

Janeiro 2022

DOCUMENTO RESUMO

Grupo 42

Manuela Leite - 1200720

Francisco Queiroz - 1201239

Pedro Rocha - 1201382

Rita Arianas Sobral - 1201386

Física Aplicada

Professor: Lijian Meng

SUMÁRIO

- 01** Introdução
- 02** Estado da Arte
- 03** US317
- 04** US318
- 05** US319
- 06** US412
- 07** US413
- 08** US414
- 09** US415
- 10** Conclusão

INTRODUÇÃO

A empresa para a qual estamos a desenvolver o software efetua o transporte de mercadoria tanto via marítima como via terrestre, sendo especializados no transporte de contentores com controlo de temperatura (contentores refrigerados).

O processo de transporte de mercadorias garantindo a integridade da carga, no prazo estipulado e com um custo baixo exige contentores adequados e um bom planeamento.

O transporte de mercadorias é uma atividade muito importante para uma empresa pois nenhuma consegue trabalhar sem realizar o transporte dos seus produtos ou matérias-primas. É também muito importante para a economia de todos os países.

Para que a mercadoria transportada chegue em condições aos locais, e visto existir uma grande variedade de características que estas podem precisar que sejam compridas o nosso cliente disponibiliza uma variedade de contentores.

Vamos analisar dois tipos de contentores para este procedimento experimental. Um tipo, serão os contentores para manter as mercadorias a temperaturas de refrigeração, ou seja, para manter a temperaturas interiores máximas de 7°C. O outro tipo, será para transportar mercadoria a temperaturas de - 5°C.

Este documento resumo irá conter qual foi a escolha de materiais considerados, com as diferentes características e valores de referência, para os dois tipos de contentores considerados, e os cálculos realizados para determinar as respetivas resistências térmicas.

ESTADO DA ARTE

Transferência de Calor por Condução

É do conhecimento geral que a transferência de calor ocorre da substância com a temperatura mais elevada para a mais fria. Na transferência por condução não existe transporte de matéria mas sim interação das partículas, processo este que foi usado neste procedimento laboratorial.

Condutividade Térmica

A constante de proporcionalidade, k , conhecida como condutividade térmica é uma característica que varia de material para material, dependendo também da temperatura a que se encontra.

Materiais com facilidade em transferir calor apresentam uma maior condutividade térmica comparado com isolantes térmicos.

As unidades SI são o $W/(mk)$.

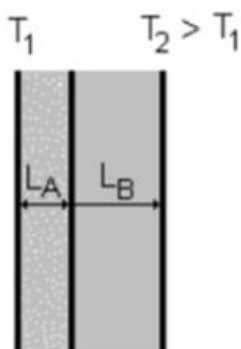
Resistência Térmica

A resistência térmica de um material é a sua capacidade de se opor à passagem do calor.

É a razão entre $\Delta x/(k \cdot A)$, para uma diferença de temperatura, ΔT , na direção da corrente térmica.

Disposição dos materiais em série

Para a seguinte disposição dos materiais, disposição em série, temos o seguinte equivalente elétrico e a seguinte resistência térmica do conjunto



$$R_k = R_A + R_B$$

US 317

Deve investigar quais os materiais a usar num contentor, para funcionar a temperaturas de 7°C, particularmente:

- Quais os tipos de materiais que deve usar na constituição das paredes exteriores.
- Quais os tipos de materiais que deve usar na constituição das camadas intermédias.
- Quais os tipos de materiais que deve usar na constituição das paredes interiores.

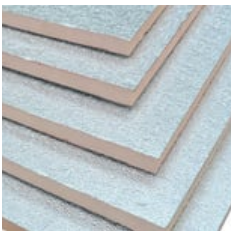
Parede Exterior



O material escolhido para a parede exterior foi o aço inoxidável. Escolhemos este material devido à sua alta durabilidade, a resistência a bruscas variações de temperatura, grande resistência à corrosão entre outros motivos.

A condutividade térmica deste material é de 15 W/(mK) e a parede exterior terá uma espessura de 5cm, ou seja, 0,05m.

Camada Intermédia



O material escolhido para a camada intermédia foi o poliestireno extrudido. Escolhemos este material por ser um isolante térmico, pelo excelente desempenho térmico, pela facilidade na instalação entre outros motivos.

A condutividade térmica deste material é de 0,035 W/(mK) e a camada intermédia terá uma espessura de 12cm, ou seja, 0,12m.

Parede Interior



O material escolhido para a parede interior foi o PVC. Escolhemos este material por ser impermeável e resistente.

