

Resistência e Energia — Térmica

2 de janeiro de 2023

Marco Maia — 1210951

Rúben Ferreira — 1210954

João Teixeira — 1210957

José Rente — 1211155

Conteúdo

1	Introdução	3
2	Seleção de materiais	3
2.1	Paredes Exteriores	3
2.1.1	Camada Exterior	3
2.1.2	Camada Isolante e Estrutural	3
2.1.3	Camada Interior	4
2.2	Paredes Interiores	5
2.2.1	Camada Exterior e Interior	5
2.2.2	Camada Isolante e Estrutural	5
2.3	Telhado	6
2.4	Portas	7
2.5	Janelas	7
3	Estrutura	8
3.1	Croqui	8
3.2	Resistência Térmica nas Secções	8
3.2.1	Zona A	8
3.2.2	Zona B	11
3.2.3	Zona C	13
3.2.4	Zona D	15
3.2.5	Zona E	17
3.2.6	Telhado	18
4	Sprint2	18
4.1	US406	18
4.1.1	Secção C	19
4.1.2	Secção D	19
4.1.3	Secção E	19
4.2	US407	20
4.2.1	Formulas Utilizadas	20
4.2.2	Temperatura Exterior de 20°C	21
4.2.3	Temperatura Exterior de 28°C	31
4.3	US408	32
4.3.1	Temperatura de 20°C	33
4.4	Diferença de Energias Após Melhorias	34
4.5	US409	35
4.5.1	Ponto 7	35

4.5.2	Ponto8	36
4.5.3	Otimizar Sistemas de Arrefecimento	36

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].

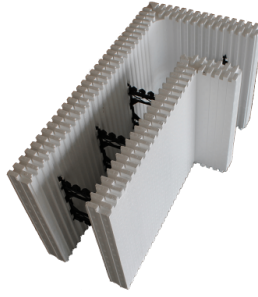


Figura 1: Sistema ICF, ainda por preencher com betão armado

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 dos 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.

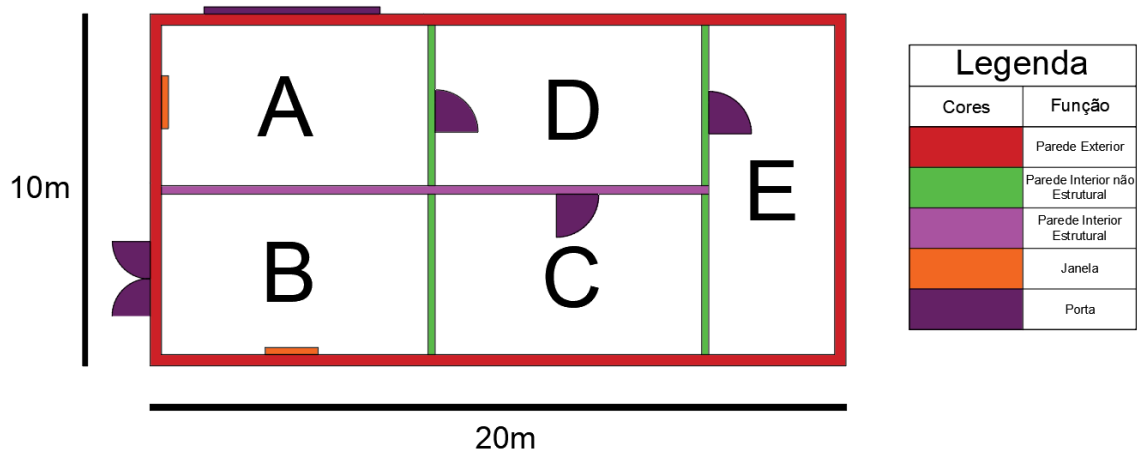


Figura 3: Croqui da estrutura concebida

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°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 (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:

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

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

4 Sprint2

4.1 US406

Para calcular a energia necessária para manter as secções às temperaturas solicitadas, devemos calcular o R total da secção e com isso calcular a energia.

$$R_{total}(K/W) = \frac{1}{\frac{1}{R_{seccao}} + \frac{1}{R_{total}}} \quad (47)$$

$$Energia(J) = \frac{1}{R_{total}} * \Delta T * \Delta t \quad (48)$$

4.1.1 Secção C

Temperatura Interior = -10°C

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{0.0280} + \frac{1}{0.0790} \quad (49)$$

$$\Leftrightarrow R_{total} = 0.0207 \quad (50)$$

$$Energia = \frac{1}{0.0207} * (15 + 10) * 3600 \quad (51)$$

$$\Leftrightarrow Energia_C = 4348574 \quad (52)$$

4.1.2 Secção D

Temperatura Interior = 0°C

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{0.0140} + \frac{1}{0.0790} \quad (53)$$

