

## Relatório FSIAP

Trabalho 5 - Resistência e Energia - Térmico

Procedimento 2

Trabalho Realizado Por:

Vasco Silva 1180604

Bernardo Carreira 1150990

Carlos Mesquita 1170717

## Contentores a funcionar a temperaturas de 7°C

Camada	Tipo	Material	Custo (eur/kg)	Densidade (kg/m3)	Condutividade (W/(mK))	Resistência Térmica (K/W)	Espessura (m)
Exterior	Metal	Aço	1.30	7800	52	0.00000259	0.010
Intermédia	Sintético	Poliestireno Expandido	0.33	22	0.030	0.063	0.14
Interior	Sintético	Polipropileno	0.945	895	0.11	0.00613	0.05

## Contentores a funcionar a temperaturas de -5°C

Camada	Tipo	Material	Custo (eur/kg)	Densidade (kg/m3)	Condutividade (W/(mK))	Resistência Térmica (K/W)	Espessura (m)
Exterior	Metal	Aço	1.30	7800	52	0.00000259	0.01
Intermédia	Sintético	Espuma de poliuretano	8.57	35	0.025	0.0756	0.14
Interior	Sintético	Polipropileno	0.945	895	0.11	0.00613	0.05

Medidas ISO standard 668:2020 [2]

2.44 m - largura

2.59 m - altura

6.10 m – comprimento

Área contentor = 2 x (largura x altura) + 2x (comprimento x altura) + 2x (comprimento x largura)

Área contentor = 12,64 + 31,60 + 29,80

Área contentor = 74,04 m<sup>2</sup>

2.1

a)

Energia necessária a fornecer ao sistema para que ele mantenha uma determinada diferença de temperatura, entre o ambiente interior e exterior :

$$E = Q \times t \quad E - \text{quant. Energia (J)} \quad Q - \text{quant. Fluxo de calor (W ou J/s)} \\ t - \text{tempo (s)}$$

O fluxo de calor é proporcional ao gradiente de temperatura e à secção transversal de área A

$$I = k A \frac{\Delta T}{\Delta} \quad I - \text{Fluxo de calor (W ou J/s)} \quad k - \text{cond - térmica (W/(m x K))}$$

$A$  – Area ( $m^2$ )    $\Delta T$  – diferença de temperatura ( $^{\circ}C$ )    $\Delta x$  – espessura ( $m$ )

O fluxo de calor é proporcional à razão entre o gradiente de temperatura e a resistência térmica

$$I = \frac{\Delta T}{Rt}$$

$I$  – Fluxo de calor ( $W$  ou  $\frac{J}{s}$ )

$\Delta T$  – diferença de temperatura ( $^{\circ}C$ )

$Rt$  – Resistencia total ( $K/W$ )

$$E = \frac{\Delta T}{Rt} \times t$$

$$\Delta T = 20 - 7 = 13^{\circ}C$$

$$Rt = R_{exterior} + R_{intermedio} + R_{interior} = 0.06913259 K/W$$

$$E = \frac{13}{0.06913259} \times 9000 = 1.692400 \times 10^6 J$$

b)

$$\Delta T = 20 - (-5) = 25^{\circ}C$$

$$Rt = R_{exterior} + R_{intermedio} + R_{interior} = 0.08173259 K/W$$

$$E = \frac{25}{0.08173259} \times 9000 = 2.752880 \times 10^6 J$$

## 2.2

a) Tempo viagem =  $2.88 \times 10^4 s$

b) Temperatura da viagem =  $22^{\circ}C$

Contentores = 100

c)

$$Rt = R_{exterior} + R_{intermedio} + R_{interior} = 0.06913259 K/W$$

$$\Delta T = 22 - 7 = 15^{\circ}C$$

$$E_{contentor} = \frac{15}{0.06913259} \times 2.88 \times 10^4 = 6.248862 \times 10^4 J$$

$$E_{total} = n_{Contentors} \times E_{contentor}$$

$$E_{total} = 100 \times 6.248862 \times 10^4 = 6.248862 \times 10^8 J$$

d)