A condutividade térmica deste material é de 0,21 W/(mK) e a camada intermédia terá uma espessura de 5cm, ou seja, 0,05m.

US 318

A mesma situação ocorre para o outro tipo de contentor. Deve investigar quais os materiais a usar num contentor, para funcionar a temperaturas de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, em particular:

- Quais os tipos de materiais que deve usar na constituição das paredes exteriores.
- Quais os tipos de materiais que deve usar na constituição das camadas intermédias.
- Quais os tipos de materiais que deve usar na constituição das paredes interiores.

Parede Exterior



O material escolhido para a parede exterior foi o aço inoxidável. Escolhemos este material devido à sua alta durabilidade, a resistência a bruscas variações de temperatura, grande resistência à corrosão entre outros motivos.

A condutividade térmica deste material é de 15 W/(mK) e a parede exterior terá uma espessura de 5cm, ou seja, 0,05m.

Camada Intermédia



O material escolhido para a camada intermédia foi o poliuretano. Escolhemos este material por ser um poderoso isolante térmico, ótima aderência a todos os materiais de construção, pela alta durabilidade entre outros motivos.

A condutividade térmica deste material é de $0,02\text{ W/(mK)}$ e a camada intermédia terá uma espessura de 10cm, ou seja, 0,10m.

Parede Interior



O material escolhido para a parede interior foi o PVC. Escolhemos este material por ser impermeável e resistente.

A condutividade térmica deste material é de $0,21\text{ W/(mK)}$ e a camada intermédia terá uma espessura de 5cm, ou seja, 0,05m.

US319

Para além da investigação do tipo de materiais, pretende-se saber qual a resistência térmica, para cada temperatura de funcionamento, de cada contentor que deve conter pelo menos três materiais diferentes nas suas paredes. Um para a parede exterior, outro para o material intermédio e outro para a parede interior.

Assim, e de acordo com a disposição dos materiais nas paredes de um contentor, usar o equivalente elétrico:

- Para cada contentor, a funcionarem à temperatura de 7 °C, determinar a resistência térmica, que este oferece, de acordo com a escolha dos materiais realizada.
- Para cada contentor, a funcionarem à temperatura de - 5 °C, determinar a resistência térmica, que este oferece, de acordo com a escolha dos materiais realizada.

Para uma melhor interpretação dos valores obtidos e para uma maior generalização optamos por calcular a resistência térmica em que a área considerada é de um metro quadrado.

Resistências térmicas das camadas da parede do contentor a funcionar à temperatura de 7°C

Aço Inoxidável	Poliestireno Extrudido	PVC
$R = \frac{0,05}{15} = 3,33 \times 10^{-3} W/(mk)$	$R = \frac{0,12}{0,035} = 3,42 W/(mk)$	$R = \frac{0,05}{0,21} = 0,24 W/(mk)$

Visto os materiais se encontrarem em série, a resistência térmica do conjunto é a soma das várias resistências térmicas do conjunto, resultando então:

$$R_k = R_1 + R_2 + R_3 = 3,66 W/(mk)$$

Resistências térmicas das camadas da parede do contentor a funcionar à temperatura de -5°C

Aço Inoxidável	Poliuretano	PVC
$R = \frac{0,05}{15} = 3,33 \times 10^{-3} W/(mk)$	$R = \frac{0,10}{0,02} = 5 W/(mk)$	$R = \frac{0,05}{0,21} = 0,24 W/(mk)$

Sendo a resistência térmica do conjunto a soma das várias resistências térmicas do conjunto, resultando então:

$$R_k = R_1 + R_2 + R_3 = 5,24 W/(mk)$$

US412

Para que o transporte dos bens dentro do contentor seja realizado com sucesso, pretendesse determinar a energia necessária para manter uma determinada temperatura dentro do contentor, e por contentor.

Assim, e a título de exemplo, pretende-se saber qual a energia a fornecer, a cada contentor, numa determina viagem, com uma temperatura exterior de 20 °C, e um tempo de viagem de 2h30.