$$\Leftrightarrow R_{total} = 0.0119 \quad (54)$$

$$Energia = \frac{1}{0.0119} * (15 - 0) * 3600 \quad (55)$$

$$\Leftrightarrow Energia_D = 4539094 \quad (56)$$

4.1.3 Secção E

Temperatura Interior = 10°C

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{0.0156} + \frac{1}{0.0790} \quad (57)$$

$$\Leftrightarrow R_{total} = 0.0130 \quad (58)$$

$$Energia = \frac{1}{0.0130} * (15 - 10) * 3600 \quad (59)$$

$$\Leftrightarrow Energia_E = 11382313 \quad (60)$$

4.2 US407

Com as resistências previamente calculadas, vamos calcular o total para cada face que se oponha a uma superfície com diferente temperatura. Após isso com a diferença de temperatura entre cada uma das secções calculamos a potência. A soma das potências de cada secção dá-nos uma potência total, e através dela multiplicando com o período de tempo em estudo, é possível calcular a energia a fornecer para aquela secção. Através disso a soma de todas as energias entregam a energia total a fornecer há estrutura.

4.2.1 Formulas Utilizadas

$$\frac{1}{R_{TotalExterior}(K/W)} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \dots \quad (61)$$

Exemplo para o Calculo da Resistência da Secção A Formulas 62, 63, 64

$$\frac{1}{R_{TotalExterior}} = \frac{1}{R_{ParedeExterior}} + \frac{1}{R_{Janela}} + \frac{1}{R_{PortadeSubir}} + \frac{1}{R_{Telhado}} \quad (62)$$

$$R_{TotalInteriorEstrutural} = R_{ParedeInteriorEstrutural} \quad (63)$$

$$\frac{1}{R_{TotalInteriorNaoEstrutural}} = \frac{1}{R_{ParedeInteriorNaoEstrutural}} + \frac{1}{R_{PortaSimples}} \quad (64)$$

$$Potencia(W) = \frac{\Delta T}{R_{Total}} \quad (65)$$

$$PotenciaTotal(W) = Potencia1 + Potencia2 + \dots + PotenciaN \quad (66)$$

$$Energia(J) = PotenciaN * \Delta t \quad (67)$$

$$\Delta t(s) = 3600 \quad (68)$$

Estas formulas com as necessárias adaptações são utilizadas para todos os cálculos das [4.2](#) e [4.3](#).

4.2.2 Temperatura Exterior de 20°C

Secção A

Secção A	R (K/W)
Parede Exterior	0.0399
Janela	0.0880
Porta de Subir	0.1667
Parede Interior Estrutural	0.0374
Parede Interior não Estrutural	0.0834
Porta Simples	0.2778
Telhado	0.0790

Tabela 14: Composição da zona A

R Total por Estrutura	R (K/W)
Exterior	0.0182
Interior Estrutural	0.0374
Interior não Estrutural	0.0642

Tabela 15: R Total da zona A

Temperatura	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$
Exterior com Zona A	25
Zona B com Zona A	0
Zona D com Zona A	5

Tabela 16: Temperatura da zona A

Potência	I (W)
Exterior com Zona A	1376.49
Zona B com Zona A	0.00
Zona D com Zona A	77.92

Tabela 17: Potência da zona A

Potência Total	I (W)
Potência A	1454

Tabela 18: Potência Total da zona A

Energia por Hora	(I * Δt) (J)
Energia A	5235891

Tabela 19: Energia da zona A

Secção B

Secção B	R (K/W)
Parede Exterior	0.0337
Janela	0.0880
Porta de Dupla	0.1389
Parede Interior Estrutural	0.0346
Parede Interior não Estrutural	0.1335
Telhado	0.0790

Tabela 20: Composição da zona B

R Total por Estrutura	R (K/W)
Exterior	0.0164
Interior Estrutural	0.0346
Interior não Estrutural	0.1335

Tabela 21: R Total da zona B

Temperatura	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$
Exterior com Zona B	25
Zona A com Zona B	0
Zona C com Zona B	5

Tabela 22: Temperatura da zona B

Potência	I (W)
Exterior com Zona B	1522.63
Zona A com Zona B	0.00
Zona C com Zona B	37.45

Tabela 23: Potência da zona B

Potência Total	I (W)
Potência B	1560

Tabela 24: Potência Total da zona B

Energia por Hora	$(I * \Delta t)$ (J)
Energia B	5616308

Tabela 25: Energia da zona B

Secção C

Secção C	R (K/W)
Parede Exterior	0.0484
2x Parede Interior não Estrutural	0.1335
Parede Interior Estrutural	0.0374
Porta Simples	0.2778
Telhado	0.0790

