

## **Resistência e Energia — Térmica**

4 de dezembro de 2022

Marco Maia — 1210951

Rúben Ferreira — 1210954

João Teixeira — 1210957

José Rente — 1211155

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Seleção de materiais</b>	<b>2</b>
2.1	Paredes Exteriores . . . . .	2
2.1.1	Camada Exterior . . . . .	2
2.1.2	Camada Isolante e Estrutural . . . . .	2
2.1.3	Camada Interior . . . . .	3
2.2	Paredes Interiores . . . . .	4
2.2.1	Camada Exterior e Interior . . . . .	4
2.2.2	Camada Isolante e Estrutural . . . . .	4
2.3	Telhado . . . . .	5
2.4	Portas . . . . .	6
2.5	Janelas . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Estrutura</b>	<b>7</b>
3.1	Croqui . . . . .	7
3.2	Resistência Térmica nas Secções . . . . .	7
3.2.1	Zona A . . . . .	7
3.2.2	Zona B . . . . .	10
3.2.3	Zona C . . . . .	12
3.2.4	Zona D . . . . .	14
3.2.5	Zona E . . . . .	16
3.2.6	Telhado . . . . .	17

# 1 Introdução

No âmbito do Projeto Integrador a desenvolver, pretendeu-se elaborar uma estrutura correspondente a um armazém agrícola dividido em cinco zonas — A, B, C, D e E —, de forma a poder suportar diferentes temperaturas.

Este relatório tem, portanto, como objetivo detalhar o processo de escolha de materiais a utilizar na constituição das várias paredes — bem como o telhado — do armazém e as resistências térmicas respetivamente associadas.

## 2 Seleção de materiais

Perante o problema apresentado, investigar um conjunto de materiais para fazerem parte de uma estrutura, iniciou-se uma pesquisa em busca das melhores alternativas. Para tal, procurou-se materiais com um **baixo valor de condutividade térmica** ( $k$ ).

### 2.1 Paredes Exteriores

Perante uma situação de diferentes temperaturas nas diversas secções da estrutura, optou-se por manter a consistência e utilizar os **mesmos materiais em todas as paredes exteriores**.

No final, obteve-se uma espessura de  $32cm$ .

#### 2.1.1 Camada Exterior

Para a camada exterior das paredes, escolheu-se o **cimento**. Este material é usado em infraestruturas de todo o mundo dado, não só às suas **características térmicas satisfatórias** mas, também, ao seu **baixo custo**.

Optou-se pela seguinte disposição:

Material	$k (Wm^{-1}K^{-1})$	$\Delta x (m)$
Cimento	0,46 [1]	0,09

Tabela 1: Configuração da camada exterior

#### 2.1.2 Camada Isolante e Estrutural

Para a camada isolante e estrutural, destacaram-se os seguintes materiais:

- ICF;
- Tijolo refratário, ( $k = 0,78 Wm^{-1}K^{-1}$ ) [2].

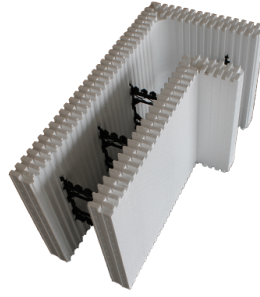


Figura 1: Sistema ICF, ainda por preencher com betão armado

Entre ambos, foi decidido utilizar o ICF. O ICF é uma sistema de construção distinguido pelo seu elevado **isolamento térmico** e acústico, baixo custo de manutenção e fácil aplicação. Este sistema é constituído por **dois blocos isolantes verticais** de **poliestireno expandido** que, após a sua respetiva montagem, são preenchidos por **betão armado**.

Tendo sido desenvolvidos há pouco mais de 30 anos, estes sistemas têm sido utilizados um pouco por todo o mundo, com especial ênfase nos EUA e no Canadá, dadas as suas ótimas capacidades **térmicas** e acústicas

Apesar de, na figura 1, estar representado um reforço com barras de metal, essas serão ignoradas neste trabalho experimental.