Para que fosse mais fácil tirar algumas conclusões no final do procedimento ambos os contentores apresentam as mesmas medidas, que são as seguintes:

- Comprimento: 6 m
- Largura: 2,5 m
- Altura: 2,5 m

Com estas informações conseguimos então calcular a área do contentor sendo esta de 72,5 metros quadrados.

$$A = (6 \times 2,5) \times 4 + (2,5 \times 2,5) \times 2 = 72,5 \text{ m}^2$$

Tendo então as dimensões dos contentores vamos calcular a resistência térmica para o contentor que deverá manter a temperatura interior a 7°C.

$$R_A = \frac{0,05}{15 \times 72,5} = 4,60 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{K/W}$$

$$R_B = \frac{0,12}{0,035 \times 72,5} = 4,73 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \text{K/W}$$

$$R_C = \frac{0,05}{0,21 \times 72,5} = 3,28 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{K/W}$$

$$R_k = R_A + R_B + R_C = 5,06 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \text{K/W}$$

Efetuamos os mesmos cálculos que foram efetuados anteriormente mas agora para o contentor que deverá manter a temperatura interior a -5°C.

$$R_A = \frac{0,05}{15 \times 72,5} = 4,60 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{K/W}$$

$$R_B = \frac{0,1}{0,02 \times 72,5} = 0,069 \text{ m}^2 \text{K/W}$$

$$R_C = \frac{0,05}{0,21 \times 72,5} = 3,28 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{K/W}$$

$$R_k = R_A + R_B + R_C = 7,23 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \text{K/W}$$

US412

Visto que sabemos o tempo de viagem, 2h30, ou seja 9000 segundos, e a temperatura exterior, que é de 20° C, vamos agora calcular a quantidade de fluxo de calor de ambos os contentores.

Sendo este valor obtido através da seguinte fórmula:

$$Q = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{\Delta(T_1 - T_2)}{R_t}$$

Os valores obtidos para ambos os contentores foram os seguinte, sendo Q1 correspondente ao contentor com temperatura interior de 7°C e Q2 ao contentor com temperatura interior de -5°C.

$$Q_1 = \frac{(20 - 7)}{5,063 \times 10^{-2}} = 256,76 \text{ W}$$

$$Q_2 = \frac{(20 + 5)}{7,23 \times 10^{-2}} = 345,781 \text{ W}$$

Com estas informações já conseguimos determinar a energia necessária fornecer a ambos contentores.

$$\text{Energia fornecida contentor } 7^\circ\text{C} = Q \times \text{Intervalo Tempo} = 256,76 \times 9000 = 2310882,88 \text{ J}$$

$$\text{Energia fornecida contentor } -5^\circ\text{C} = Q \times \text{Intervalo Tempo} = 345,781 \times 9000 = 3112033 \text{ J}$$

US413

Considerando agora, uma embarcação (porta-contentores), pretende-se saber qual a energia total a fornecer, ao conjunto de contentores, numa determinada viagem estabelecida, admitindo que todos os contentores têm o mesmo comportamento.

Visto aos dados não serem dados inicialmente, primeiramente determinamos uma equação em ordem a algumas variáveis e no final daremos um exemplo explicativo.

Considerando t o tempo de viagem, xm a temperatura média ponderada da viagem e n o número de contentores existentes na embarcação.

A temperatura média ponderada da viagem corresponde à multiplicação da percentagem de tempo de uma determinada temperatura pelo seu valor, procedendo à adição de todos os valores. Já o tempo da viagem é qualquer valor que seja fornecido, tendo em atenção que este deve ser o mesmo que os tempos das diferentes temperaturas somados.

US413

Agora que já sabemos a que cada variável corresponde vamos obter as equações gerais.

$$Q_1 = \frac{(xm - 7)}{5,063 \times 10^{-2}}$$

$$Q_2 = \frac{(xm - (-5))}{7,23 \times 10^{-2}}$$

Sendo que Q1 corresponde ao contentor com uma temperatura interior de 7°C e Q2 ao contentor com temperatura interior de -5°C.

$$\text{Energia navio de contentores } 7^{\circ}\text{C} = \frac{xm-7}{5,063 \times 10^{-2}} \times t \times N \text{ J}$$

$$\text{Energia navio de contentores } -5^{\circ}\text{C} = \frac{xm-(-5)}{7,23 \times 10^{-2}} \times t \times N \text{ J}$$

US414 E US415

Nesta situação, pretende-se saber qual a energia a fornecer à carga de contentores, numa viagem (ou rota), em função da posição dos contentores no navio. Admitindo que os contentores interiores, ou os lados não expostos diretamente ao “sol” (ou se quiserem à vista), mantêm a temperatura inicial, ou de partida. Mas, as faces expostas, podem apresentar variações de temperatura ao longo da viagem.

Neste ponto, podemos admitir que a embarcação leva 25 contentores, em que a temperatura interior é de 7 °C, e 15 contentores com uma temperatura interior de -5 °C. E precisamos de saber quantos equipamentos auxiliares de energia são necessários para a viagem. Sabendo que cada equipamento auxiliar de energia fornece o máximo de 75 KW, cada.