$$R_t = R_{\text{exterior}} + R_{\text{intermedio}} + R_{\text{interior}} = 0.08173259 \text{ K/W}$$

$$\Delta T = 22 - (-5) = 27^\circ\text{C}$$

$$E = \frac{27}{0.08173259} * 2.88 * 10^6 = 9.513953 * 10^6 \text{ J}$$

$$E_{\text{total}} = n_{\text{Contentors}} * E_{\text{contentor}}$$

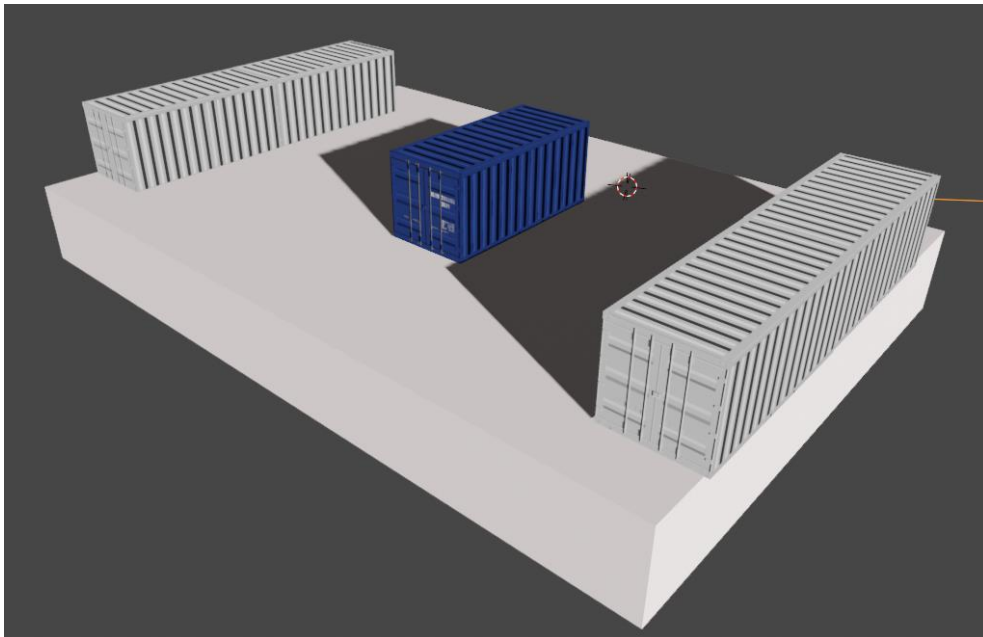
$$E_{\text{total}} = 100 * 9.513953 * 10^6 = 9.513953 * 10^8 \text{ J}$$

2.3.

Para este exercício foram exemplificados os cálculos para uma viagem de 8 horas com 3 secções de viagem:

- 2 horas – 19°C
- 4 horas – 20°C
- 2 horas – 21°C

Com 5 contentores dispostos da seguinte maneira:



Para determinar a energia necessária para manter a temperatura de 7°C e -5°C com as variações de temperatura resultantes da exposição ao sol temos de considerar a transferência de calor por condução e por radiação:

$$E_{total} = E_{condução} + E_{radiação}$$

A energia transferida por condução vai ser o produto do fluxo de calor (W ou J/s) com o tempo (s).

$$E_{condução} = Q \cdot t$$

Usando a analogia da resistência térmica sabemos que o fluxo de calor é diretamente proporcional à diferença de temperatura e inversamente proporcional à resistência térmica.

$$Q = \frac{\Delta T}{R_t}$$

Em termos de transferência de calor por radiação podemos determinar a potência da mesma a partir da lei de Stefan Boltzmann:

$$P_{radiação} = \sigma A \varepsilon T^4$$

$$E_{radiação} = (\sigma A_{radiação} \varepsilon T^4) \cdot t$$

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273.15$$

A superfície dos contentores que está em direto contacto com o chão do navio e com outros contentores foi desprezada, tirando essas faces mencionadas temos 3 faces retangulares por contentor expostas 2 (altura \* comprimento) e 1 (comprimento \* largura), mais 6 faces quadradas (altura \* largura).