Optou-se pela seguinte disposição:

Material	$k \text{ (} Wm^{-1}K^{-1} \text{)}$	$\Delta x \text{ (} m \text{)}$
Poliestireno Expandido	0,037 [3]	0,02
Betão Armado	2 [4]	0,18
Poliestireno Expandido	0,037	0,02

Tabela 2: Configuração da camada isolante e estrutural

### 2.1.3 Camada Interior

Para a camada interior, destacaram-se os seguintes materiais:

- Gesso, ( $k = 0,25 \text{ } Wm^{-1}K^{-1}$ )
- Estuque, ( $k = 0,4 \text{ } Wm^{-1}K^{-1}$ )

Pelas claras diferenças nos valores de condutividade térmica, escolheu-se o **gesso** para o revestimento interior das paredes exteriores.

Optou-se pela seguinte disposição:

Material	$k \text{ (} Wm^{-1}K^{-1} \text{)}$	$\Delta x \text{ (} m \text{)}$
Gesso	0,25 [5]	0,01

Tabela 3: Configuração da camada interior

## 2.2 Paredes Interiores

Relativamente às paredes interiores, estas foram divididas em duas categorias — **Estruturais** e **Não Estruturais** —, sendo que o facto de ser uma parede estrutural teve influência na escolha do materiais e da sua respetiva espessura.

### 2.2.1 Camada Exterior e Interior

Relativamente às paredes interiores, optou-se por utilizar o **gesso** como material para a camada exterior de ambos os lados das paredes, pois trata-se de um composto que enfortece [6] as paredes e, visto que estas são as camadas visíveis àqueles que circulam pelo armazém, convém conferir um certo valor estético às paredes. Para além disso, o gesso é um material relativamente barato e possui uma condutividade térmica apreciável ( $k = 0.25 \text{ } Wm^{-1}K^{-1}$ ) para o contexto [5].

Material	$k \text{ (} Wm^{-1}K^{-1} \text{)}$	$\Delta x \text{ (} m \text{)}$
Gesso	0.25	0.01

Tabela 4: Dados da componente exterior

### 2.2.2 Camada Isolante e Estrutural

Para as paredes estruturais, o material escolhido foi o ICF, pelas mesmas razões referidas acima na secção 2.1.2. Já para as não estruturais, como estas não necessitam suportar bastante o edifício, foi decidido utilizar um composto de **Poliestireno extrudido** e de **Madeira Pinus**. É no entanto, relevante mencionar que o poliestireno possui um excelente desempenho térmico ( $k = 0.033 \text{ } Wm^{-1}K^{-1}$ ) [3] e é de uma elevada rapidez de instalação [7].

Material	$k \text{ (} Wm^{-1}K^{-1} \text{)}$	$\Delta x \text{ (} m \text{)}$
Poliestireno extrudido	0.033	0.02 (estrutural)
Betão armado	2	0.18
Poliestireno extrudido	0.033	0.08 (não estrutural)
Madeira Pinus	0.12	0.1

Tabela 5: Dados da componente isolante

## 2.3 Telhado

Para o telhado, optou-se por um modelo de duas águas. Para a **estrutura exterior**, o que fez mais sentido foi uma cobertura de **cimento**, sobreposto por uma camada de **telha**. O cimento, pelas mesmas razões referidas no tópico 2.1.1, foi a melhor decisão, dado aos seus baixos valores de condutividade térmica de  $k = 0,46 \text{ } Wm^{-1}K^{-1}$ .

Já o **material isolante** escolhido, difere do material isolante das paredes exteriores. Optou-se por **espuma de poliuretano** que, permite obter um isolamento térmico que satisfaz as necessidades do caso de estudo. Este material apresenta um valor de condutividade térmica de  $k = 0,028 \text{ } Wm^{-1}K^{-1}$  [8] e, é muito popular nas indústrias que dependem de **espaços com temperaturas controladas**.



Figura 2: Espuma de poliuretano

Por fim, e, à semelhança das paredes exteriores, decidiu-se aplicar uma camada de **gesso**, como **revestimento interior do telhado**.

Optou-se pela seguinte disposição:

Estrutura	Material	$k \text{ (} Wm^{-1}K^{-1} \text{)}$	$\Delta x \text{ (} m \text{)}$
Exterior	Telha	1,2	0,06
Cobertura	Cimento	0,46	0,04
Isolante	Espuma de Poliuretano	0,028	0,17
Interior	Gesso	0,25	0,03

## 2.4 Portas

De acordo com o enunciado providenciado pelo cliente, o armazém possuiria três tipos de portas

1. Porta de subir — Zona A
2. Porta de duas folhas (dupla) — Zona B
3. Porta simples — Restantes zonas

Na escolha dos materiais não se achou necessidade de distinguir os materiais a usar na constituição da porta dupla e das simples e, portanto, decidiu-se utilizar a **Madeira Pinus**.

