 12% de umidade. Uma porta dessa madeira, de espessura $d = 3{,}0 \cdot 10^{-2} m$ e área $S = 2{,}0\ m^2$, separa dois ambientes a temperaturas de 20 °C e 30 °C. Qual o intervalo de tempo necessário para que 300 J de calor atravessem essa porta, de um ambiente para outro, supondo que, durante a transferência de calor, as temperaturas dos ambientes não se alterem?

Expressão do fluxo de calor, em unidades do SI: $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{S \Delta T}{d}$, onde Δt é o tempo e ΔT é a variação de temperatura.

7. (UNICAMP 2007) Nas regiões mais frias do planeta, camadas de gelo podem se formar rapidamente sobre um volume de água a céu aberto. A figura a seguir mostra um tanque cilíndrico de água cuja área da base é $A = 2{,}0\ m^2$, havendo uma camada de gelo de espessura L na superfície da água. O ar em contato com o gelo está a uma temperatura T_{ar} = - 10 °C, enquanto a temperatura da água em contato com o gelo é T_{ag} = 0,0 °C.



a. O calor é conduzido da água ao ar através do gelo. O fluxo de calor Φ_{cal}, definido como a quantidade de calor conduzido por unidade de tempo, é dado por $\Phi_{cal} = kA\ (T_{ag} - T_{ar})/L$, onde $k = 4{,}0 \times 10^{-3}$ cal/(s cm °C) é a condutividade térmica do gelo. Qual é o fluxo de calor Φcal quando L = 5,0 cm?

b. Ao solidificar-se, a água a 0 °C perde uma quantidade de calor que é proporcional à massa de água transformada em gelo. A constante de proporcionalidade L_s é chamada de calor latente de solidificação. Sabendo-se que o calor latente de solidificação e a densidade do gelo valem, respectivamente, L_s = 80 cal/g e ρg = 0,90 g/cm³, calcule a quantidade de calor trocado entre a água e o ar para que a espessura do gelo aumente de 5,0 cm para 15 cm.

8. (UNESP 2018) A radiação solar incide sobre o painel coletor de um aquecedor solar de área igual a 2,0 m^2 na razão de 600 W/m^2, em média.

a. Considerando que em 5,0 minutos a quantidade da radiação incidente no painel transformada em calor é de $1,8 \times 10^5$ J, calcule o rendimento desse processo.

b. Considerando que o calor específico da água é igual a 4×10^3 J/(kg . °C) e que 90% do calor transferido para a água são efetivamente utilizados no seu aquecimento, calcule qual deve ser a quantidade de calor transferido para 250 kg de água contida no reservatório do aquecedor para aquecê-la de 20 °C até 38 °C.

ANOTAÇÕES

GABARITO

1. Cálculo o fluxo de calor (Φ) necessário para provocar a elevação da temperatura do resíduo.

Dados:

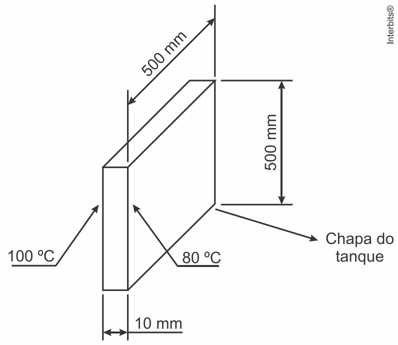
$\Delta\theta = 60\,°C;\ d = 1\,200\,kg/m^3;\ c = 5000\,J/kg\cdot°C.$

Sendo V_0 o volume inicial do resíduo, aplicando a definição de fluxo térmico, tem-se:

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{mc\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{dV_0 c\Delta\theta}{\Delta t} \Rightarrow \Phi = \frac{1200 \times V_0 \times 5000 \times 60}{120} \Rightarrow$$

$$\Phi = 3 \times 10^6\,V_0.$$

Experiência 1



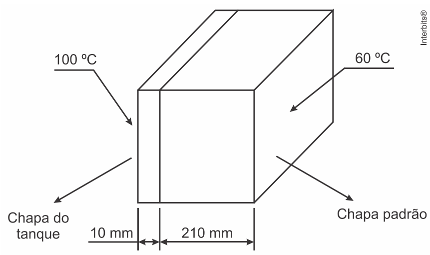
- o fluxo de calor é igual ao calculado acima: $\Phi_1 = \Phi = 3 \times 10^6\,V_0;$
- gradiente de temperatura: $\Delta\theta_1 = 100 - 80 = 20\,°C;$
- espessura da chapa: $e_1 = 10\,mm = 10^{-2}\,m;$
- lado da chapa: $L = 500\,mm = 5 \times 10^{-1}\,m;$
- área da secção transversal: $A = L^2 = \left(5 \times 10^{-1}\right)^2 = 25 \times 10^{-2}\,m^2.$

