INSTITUTO FEDERAL
Santa Catarina

Câmpus
São José

Conceitos Gerais Sobre Energia e Transferência de Calor: Exercicios 3

Fenomenos de Transporte

Arthur Cadore Matuella Barcella

01 de Abril de 2025

Engenharia de Telecomunicações - IFSC-SJ

Sumário

1. Introdução:

O objetivo deste documento é estudar na apostila a introdução e até o item 1.2.2 (pp. 13 a 18) e em seguida responder as questões apresentadas abaixo.

2. Questões:

2.1. Questão 1:

Um vidro duplo de janela é constituído por duas placas de vidro de 7 mm de espessura, com um espaço selado cheio de ar entre elas, também com espessura de 7 mm. Considere que o ar entre os vidros permane parado. Considere que a janela tem 0,8 m de comprimento e 0,5 m de largura.

2.1.1. Item A:

Monte o circuito elétrico equivalente e calcule a resistência térmica total da janela. A condutividade térmica do ar estagnado (parado) é de 0,02624 W/m.K e a do vidro é de 0,8 W/m.K.

A representação da janela pode ser feita com um cicuito elétrico equivalente, onde temos:

- 1ª Camada: Vidro (Placa 1)
- 2ª Camada: Ar (entre as placas)
- 3ª Camada: Vidro (Placa 2)

Cada camada tem uma resistência térmica, que pode ser calculada pela equação:

$$R = \frac{L}{kA} \tag{1}$$

Dessa forma, a resistência térmica total é dada pela soma das resistências térmicas de cada camada:

$$R_{\text{total}} = R_{\text{vidro1}} + R_{\text{ar}} + R_{\text{vidro2}} \tag{2}$$

Substituindo os valores, temos:

$$R_{\text{vidro}} = \frac{0,007}{0,8.(0,8.0,5)} \tag{3}$$

$$R_{\text{vidro}} = \frac{0,007}{0,32} = 0,021875 \tag{4}$$

$$R_{\text{ar}} = \frac{0,007}{0,02624.(0,8.0,5)} \tag{5}$$

$$R_{\text{ar}} = \frac{0,007}{0,01056} = 0,6625 \tag{6}$$

Dessa forma, podemos obter a resistência térmica total:

$$R_{\text{total}} = 0,021875 + 0,6625 + 0,021875 = 0.7106707\frac{K}{W} \tag{7}$$

Tal que o circuito elétrico equivalente é dado por:

[R'vidro1′] – [R'ar'] – [R'vidro2′]

2.1.2. Item B:

Qual a perda de calor através da janela para um ΔT de 20°C?

Para calcular a perda de calor, podemos aplicar a seguinte equação:

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{\text{total}}} \tag{8}$$

Substituindo os valores, temos:

$$Q = \frac{20}{0,7106707} = 28.1424281W \tag{9}$$

2.2. Questão 2:

Qual a espessura necessária para uma parede de argamassa, que tem uma condutividade térmica de 0,75 W/m.K, se a taxa de transferência de calor deve ser 75% da taxa de transferência através de uma parede de material estrutural composto que tem uma condutividade térmica de 0,25 W/m.K e uma espessura de 100 mm? Considere que ambas as paredes estão sujeitas à mesma diferença de temperatura.

Para resolver a questão, utilizamos a equação da taxa de transferência de calor por condução, que é dada por:

$$Q = -kA\left(\frac{d_T}{L}\right) \tag{10}$$

Como a questão deseja determinar o comprimento L do material, tendo com base duas taxas de transferência de calor, podemos igualar as duas equações:

$$Q_2 = 0,75Q_1 \tag{11}$$

$$K_2A\frac{\Delta T}{L_2} = K_1A\frac{\Delta T}{L_1} \tag{12}$$

$$\frac{K_2}{L_2} = 0,75\frac{K_1}{L_1} \tag{13}$$

Desta forma, substituindo os valores, temos:

$$\frac{0,75}{L_2} = 0,75\left(\frac{0,25}{0,1}\right) \tag{14}$$

$$\frac{0,75}{L_2} = 0,75.2,5 \tag{15}$$

$$L_2 = \frac{0,75}{1,875} \tag{16}$$

$$L_2 = 0,4m \to 400 \text{ mm} \tag{17}$$

2.3. Questão 3:

Uma parede de 2 cm de espessura deve ser construída com um material que tem uma condutividade térmica média de 1,3 W/m.°C. A parede deve ser isolada com um material cuja condutividade térmica média é 0,35 W/m.°C, de tal forma que a perda de calor por metro quadrado de área não seja superior a 1830 W. Considerando que as temperaturas das superfícies interna e externa da parede composta são 1300 e 30 °C, calcule a espessura do isolamento.

Para calcular a espessura do isolamento, devemos inicialmente determinar a taxa de transferência de calor através da parede composta:

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{\text{total}}} \tag{18}$$

Dessa forma;

$$R_{\text{total}} = R_{\text{parede}} + R_{\text{isolamento}} \tag{19}$$

Dessa forma, cada resistência térmica é dada por:

$$R = \frac{L}{kA} \tag{20}$$

Onde:

- L é a espessura do material (m)
- k é a condutividade térmica do material (W/m.°C)
- A é a área de transferência de calor (m²)

Assim, substituindo na equação temos:

$$R_{\text{total}} = \frac{0,02}{1,3A} + \frac{L_2}{0,35A} \tag{21}$$

Calculando o ΔT, temos:

$$\Delta T = 1300 - 30 = 1270°C \tag{22}$$

Substituindo na equação original, temos:

$$\frac{0,02}{1,3} + \frac{L_2}{0,35} = \frac{1270}{1830} \tag{23}$$

$$(0,01538) + \frac{L_2}{0,35} = 0,69399 \tag{24}$$

$$\frac{L_2}{0,35} = 0,69399 - 0,01538 \tag{25}$$

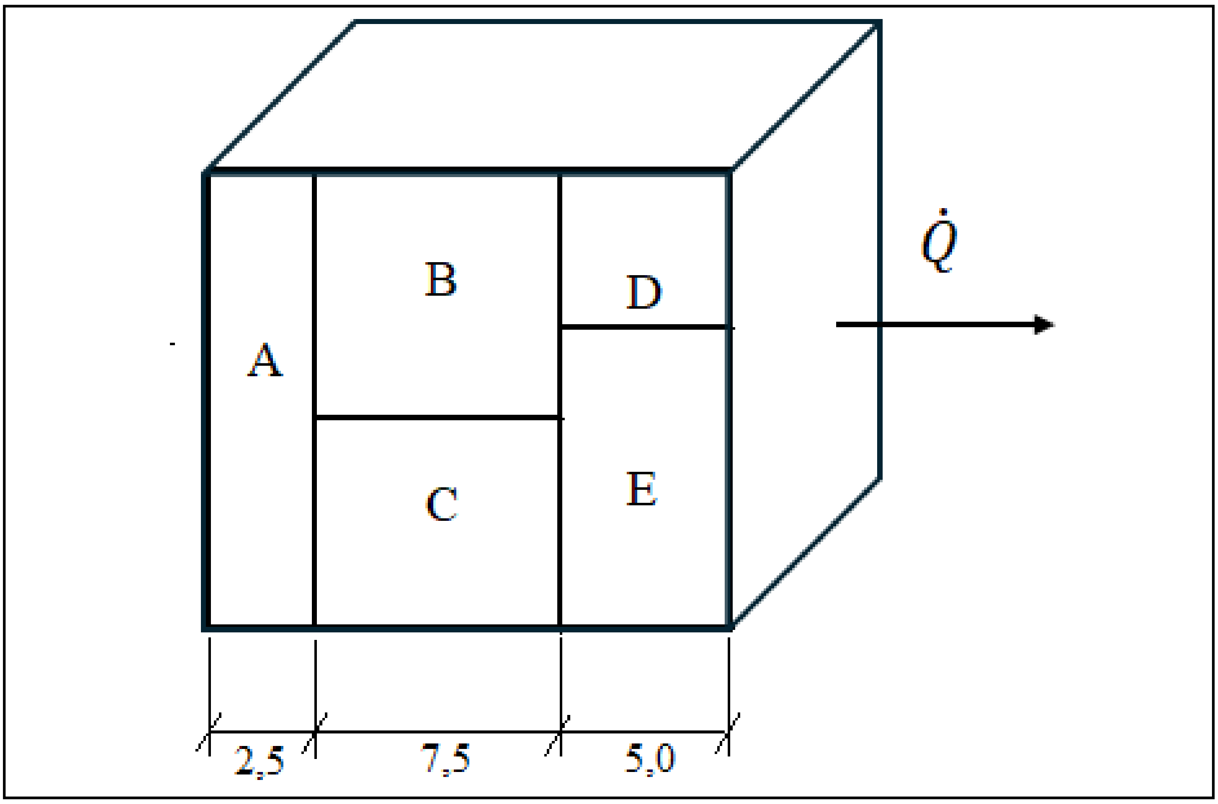
$$L_2 = 0,67861.0,35 \tag{26}$$

$$L_2 \approx 0,2375 \to 23,75 \text{ cm} \tag{27}$$

2.4. Questão 4:

Calcule a taxa de transferência de calor através da parede composta esquematizada abaixo. A temperatura na face esquerda é de 370 °C, e na face direita de 66 °C. Considere fluxo de calor unidimensional. As cotas de espessura estão em centímetros.

Figura 1: Elaborada pelo Autor



Onde:

- $K_a = 175\frac{W}{m.C^{\circ}}$
- $K_b = 30\frac{W}{m.C^{\circ}}$
- $K_c = 40\frac{W}{m.C^{\circ}}$
- $K_d = 80\frac{W}{m.C^{\circ}}$
- $K_e = 100\frac{W}{m.C^{\circ}}$
- $A_a = 1m^2$
- $A_b = A_c$
- $A_e = 3A_d$k

Inicialmente devemos determinar as áreas de cada sessão, para isso, consideremos que:

$$A_a = 1m^2 \tag{28}$$

$$A = B.L \rightarrow 1 = 0,025.L \rightarrow L = 40m \tag{29}$$

Dessa forma, sabendo a Largura e a Altura, podemos calcular as áreas de cada seção:

$$A_b + A_c = 40.(0,075) \rightarrow A_b = A_c = 3m^2 \tag{30}$$

$$A_b = A_c = 1,5m^2 \tag{31}$$

Calculando para A_d e A_e:

$$A_d + A_e = 40.(0,05) \rightarrow A_d + A_e = 2m^2 \tag{32}$$

$$A_d = 0,5m^2 \tag{33}$$

$$A_e = 1,5m^2 \tag{34}$$

Agora, podemos calcular a resistência térmica de cada seção:

$$R_A = \frac{0,025}{175.1} = 0,00014285 \tag{35}$$

$$R_B = \frac{0,075}{30.1,5} = 0,0016666 \tag{36}$$

$$R_C = \frac{0,075}{40.1,5} = 0,00125 \tag{37}$$

$$R_D = \frac{0,05}{80.0,5} = 0,00125 \tag{38}$$

$$R_E = \frac{0,05}{100.1,5} = 0,0003333 \tag{39}$$

Agora, podemos calcular a resistência térmica total:

$$R_{\text{total}} = R_A + \frac{R_B.R_C}{R_B + R_C} + \frac{R_D.R_E}{R_D + R_E} \tag{40}$$

$$R_{\text{total}} = 0,0142857 + \frac{0,0016666.0,00125}{0,0016666 + 0,00125} + \frac{0,00125.0,0003333}{0,00125 + 0,0003333} \tag{41}$$

$$R_{\text{total}} = 0,0011690 \tag{42}$$

Agora podemos calcular o fluxo de calor através da parede composta:

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{\text{total}}} \tag{43}$$

Onde ΔT é a diferença de temperatura entre as faces esquerda e direita da parede composta:

$$\Delta T = 370 - 66 = 304°C \tag{44}$$

Substituindo os valores, temos:

$$Q = \frac{304}{0,0011690} \tag{45}$$

$$Q = 260030,92589W \rightarrow 260,03 \text{ kW} \tag{46}$$

2.5. Questão 5:

Uma tubulação de cobre, de 3 cm de diâmetro externo e 1,5 de diâmetro interno, conduz refrigerante R-22 a uma temperatura de −5°C. A temperatura do ambiente em que se encontra a tubulação é de 28°C e pode ser considerada igual a temperatura da parede externa.

2.5.1. Item A:

Quanto calor é absorvido pelo refrigerante em 5 metros de tubo?

Para calcular a quantidade de calor absorvido pelo refrigerante, utilizamos a equação de condução de calor para uma tubulação cilíndrica:

$$Q = \frac{2\pi kL(\Delta T)}{\ln\left(\frac{R_e}{R_i}\right)} \tag{47}$$

Onde:

- k é a condutividade térmica do material (W/m.°C). Considerando que o tubo é de cobre, temos $k = 385\frac{W}{m.°C}$
- L é o comprimento do tubo (m) = 5 m
- ΔT é a diferença de temperatura entre o refrigerante e o ambiente (°C) = $28 - (-5) = 33°C$
- R_e é o raio externo do tubo (m) = $0,03m$
- R_i é o raio interno do tubo (m) = $0,015m$

Substituindo os valores, temos:

$$Q = \frac{2.\pi.385.5.33}{\ln\left(\frac{0,03}{0,015}\right)} \tag{48}$$

$$Q = \frac{127050.\pi}{\ln(2)} \tag{49}$$

$$Q = 575836.356019145W \rightarrow 575,836 \text{ kW} \tag{50}$$

2.5.2. Item B:

Utilizando um isolamento de lã de vidro, de 1 cm de espessura, de quanto será o valor do calor absorvido?

Seguindo a mesma forma de resolução utilizada na questão 3, primeiro precisamos decompor as resistências térmicas:

$$R_{\text{total}} = R_{\text{isolamento}} + R_{\text{tubo}} \tag{51}$$

Onde cada resistência térmica é dada pela modificação da equação anterior:

$$R = \frac{\ln\left(\frac{R_e}{R_i}\right)}{2\pi kL} \tag{52}$$

Dessa forma, calculamos a resistência separadamente para o isolamento e para o tubo:

$$R_{\text{isolamento}} = \frac{\ln\left(\frac{0{,}01}{R_e}\right)}{2\pi 0,035 * 5} \tag{53}$$

$$R_{\text{isolamento}} = \frac{\ln\left(\frac{0{,}01}{R_e}\right)}{0,35\pi} \rightarrow 0,2409790729 \tag{54}$$

Agora aplicando a mesma equação para o tubo, temos:

$$R_{\text{tubo}} = \frac{\ln\left(\frac{R_e}{R_i}\right)}{2\pi 3855} \tag{55}$$

$$R_{\text{tubo}} = \frac{\ln(2)}{3850\pi} \tag{56}$$

$$R_{\text{tubo}} = \frac{0,693147181}{3850\pi} \rightarrow 0,000057308 \tag{57}$$

Dessa forma, podemos calcular a resistência total, e substituindo na equação original, temos:

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{\text{tubo}} + R_{\text{isolamento}}} \rightarrow \frac{\Delta T}{0,000057308 + 0,2409790729} \tag{58}$$

$$Q = \frac{33}{0,241036381} \rightarrow 136,90879306W \tag{59}$$

3. Referências:

- Fundamentos de Fenômenos de Transporte de Celso P. Livi (disponível no Minha Biblioteca) o capítulo 8, pp 168-183