Já para a porta de vidro, decidiu-se utilizar uma configuração com fibra de vidro.

Material	$k \text{ (} Wm^{-1}K^{-1} \text{)}$	$\Delta x \text{ (} m \text{)}$
Madeira Pinus	0.12 [9]	0.1
Fibra de Vidro	0.04 [10]	0.1

Tabela 6: Dados da constituição das portas

## 2.5 Janelas

Por fim, foram idealizadas duas janelas que satisfazem as necessidades térmicas do espaço. Para tal, optou-se por uma construção de **duas folhas**, com uma **estrutura de alumínio** e vidro duplo.

Estrutura	Material	$k \text{ (} Wm^{-1}K^{-1} \text{)}$	$\Delta x \text{ (} m \text{)}$
Perfil	Alumínio	237	0,053
Vidro	Vidro	0,79	0,004
Ar	Ar	0,025	0,023
Vidro	Vidro	0,79	0,004

Tabela 7: Configuração das janelas

### 3 Estrutura

#### 3.1 Croqui

Após a seleção de todos os materiais e a decisão das suas respectivas larguras, obtivemos a seguinte estrutura para responder ao problema apresentado pelo cliente.

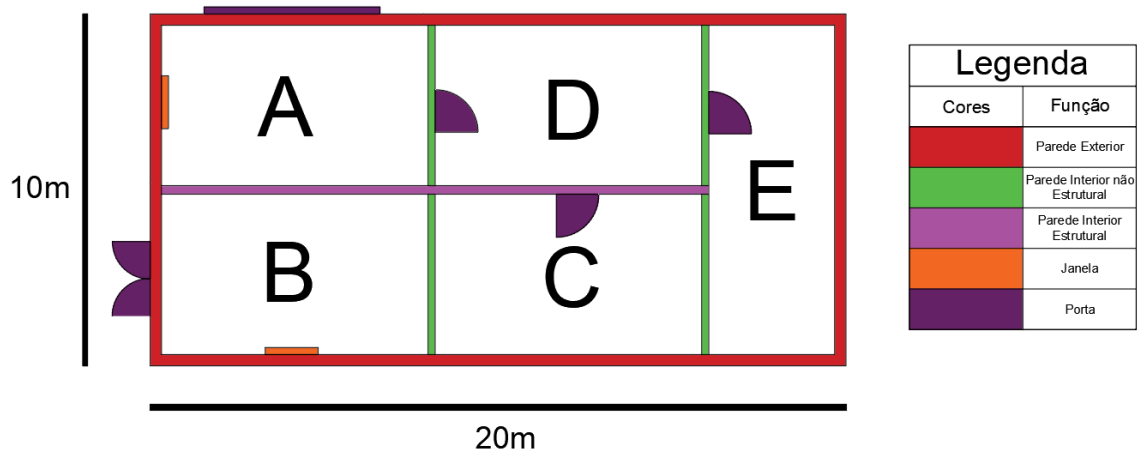


Figura 3: Croqui da estrutura concebida

#### 3.2 Resistência Térmica nas Secções

##### 3.2.1 Zona A

Tendo em conta os materiais apresentados na secção e, o croqui da estrutura, a **zona A**, para funcionar à temperatura de  $15^{\circ}C$  possui as seguintes características:



Secção	Material	$k (Wm^{-1}K^{-1})$	$\Delta x (m)$	Área ( $m^2$ )
Parede Exterior ( $\times 2$ )	Cimento	0.46	0.09	48,5
	Poliestireno Expandido	0.037	0.02	48,5
	Betão Armado	2	0.18	48,5
	Poliestireno Expandido	0.037	0.02	48,5
	Gesso	0.25	0.01	48,5
Parede Interior Não Estrutural ( $\times 1$ )	Gesso	0.25	0.01	40
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.08	40
	Madeira Pinus	0.12	0.1	40
	Gesso	0.25	0.01	40
Parede Interior Estrutural ( $\times 1$ )	Gesso	0.25	0.01	37
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.02	37
	Betão Armado	2	0.18	37
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.02	37
	Gesso	0.25	0.01	37
Janela ( $\times 1$ )	Alumínio	237	0,053	0,66
	Vidro	0,79	0,004	1,34
	Ar	0,025	0,023	1,34
	Vidro	0,79	0,004	1,34
Porta de Subir ( $\times 1$ )	Fibra de vidro	0.04	0.1	15