Para um melhor tratamento dos dados decidimos realizar os cálculos destes dois pontos em conjunto, pois ambos se encontram relacionados.

Visto termos um total de 40 contentores para distribuir ao longo da embarcação, e como os contentores com temperatura interior de -5°C necessitam de mais energia decidimos distribuir os contentores da seguinte maneira:

- Pensando numa matriz 10 por 4, colocamos 24 contentores com temperatura interior de 7°C na parte de fora da mesma, e os 15 contentores com temperatura interior de -5°C e o outro que faltava com temperatura de 7°C no meio destes.

US414 E US415

Tendo em conta esta disposição conseguimos concluir que temos as seguintes faces expostas:

- 15 faces, cada uma com uma área de 15 metros quadrados, de contentores com temperatura interior de -5°C
- 8 faces, cada uma com uma área de 6,25 metros quadrado, de contentores com temperatura interior de 7°C
- 45 faces, cada uma com uma área de 15 metros quadrados, de contentores com temperatura interior de 7°C

Ficamos então a saber que para os contentores com temperatura interior de -5°C temos uma área exposta de 225 metros quadrados e para os contentores com temperatura interior de 7°C temos uma área exposta de 725 metros quadrados.

A área não exposta relativa aos contentores com uma temperatura interior de 7°C é de 1087,5 metros quadrados e relativamente aos contentores com temperatura interior de -5°C é de 862,5 metros quadrados.

Considerando a título de exemplo uma viagem com duração de 3h, sendo que na primeira parte da viagem (2h) a temperatura ambiente era de 16°C, e na segunda parte da viagem (1h) a temperatura ambiente era de 23°C.

A temperatura média ponderada da viagem é de 18,331°C.

Tendo então agora a informação toda necessária para obter a energia que é necessária para esta viagem.

Começamos então por calcular a energia necessária para as faces dos contentores com temperatura interior de 7°C que se encontram expostas ao sol.

$$E = \frac{(18.331 - 7)}{5,06 \times 10^{-3}} \times 10800 = 24179836,51 J$$

Já para as faces dos contentores com temperatura interior de 7°C que não se encontram expostas ao sol, a energia será de:

$$E = \frac{(16 - 7)}{3,37 \times 10^{-3}} \times 10800 = 28802452,32 J$$

Para as faces dos contentores com temperatura interior de -5°C que se encontram expostas ao sol, a energia será de:

$$E = \frac{(18,331 + 5)}{0,0233} \times 10800 = 10814369,1 J$$

US414 E US415

Já para as faces dos contentores com temperatura interior de -5°C que não se encontram expostas ao sol, a energia será de:

$$E = \frac{(16 + 5)}{6,077 \times 10^{-3}} \times 10800 = 37321046,57 \text{ J}$$

A energia necessária é então de 101117704,5 J.

Para determinarmos quantos dispositivos são necessários primeiramente passamos a energia necessária para potência.

$$\frac{101117704,5}{10800} = 9362,75 \text{ W}$$

Finalmente para descobrirmos o número total de dispositivos necessários basta dividir a potência total pela potência de um dispositivo e arredondar para o número inteiro a seguir.

$$\frac{9362,75}{75000} = 0,12$$

Ou seja, para esta viagem em específico era necessário 1 equipamento auxiliar.

CONCLUSÃO

Para a mesma temperatura exterior, contentores com temperaturas mais reduzidas sofrem mais facilmente alterações da sua temperatura interior, então as suas paredes precisam de apresentar uma maior resistência térmica.

O isolamento térmico vai ser mais eficaz quanto menor for a condutibilidade térmica e maior a espessura do material.

Com este trabalho aprofundamos o nosso conhecimento relativamente ao tópico abordado dando-nos assim um maior domínio da matéria.

REFERÊNCIAS

http://www.fibrosom.com/ficheiros/pdfs/Poliestireno_Extrudido_Xps.pdf

<https://thermtest.com/thermal-conductivity-of-steel>

<https://www.retaprene.com.br/espuma-de-poliuretano-conheca-vantagens-deste-isolamento-termico/>

[https://www.infopedia.pt/\\$mecanismos-de-transferencia-de-calor](https://www.infopedia.pt/$mecanismos-de-transferencia-de-calor)

<https://pt.khanacademy.org/science/physics/thermodynamics/specific-heat-and-heat-transfer/a/what-is-thermal-conductivity>

<https://aream.pt/files/2016/05/Resistencia-termica-de-materiais-isolantes.pdf>

https://moodle.isep.ipp.pt/pluginfile.php/153083/mod_label/intro/Trabalho%205.pdf