Pela equação de Fourier, calcula-se a condutividade térmica (k_T) da chapa do tanque:

$$\Phi_1 = \frac{k_T\,A\,\Delta\theta_1}{e_1} \Rightarrow 3 \times 10^6\,V_0 = \frac{k_T \times 25 \times 10^{-2}\,20}{10^{-2}} \Rightarrow k_T = \frac{3 \times 10^6 \times 10^{-2}\,V_0}{5} \Rightarrow$$

$$k_T = 6 \times 10^3\,V_0.$$

Experiência 2



- o fluxo de calor é igual 50% do fluxo anterior: $\Phi_2 = 0{,}5\Phi_1 = 0{,}5\left(3 \times 10^6\,V_0\right) \Rightarrow \Phi_2 = 1{,}5 \times 10^6\,V_0;$
- espessura da chapa do tanque: $e_1 = 10\,mm = 10^{-2}\,m;$
- lado da chapa: $L = 500\,mm = 5 \times 10^{-1}\,m;$
- área da secção transversal: $A = L^2 = \left(5 \times 10^{-1}\right)^2 = 25 \times 10^{-2}\,m^2.$

Para o cálculo da temperatura (θ) na junção da chapa do tanque com a chapa padrão, aplica-se novamente a equação de Fourier.

$$\Phi_2 = \frac{k_T\,A\,\Delta\theta_T}{e_1} \Rightarrow 1{,}5 \times 10^6\,V_0 = \frac{6 \times 10^3\,V_0 \times 25 \times 10^{-2}\,(100-\theta)}{10^{-2}} \Rightarrow$$

$$(100 - \theta) = 10$$

$$\theta = 10\,°C.$$

Para o fluxo através da chapa padrão, têm-se:

- o fluxo de calor é igual ao calculado acima: $\Phi_2 = 1{,}5 \times 10^6\,V_0;$
- gradiente de temperatura: $\Delta\theta_2 = 90 - 60 = 30\,°C;$
- espessura da chapa padrão: $e_1 = 210\,mm = 21 \times 10^{-2}\,m;$
- lado da chapa padrão: $L = 500\,mm = 5 \times 10^{-1}\,m;$
- área da secção transversal: $A = L^2 = \left(5 \times 10^{-1}\right)^2 = 25 \times 10^{-2}\,m^2.$
- Condutividade térmica da chapa padrão: $k_P = 420\,W/m\cdot°C.$

Recorrendo novamente à equação de Fourier:

$$\Phi_2 = \frac{k_P\,A\,\Delta\theta_2}{e_1} \Rightarrow 1{,}5 \times 10^6\,V_0 = \frac{420 \times 25 \times 10^{-2} \times 30}{21 \times 10^{-2}} \Rightarrow$$

$$V_0 = \frac{15 \times 10^3}{1{,}5 \times 10^6} = 0{,}01\,m^3 \Rightarrow V_0 = 10\,L.$$

Mas V_0 representa 1/3 do volume do V do tanque. Então:

$$V_0 = \frac{V}{3} \Rightarrow 10 = \frac{V}{3} \Rightarrow V = 30\,L.$$

São despejados diariamente no tanque, no máximo, 8 L de resíduo. Então volume máximo de resíduo no tanque após 3 dias é:

$$V_{máx} = V_0 + \Delta V = 10 + 3\cdot 8 \Rightarrow V_{máx} = 34\,L.$$

Sendo

$V_{máx} > V$, o tanque corre o risco de transbordar.