Tabela 8: Composição da zona A

Com base na tabela 8, o cálculo das resistências para esta sucede-se da seguinte forma:

**Janela:** Os vidros e o ar estão associados em série:

$$R_{janelas} = \frac{1}{\frac{1}{R_{aluminio}} + \frac{1}{2 \times R_{vidro} + R_{ar}}} \quad (1)$$

$$\Leftrightarrow R_{janelas} = \frac{1}{\frac{1}{\frac{0.053}{237 \times 0.66}} + \frac{1}{2 \times \frac{0.004}{0.79 \times 1.34} + \frac{0.023}{0.025 \times 1.34}}} = 3.40 \times 10^{-4} KW^{-1} \quad (2)$$

**Parede Exterior com Porta da Subir e Janela:** Camadas associadas em série:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{cimento} + 2 \times R_{poliestireno} + R_{betão} + R_{gesso}} + \frac{1}{R_{porta\_subir}} + \frac{1}{R_{janela}} \quad (3)$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{0.09}{0.460 \times 48.5} + 2 \times \frac{0.02}{0.037 \times 48.5} + \frac{0.18}{2 \times 48.5} + \frac{0.01}{0.25 \times 48.5}} + \frac{1}{\frac{0.1}{0.04 \times 15}} + \frac{1}{3.40 \times 10^{-4}} \quad (4)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_ext+porta+janela} = 3.35 \times 10^{-4} \text{ KW}^{-1} \quad (5)$$

**Parede Interior Não Estrutural com porta:** Paralelo entre a parede e a porta.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{2 \times R_{gesso} + R_{poliestireno\_extrudido} + R_{madeira\_pinus}} + \frac{1}{R_{porta}} \quad (6)$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{2 \times \frac{0.01}{0.25 \times 40} + \frac{0.08}{0.033 \times 40} + \frac{0.1}{0.12 \times 40}} + \frac{1}{\frac{0.1}{0.12 \times 3}} \quad (7)$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{R_{parede\_não\_estrut+porta}} = \frac{1}{8.34 \times 10^{-2}} + \frac{1}{2.78 \times 10^{-1}} = 6.42 \times 10^{-2} \text{ KW}^{-1} \quad (8)$$

**Parede Interior Estrutural:**

$$R = 2 \times R_{gesso} + 2 \times R_{poliestireno} + R_{betão} \quad (9)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_estrut} = 2 \times \frac{0.01}{0.25 \times 37} + 2 \times \frac{0.02}{0.033 \times 37} + \frac{0.18}{2 \times 37} = 3.74 \times 10^{-2} \text{ KW}^{-1} \quad (10)$$

**Total:** Tendo em conta que os componentes estão associados em série e considerando os resultados das equações 5, 8 e 10

$$R_{total} = \frac{1}{\frac{1}{3.35 \times 10^{-4}} + \frac{1}{6.42 \times 10^{-2}} + \frac{1}{3.74 \times 10^{-2}}} = 3.31 \times 10^{-4} \text{ KW}^{-1} \quad (11)$$

### 3.2.2 Zona B

Tendo em conta os materiais apresentados na secção e, o croqui da estrutura, **a zona B**, para funcionar à temperatura de  $20^{\circ}C$  possui as seguintes características:

Secção	Material	$k (Wm^{-1}K^{-1})$	$\Delta x (m)$	Área ( $m^2$ )
Parede Exterior ( $\times 2$ )	Cimento	0.46	0.09	57.5
	Poliestireno Expandido	0.037	0.02	57.5
	Betão Armado	2	0.18	57.5
	Poliestireno Expandido	0.037	0.02	57.5
	Gesso	0.25	0.01	57.5
Parede Interior Não Estrutural ( $\times 1$ )	Gesso	0.25	0.01	25
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.08	25
	Madeira Pinus	0.12	0.1	25
	Gesso	0.25	0.01	25
Parede Interior Estrutural ( $\times 1$ )	Gesso	0.25	0.01	40
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.02	40
	Betão Armado	2	0.18	40
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.02	40
	Gesso	0.25	0.01	40
Janela ( $\times 1$ )	Alumínio	237	0,053	0,66
	Vidro	0,79	0,004	1,34
	Ar	0,025	0,023	1,34
	Vidro	0,79	0,004	1,34
Porta dupla ( $\times 1$ )	Madeira Pinus	0.12	0.1	6