$$A_{totalCondução} = 5 \text{ contentores} * (2 * (\text{altura} * \text{comprimento}) + \text{comprimento} * \text{largura}) + 6 * (\text{altura} * \text{largura})$$

$$A_{totalCondução} = 5 * (2 * (2.59 * 6.10) + (6.10 * 2.44)) + 6 * (2.59 * 2.44) = 270.33 \text{ m}^2$$

As faces expostas ao sol de acordo com a figura anterior são:

- Para os contentores cinzentos: 2 faces quadradas (altura \* largura) + 4 faces rectangulares (comprimento \* largura) + 4 faces rectangulares (comprimento \* altura)
- Para o contentor azul: 1 face quadrada (altura \* largura) + 1 face rectangular (comprimento \* largura) + 1 face rectangular (comprimento \* altura)

$$A_{radiação} = 2 * ((\text{altura} * \text{largura}) + 2 * (\text{comprimento} * \text{largura}) + 2 * (\text{comprimento} * \text{altura})) + ((\text{altura} * \text{largura}) + (\text{comprimento} * \text{largura}) + (\text{comprimento} * \text{altura}))$$

$$A_{radiação} = 2 * ((2.59 * 2.44) + 2 * (6.10 * 2.44) + 2 * (6.10 * 2.59)) + (2.59 * 2.44) + (6.10 * 2.44) + (6.10 * 2.59) = 172.37 \text{ m}^2$$

**Para 7°C:**

$$R_{total} = \frac{L_{aço}}{k_{aço} * A_{totalCondução}} + \frac{L_{poliuretano}}{k_{poliuretano} * A_{totalCondução}} + \frac{L_{polipropileno}}{k_{polipropileno} * A_{totalCondução}}$$

$$R_{total} = (0.01 / 52 * 270.33) + (0.14 / 0.03 * 270.33) + (0.05 / 0.11 * 270.33) = 0.019 \frac{K}{w}$$

$$E_{condução} = \left( \frac{(19 - 7)}{0.019} \cdot (2 * 3600) \right) + \left( \frac{(20 - 7)}{0.019} \cdot (4 * 3600) \right) + \left( \frac{(21 - 7)}{0.019} \cdot (2 * 3600) \right) \\ = 1.97 * 10^7 J$$

$$E_{radiação} = (5.67 * 10^{-8} * 172.37 * 0.9 * ((22 + 273.15)^4 - (7 + 273.15)^4) * (8 * 3600) = 3.62 * 10^8 J$$

**Para -5°C:**

$$R_{total} = \frac{L_{aço}}{k_{aço} * A_{totalCondução}} + \frac{L_{poliestireno}}{k_{poliestireno} * A_{totalCondução}} + \frac{L_{polipropileno}}{k_{polipropileno} * A_{totalCondução}}$$

$$R_{total} = (0.01 / 52 * 270.33) + (0.14 / 0.025 * 270.33) + (0.05 / 0.11 * 270.33) = 0.022 \frac{mK}{w}$$

$$E_{condução} = \left( \frac{(19 + 5)}{0.022} \cdot (2 * 3600) \right) + \left( \frac{(20 + 5)}{0.022} \cdot (4 * 3600) \right) + \left( \frac{(21 + 5)}{0.022} \cdot (2 * 3600) \right) \\ = 3.27 * 10^7 J$$

$$E_{radiação} = (5.67 * 10^{-8} * 172.37 * 0.9 * ((22 + 273.15)^4 + (5 + 273.15)^4) * (8 * 3600) = 3.44 * 10^9 J$$

**Energia total para 7°C:**

$$E_{total} = 1.97 * 10^7 + 3.62 * 10^8 = 3.82 * 10^8 J$$

**Energia total para -5 °C:**

$$E_{total} = 3.27 * 10^7 + 3.44 * 10^9 = 3.47 * 10^9 J$$

a)