2.

a) $Q_{água} = Q_{evap} \Rightarrow mL = 60\cdot 2 \Rightarrow m\cdot 2.400 = 120 \Rightarrow m = \frac{120}{2.400} = 0{,}05\,kg.$

Considerando a densidade da água:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{0{,}05}{1} = 0{,}05\,\ell \Rightarrow \boxed{V = 50\,m\ell.}$$

b) Aplicando a equação de Fourier.

$$\varphi = \frac{k\,A\,\Delta\theta}{e} \Rightarrow e = \frac{k\,A\,\Delta\theta}{k} = \frac{2\times10^{-3}\cdot 1{,}5\cdot 12}{15} = 2{,}4\times10^{-3}\,m \Rightarrow$$

$$\boxed{e = 2{,}4\,mm.}$$

3.

a) Dados: 1 cal = 4 J; L_f = 80 cal/kg = 320 J/kg; m = 9 kg = 9×10^3 kg; $\Delta t = 10\ h = 3{,}6\times10^4\,s.$

Calculando o fluxo (Φ):

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{m\,L_f}{\Delta t} \Rightarrow \Phi = \frac{9\times10^3\cdot 320}{3{,}6\times10^4}$$

$$\Phi = 80\ W.$$

b) Dados: $|\Delta\mathbf{q}| = 30°C;\ \mathbf{k} = 4\times10^{-2}\,W/(m\cdot°C).$

A área de fluxo (A) é a soma das áreas das faces da caixa:

$$A = 2(0{,}4\cdot0{,}6 + 0{,}4\cdot0{,}4 + 0{,}6\cdot0{,}4) \Rightarrow A = 1{,}28\ m^2.$$

Aplicando a lei de Fourier, obtemos a espessura (e):

$$\Phi = \frac{k\ A\ |\Delta\theta|}{e} \Rightarrow e = \frac{k\ A\ |\Delta\theta|}{\Phi} = \frac{4\times10^{-2}\cdot 1{,}28\cdot 30}{80} = 0{,}0192\ m \Rightarrow$$

$$e = 1{,}92\ cm.$$

4. [E]

Calor necessário para fundir o gelo

$$\Delta Q = mL = 9\times10^{-3}\times3{,}5\times10^5 = 3150J$$

Lei de Fourier

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{k A \Delta\theta}{\ell} \rightarrow k = \frac{\Delta Q.\ell}{\Delta t.A.\Delta\theta}$$

$$\rightarrow k = \frac{3150\times0{,}6}{600\times1{,}5\times10^{-4}\times100} = 210W/m.K$$

5.

a) Φ= KA (T_1 - T_2) / L,

b) T = ($2T_1$ + T_2) / 3

Resolução

A lei de Fourier para o fluxo térmico é Φ = KA (T_1 – T_2) / L

O fluxo é constante ao longo de toda a barra. Considerando a extremidade de maior temperatura e o ponto solicitado.

Φ = KA (T_1 – T_2) / L = KA (T_1 – T) / (L/3)

Simplificado

(T_1 – T_2) = (T_1 – T) / (1/3)

(T_1 – T_2) = 3.(T_1 – T)

T_1 – T_2 = 3.T_1 – 3.T

3.T = 3.T_1 – T_1 + T_2

3.T = 2.T_1 + T_2

T = (2.T_1 + T_2)/3

6. Isolando Δt na expressão dada e substituindo os valores:

$$\Delta t = \frac{\Delta Q\ d}{k_m\ S\ \Delta T} = \frac{(300)(3\times10^{-2})}{(0{,}15)(2)(30-20)} \Rightarrow$$

$$\Delta t = 3\ s.$$

7.

a) $\Phi = \frac{KA(T_{ag} - T_{ar})}{L} = \frac{4{,}0\times10^{-3}\times2{,}0\times10^4\times10}{5} = 1{,}6\times10^2\,cal/s$

b) massa de gelo formado →

$$\Delta m = \rho\Delta V = \rho A\Delta h = 0{,}9\times2{,}0\times10^4\times10 = 1{,}8\times10^5\,g$$

$$Q = mL = 1{,}8\times10^5\times80 = 1{,}44\times10^7\,cal$$

8.

a) Potência total da radiação incidente:

$$P_t = 2\,m^2\cdot 600\ W/m^2 = 1200\ W$$

Potência útil (transformada em calor):

$$P_u = \frac{1{,}8\cdot10^5\ J}{5\cdot60\ s} = 600\ W$$

Sendo assim, o rendimento é de:

$$\eta = \frac{600\ W}{1200\ W} = 0{,}5$$

$$\therefore \eta = 50\%$$

b) Pela equação da calorimetria, temos:

$$Q = m\cdot c\cdot\Delta\theta$$

$$0{,}9Q_t = 250\cdot4\cdot10^3\cdot(38-20)$$

$$0{,}9Q_t = 18\cdot10^6$$

$$\therefore Q_t = 2\cdot10^7\ J$$

ANOTAÇÕES