Tabela 9: Composição da zona B

Com base na tabela 9, o cálculo das resistências para esta secção sucede-se da seguinte forma:

**Janela:** Os vidros e o ar estão associados em série:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{aluminio}} + \frac{1}{2 \times R_{vidro} + R_{ar}} \quad (12)$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{R_{janelas}} = \frac{1}{\frac{0.053}{237 \times 0.66}} + \frac{1}{2 \times \frac{0.004}{0.79 \times 1.34} + \frac{0.023}{0.025 \times 1.34}} = 3.40 \times 10^{-4} KW^{-1} \quad (13)$$

**Parede Exterior com Porta Dupla e Janela:** Camadas associadas em série:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{cimento} + 2 \times R_{poliestireno} + R_{betão} + R_{gesso}} + \frac{1}{R_{porta\_dupla}} + \frac{1}{R_{janela}} \quad (14)$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{0.09}{0.46 \times 57.5} + 2 \times \frac{0.02}{0.037 \times 57.5} + \frac{0.18}{2 \times 57.5} + \frac{0.01}{0.25 \times 57.5}} + \frac{1}{\frac{0.1}{0.12 \times 6}} + \frac{1}{3.40 \times 10^{-4}} \quad (15)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_ext+porta\_dupla+janela} = 3.34 \times 10^{-4} \text{ KW}^{-1} \quad (16)$$

**Parede Interior Não Estrutural:**

$$R_{parede\_não\_estrut} = 2 \times R_{gesso} + R_{poliestireno\_extrudido} + R_{madeira\_pinus} \quad (17)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_não\_estrut} = 2 \times \frac{0.01}{0.25 \times 25} + \frac{0.08}{0.033 \times 25} + \frac{0.1}{0.12 \times 25} = 1.34 \times 10^{-1} \text{ KW}^{-1} \quad (18)$$

**Parede Interior Estrutural:**

$$R_{parede\_estrut} = 2 \times R_{gesso} + 2 \times R_{poliestireno} + R_{betão} \quad (19)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_estrut} = 2 \times \frac{0.01}{0.25 \times 40} + 2 \times \frac{0.02}{0.033 \times 40} + \frac{0.18}{2 \times 40} = 3.46 \times 10^{-2} \text{ KW}^{-1} \quad (20)$$

**Total:** Tendo em conta que os componentes estão associados em série e considerando os resultados das equações 16, 18 e 20

$$R_{total} = \frac{1}{\frac{1}{3.34 \times 10^{-4}} + \frac{1}{1.34 \times 10^{-1}} + \frac{1}{3.46 \times 10^{-2}}} = 3.30 \times 10^{-4} \text{ KW}^{-1} \quad (21)$$

### 3.2.3 Zona C

Tendo em conta os materiais apresentados na secção e, o croqui da estrutura, **a zona C**, para funcionar à temperatura de  $-10^{\circ}C$  possui as seguintes características:

Secção	Material	$k$ ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )	$\Delta x$ (m)	Área ( $m^2$ )
Parede Exterior ( $\times 1$ )	Cimento	0.46	0.09	40
	Poliestireno Expandido	0.037	0.02	40
	Betão Armado	2	0.18	40
	Poliestireno Expandido	0.037	0.02	40
	Gesso	0.25	0.01	40
Parede Interior Não Estrutural ( $\times 2$ )	Gesso	0.25	0.01	50
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.08	50
	Madeira Pinus	0.12	0.1	50
	Gesso	0.25	0.01	50
Parede Interior Estrutural ( $\times 1$ )	Gesso	0.25	0.01	37
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.02	37
	Betão Armado	2	0.18	37
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.02	37
	Gesso	0.25	0.01	37
Porta Simples ( $\times 1$ )	Madeira Pinus	0.12	0.1	3