Contentor com temperatura interior de 7°C:

$$A_{\text{contentor}} = 2 * (\text{largura} * \text{altura}) + 2 * (\text{comprimento} * \text{altura}) + (\text{comprimento} * \text{largura})$$

$$A_{\text{contentor}} = 2 * (2.44 * 2.59) + 2 * (6.10 * 2.59) + (6.10 * 2.44) = 59.12 \text{ m}^2$$

$$R_{\text{total}} = (0.01 / 52 * 59.12) + (0.14 / 0.03 * 59.12) + (0.05 / 0.11 * 59.12) = 0.086 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$\Delta T = 21 - 7 = 14^\circ\text{C}$$

$$E_{\text{contentor}} = \frac{14}{0.086} * (8 * 3600) = 4.69 * 10^6 \text{ J}$$

Contentor com temperatura interior de -5°C:

$$R_{\text{total}} = (0.01 / 52 * 59.12) + (0.14 / 0.025 * 59.12) + (0.05 / 0.11 * 59.12) = 0.1 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$\Delta T = 26 - (-5) = 26^\circ\text{C}$$

$$E = \frac{26}{0.1} * (8 * 3600) = 7.49 * 10^6 \text{ J}$$

b)

Para o cálculo de Energia total dos contentores, usamos os dados usados na alínea 2.3 e multiplicamos pelo número de Contentores.

$$E_{\text{total}} = 5 * E_{\text{total5Contentores7}^\circ\text{C}} + 3 * E_{\text{total5Contentores}(-5^\circ\text{C})}$$

$$E_{\text{total}} = 5 * 3.82 * 10^8 + 3 * 3.47 * 10^9$$

$$E_{\text{total}} = 1.91 * 10^9 + 1.041 * 10^{10}$$

$$E_{\text{total}} = 1.232 * 10^{10} \text{ J}$$

c)

Para o cálculo de equipamentos vamos utilizar o “pico” de potência necessária durante a viagem, neste caso na última fase, 21°C durante 2 horas.

$$P = E / t$$

Contentores 7°C:

$$E_{\text{contentores}} = E_{\text{condução}} + E_{\text{radiação}}$$

$$E_{\text{contentores}} = \left( \left( \frac{(21 + 5)}{0.022} \cdot (2 * 3600) \right) + (5.67 * 10^{-8} * 172.37 * 0.9 * ((22 + 273.15)^4 + (5 + 273.15)^4)) * (2 * 3600) \right)$$

$$E_{\text{contentores}} = 9.55 * 10^7 + 5.305 * 10^6$$

$$E_{\text{TotalContentores7}} = E_{\text{contentores}} * 5$$

$$E_{\text{TotalContentores7}} = 5.042 * 10^8 J$$

Contentores -5°C:

$$E_{\text{contentores}} = E_{\text{condução}} + E_{\text{radiação}}$$

$$E_{\text{contentores}} = \left( \frac{(21 + 5)}{0.022} \cdot (2 * 3600) \right) + (5.67 * 10^{-8} * 172.37 * 0.9 * ((22 + 273.15)^4 + (5 + 273.15)^4)) * (2 * 3600)$$

$$E_{\text{contentores}} = 8.509 * 10^6 + 8.6 * 10^8 = 8,685 * 10^8 J$$

$$E_{\text{TotalContentores5}} = E_{\text{contentores}} * 3$$

$$E_{\text{TotalContentores5}} = 2,6055 * 10^9 J$$

$$E_{\text{Total}} = E_{\text{TotalContentores7}} + E_{\text{TotalContentores5}}$$

$$E_{\text{Total}} = 5.042 * 10^8 + 2,6055 * 10^9 = 3.1097 * 10^9 J$$

$$P_{\text{Total}} = E_{\text{Total}} / t$$

$$P_{\text{Total}} = 3.1097 * 10^9 / 7.2 * 10^3$$

$$P_{\text{Total}} = 4.319 * 10^3 \text{ KW}$$

$$P_{\text{Equipamento}} = 75 \text{ KW}$$

$$N_{\text{Equipamentos}} = P_{\text{total}} / P_{\text{Equipamentos}}$$

$$N_{\text{Equipamentos}} = 4.319 * 10^3 / 75$$

$$N_{\text{Equipamentos}} = 58 \text{ (Arredondado de 57.58 para 58 por excesso para não faltar energia)}$$