Tabela 10: Composição da zona C

Com base na tabela 10, o cálculo das resistências para esta secção sucede-se da seguinte forma:

**Parede exterior:** Camadas associadas em série:

$$R_{parede\_ext} = R_{cimento} + 2 \times R_{poliestireno} + R_{betão} + R_{gesso} \quad (22)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_ext} = \frac{0.09}{0.46 \times 40} + 2 \times \frac{0.02}{0.037 \times 40} + \frac{0.18}{2 \times 40} + \frac{0.01}{0.25 \times 40} = 3.52 \times 10^{-2} KW^{-1} \quad (23)$$

**Paredes Interiores Não Estruturais:**

$$R_{parede\_não\_estrut} = 2 \times R_{gesso} + R_{poliestireno\_extrudido} + R_{madeira\_pinus} \quad (24)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_não\_estrut} = 2 \times \frac{0.01}{0.25 \times 50} + \frac{0.08}{0.033 \times 50} + \frac{0.1}{0.12 \times 50} = 6.68 \times 10^{-2} KW^{-1} \quad (25)$$

**Parede Interior Estrutural com Porta:** Paralelo entre a parede e a porta.

$$R_{parede\_estrut+porta} = \frac{1}{2 \times R_{gesso} + 2 \times R_{poliestireno} + R_{betão}} + \frac{1}{R_{porta}} \quad (26)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_estrut+porta} = \frac{1}{2 \times \frac{0.01}{0.25 \times 37} + 2 \times \frac{0.02}{0.033 \times 37} + \frac{0.18}{2 \times 37}} + \frac{1}{\frac{0.1}{0.12 \times 3}} \quad (27)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_estrut+porta} = 3.29 \times 10^{-2} \text{ KW}^{-1} \quad (28)$$

**Total:** Tendo em conta que os componentes estão associados em série e considerando os resultados das equações 23, 25 e 28

$$R_{total} = \frac{1}{\frac{1}{3.52 \times 10^{-2}} + \frac{1}{6.67 \times 10^{-2}} + \frac{1}{3.29 \times 10^{-2}}} = 2.30 \times 10^{-2} \text{ KW}^{-1} \quad (29)$$

### 3.2.4 Zona D

Tendo em conta os materiais apresentados na secção 2 e o croqui da secção 3.1, a zona D possui as seguintes características:

Secção	Material	$k (Wm^{-1}K^{-1})$	$\Delta x (m)$	Área ( $m^2$ )
Parede Exterior ( $\times 1$ )	Cimento	0.46	0.09	40
	Poliestireno Expandido	0.037	0.02	40
	Betão Armado	2	0.18	40
	Poliestireno Expandido	0.037	0.02	40
	Gesso	0.25	0.01	40
Parede Interior Não Estrutural ( $\times 2$ )	Gesso	0.25	0.01	22
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.08	22
	Madeira Pinus	0.12	0.1	22
	Gesso	0.25	0.01	22
Parede Interior Estrutural ( $\times 1$ )	Gesso	0.25	0.01	37
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.02	37
	Betão Armado	2	0.18	37
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.02	37
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.02	37
Porta Simples ( $\times 3$ )	Madeira Pinus	0.12	0.1	3

Tabela 11: Composição da zona D

Como esta zona deveria funcionar com uma temperatura interna de  $0^\circ\text{C}$ , o cálculo das resistências sucede-se da seguinte maneira:

**Parede Exterior:** Camadas associadas em série:

$$R_{parede\_ext} = R_{cimento} + 2 \times R_{poliestireno} + R_{betão} + R_{gesso} \quad (30)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_ext} = \frac{0.09}{0.46 \times 40} + 2 \times \frac{0.02}{0.037 \times 40} + \frac{0.18}{2 \times 40} + \frac{0.01}{0.25 \times 40} = 3.52 \times 10^{-2} \text{ KW}^{-1} \quad (31)$$

**Parede Interior Não Estrutural com Porta:** Paralelo entre a parede e a porta. Como existem duas paredes, o cálculo possui o dobro do valor.

$$\frac{1}{R_{parede\_não\_estrut+porta}} = 2 \left( \frac{1}{2 \times R_{gesso} + R_{poliestireno} + R_{madeira\_pinus}} + \frac{1}{R_{porta}} \right) \quad (32)$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{R_{parede\_n\tilde{a}o\_estrut+porta}} = 2 \left( \frac{1}{2 \times \frac{0.01}{0.25 \times 22} + \frac{0.08}{0.033 \times 22} + \frac{0.1}{0.12 \times 22}} + \frac{1}{\frac{0.1}{0.12 \times 3}} \right) \quad (33)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_n\tilde{a}o\_estrut+porta} = \frac{1}{2} \times 9.81 \times 10^{-2} = 4.91 \times 10^{-2} \text{ KW}^{-1} \quad (34)$$

**Parede Interior Estrutural com Porta:** Paralelo entre a parede e a porta.

$$\frac{1}{R_{parede\_estrut+porta}} = \frac{1}{2 \times R_{gesso} + 2 \times R_{poliestireno} + R_{bet\tilde{a}o}} + \frac{1}{R_{porta}} \quad (35)$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{R_{parede\_estrut+porta}} = \frac{1}{2 \times \frac{0.01}{0.25 \times 37} + 2 \times \frac{0.02}{0.033 \times 37} + \frac{0.18}{2 \times 37}} + \frac{1}{\frac{0.1}{0.12 \times 3}} \quad (36)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_estrut+porta} = 3.29 \times 10^{-2} \text{ KW}^{-1} \quad (37)$$

**Total:** Tendo em conta que os componentes estão associados em paralelo e considerando os resultados das equações 31, 34 e 37

$$R_{total} = \frac{1}{\frac{1}{3.52 \times 10^{-2}} + \frac{1}{4.90 \times 10^{-2}} + \frac{1}{3.29 \times 10^{-2}}} = 1.26 \times 10^{-2} \text{ KW}^{-1} \quad (38)$$



### 3.2.5 Zona E

Tendo em conta os materiais apresentados na secção e, o croqui da estrutura, **a zona E**, para funcionar à temperatura de  $10^{\circ}C$  possui as seguintes características:

Secção	Material	$k (Wm^{-1}K^{-1})$	$\Delta x (m)$	Área ( $m^2$ )
Paredes Exteriores (Área com base no croqui)	Cimento	0.46	0.09	90
	Poliestireno Expandido	0.037	0.02	90
	Betão Armado	2	0.18	90
	Poliestireno Expandido	0.037	0.02	90
	Gesso	0.25	0.01	90
Parede Interior Não Estrutural ( $\times 1$ )	Gesso	0.25	0.01	47
	Poliestireno Extrudido	0.033	0.08	47
	Madeira Pinus	0.12	0.1	47
	Gesso	0.25	0.01	47
Porta Simples ( $\times 1$ )	Madeira Pinus	0.12	0.1	3

Tabela 12: Composição da zona E

Com base na tabela 12, o cálculo das resistências para esta secção sucede-se da seguinte forma:

**Parede exterior:** Camadas associadas em série:

$$R_{parede\_ext} = R_{cimento} + 2 \times R_{poliestireno} + R_{betão} + R_{gesso} \quad (39)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_ext} = \frac{0.09}{0.46 \times 90} + 2 \times \frac{0.02}{0.037 \times 90} + \frac{0.18}{2 \times 90} + \frac{0.01}{0.25 \times 90} = 1.56 \times 10^{-2} KW^{-1} \quad (40)$$

**Parede Interior Não Estrutural com Porta:** Paralelo entre a parede e a porta.

$$\frac{1}{R_{parede\_não\_estrut+porta}} = \frac{1}{2 \times R_{gesso} + R_{poliestireno\_extrudido} + R_{madeira\_pinus}} + \frac{1}{R_{porta}} \quad (41)$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{R_{parede\_não\_estrut+porta}} = \frac{1}{2 \times \frac{0.01}{0.25 \times 47} + \frac{0.08}{0.033 \times 47} + \frac{0.1}{0.12 \times 47}} + \frac{1}{\frac{0.1}{0.12 \times 3}} \quad (42)$$

$$\Leftrightarrow R_{parede\_não\_estrut+porta} = \frac{1}{7.10 \times 10^{-2} + 2,78 \times 10^{-2}} = 5.66 \times 10^{-2} KW^{-1} \quad (43)$$

**Total:** Tendo em conta que os componentes estão associados em série e considerando os resultados das equações 40 e 43

$$R_{total} = \frac{1}{\frac{1}{1.56 \times 10^{-2}} + \frac{1}{5.65 \times 10^{-2}}} = 1.22 \times 10^{-2} \text{ KW}^{-1} \quad (44)$$

### 3.2.6 Telhado

Para cada uma das secções, **a área do telhado é igual**. Deste modo, ao calcular a resistência do telhado para uma secção, estamos a obter também o seu valor para todas as outras.

Secção	Material	$k \text{ (Wm}^{-1}\text{K}^{-1}\text{)}$	$\Delta x \text{ (m)}$	Área ( $\text{m}^2$ )
Telhado	Telha	1.2	0.06	80.1
	Cimento	0.46	0.04	80.1
	Espuma de Poliuretano	0.028	0.17	80.1
	Gesso	0.25	0.03	80.1

Tabela 13: Composição da zona C

Com base na tabela 13, o cálculo das resistência para o telhado sucede-se da seguinte forma:

$$R_{telhado} = R_{telha} + R_{cimento} + R_{poliuretano} + R_{gesso} \quad (45)$$

$$\Leftrightarrow R_{telhado} = \frac{0.06}{1.2 \times 80.1} + \frac{0.04}{0.46 \times 80.1} + \frac{0.17}{0.028 \times 80.1} + \frac{0.03}{0.25 \times 80.1} = 7.90 \times 10^{-2} \text{ KW}^{-1} \quad (46)$$

## Referências

- [1] I. Asadi, P. Shafigh, Z. F. B. A. Hassan e N. B. Mahyuddin, «Thermal conductivity of concrete – A review,» *Journal of Building Engineering*, vol. 20, pp. 81–93, novembro de 2018. DOI: [10.1016/j.jobe.2018.07.002](https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.07.002). URL: <https://doi.org/10.1016%2Fj.jobe.2018.07.002>.
- [2] E. RUH e J. S. McDOWELL, «Thermal Conductivity of Refractory Brick,» *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 45, n.º 4, pp. 189–195, abril de 1962. DOI: [10.1111/j.1151-2916.1962.tb11118.x](https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1962.tb11118.x). URL: <https://doi.org/10.1111%2Fj.1151-2916.1962.tb11118.x>.
- [3] Soprema. «CONDUTIBILIDADES TÉRMICAS DOS ISOLAMENTOS TÉRMICOS (EN 12667).» (janeiro de 2021), URL: <https://www.soprema.pt/pt/sopra-xps-isolamento-termico-resistencia-termica> (acedido em 2022-11-29).
- [4] I. Asadi, P. Shafigh, Z. F. B. A. Hassan e N. B. Mahyuddin, «Thermal conductivity of concrete – A review,» *Journal of Building Engineering*, vol. 20, pp. 81–93, novembro de 2018. DOI: [10.1016/j.jobe.2018.07.002](https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.07.002). URL: <https://doi.org/10.1016%2Fj.jobe.2018.07.002>.
- [5] «Typical Thermal Conductivity of Building Materials,» em *Spon's Architects' and Builders' Price Book 2013*, CRC Press, setembro de 2012. DOI: [10.1201/b12706-61](https://doi.org/10.1201/b12706-61). URL: <https://doi.org/10.1201%2Fb12706-61>.
- [6] admin. «Why Plastering Your Wall Is Important?» (Fevereiro de 2021), URL: <https://budgetpainting.sg/why-plastering-your-wall-is-important/> (acedido em 2022-11-29).
- [7] Fibrosom. «Isolamento térmico com poliestireno extrudido.» (abril de 2019), URL: <http://www.fibrosom.com/Produtos.aspx?id=3> (acedido em 2022-11-29).
- [8] N. Connor. «O que é espuma de poliuretano – definição.» (novembro de 2019), URL: <https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-espuma-de-poliuretano-definicao/> (acedido em 2022-10-15).
- [9] H. Kol, «Thermal and dielectric properties of pine wood in the transverse direction,» *BioResources*, vol. 4, novembro de 2009.
- [10] T. L. Bergman, A. S. Lavine, F. P. Incropera e D. P. DeWitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 8ª ed. Wiley, 2018, ISBN: 978-1-119-35388-1.