Tabela 26: Composição da zona C

R Total por Estrutura	R (K/W)
Exterior	0.0300
Interior Estrutural	0.0329
Interior não Estrutural	0.1335
Interior não Estrutural	0.1335

Tabela 27: R Total da zona C

Temperatura	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$
Exterior com Zona C	30
Zona B com Zona C	5
Zona D com Zona C	10
Zona E com Zona C	20

Tabela 28: Temperatura da zona C

Potência	I (W)
Exterior com Zona C	999.11
Zona B com Zona C	37.45
Zona D com Zona C	303.70
Zona E com Zona C	149.81

Tabela 29: Potência da zona C

Potência Total	I (W)
Potência C	1490

Tabela 30: Potência Total da zona C

Energia por Hora	(I * Δt) (J)
Energia C	5364270

Tabela 31: Energia da zona C

Secção D

Secção D	R (K/W)
Parede Exterior	0.0484
2x Parede Interior não Estrutural	0.1517
Porta Simples	0.2778
Parede Interior Estrutural	0.0374
Porta Simples	0.2778
Telhado	0.0790

Tabela 32: Composição da zona D

R Total por Estrutura	R (K/W)
Exterior	0.0300
Interior Estrutural	0.0329
2x Interior não Estrutural	0.0981

Tabela 33: R Total da zona D

Temperatura	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$
Exterior com Zona D	20
Zona A com Zona D	5
Zona C com Zona D	10
Zona E com Zona D	10

Tabela 34: Temperatura da zona D

Potência	I (W)
Exterior com Zona D	666.07
Zona A com Zona D	50.96
Zona C com Zona D	303.70
Zona E com Zona D	101.92

Tabela 35: Potência da zona D

Potência Total	I (W)
Potência D	1123

Tabela 36: Potência Total da zona D

Energia por Hora	(I * Δt) (J)
Energia D	4041544

Tabela 37: Energia da zona D

Secção E

Secção E	R (K/W)
Parede Exterior	0.0215
Parede Interior não Estrutural	0.1517
Porta Simples	0.2778
Parede Interior não Estrutural	0.1335
Telhado	0.0790

Tabela 38: Composição da zona E

R Total por Estrutura	R (K/W)
Exterior	0.0169
Interior não Estrutural (1)	0.0981
Interior não Estrutural (2)	0.1335

(1) com Porta (2) sem Porta

Tabela 39: R Total da zona E

Temperatura	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$
Exterior com Zona E	10
Zona D com Zona E	10
Zona C com Zona E	20

Tabela 40: Temperatura da zona E

Potência	I (W)
Exterior com Zona E	591.13
Zona D com Zona E	101.92
Zona C com Zona E	149.81

Tabela 41: Potência da zona E

Potência Total	I (W)
Potência E	843

Tabela 42: Potência Total da zona E

Energia por Hora	(I * Δt) (J)
Energia E	3034283

Tabela 43: Energia da zona E

Energia Total da Estrutura

$$EnergiaTotal(J) = EnergiaA + EnergiaB + EnergiaC + EnergiaD + EnergiaE \quad (69)$$

$$\Leftrightarrow EnergiaTotal = 23292296J \quad (70)$$

4.2.3 Temperatura Exterior de 28°C

Para este exemplo iremos proceder com a mesma sequência de cálculos, mas agora considerando uma temperatura exterior de 28°C. Desta forma iremos apresentar apenas os resultados para tornas uma mais simples leitura

Secção A

Energia por Hora (I * Δt) (J)	
Energia A	6821609

Tabela 44: Energia da zona A

Secção B

Energia por Hora (I * Δt) (J)	
Energia B	7370381

Tabela 45: Energia da zona B

Secção C

Energia por Hora (I * Δt) (J)	
Energia C	6323414

Tabela 46: Energia da zona C

Secção D

Energia por Hora	$(I * \Delta t) (J)t$
Energia D	5000689

Tabela 47: Energia da zona D

Secção E

Energia por Hora	$(I * \Delta t) (J)$
Energia E	4736740

Tabela 48: Energia da zona E

Energia Total da Estrutura

$$EnergiaTotal = EnergiaA + EnergiaB + EnergiaC + EnergiaD + EnergiaE \quad (71)$$

$$\Leftrightarrow EnergiaTotal = 30252833J \quad (72)$$

4.3 US408

Como só foi alterado a estrutura das paredes interiores serão apresentadas as mudanças das resistências das paredes em questão. Existem nos quatro cenários possíveis, Paredes Estruturais e não Estruturais com Portas ou não e os cálculos serão os mesmos que no [4.2](#).

Paredes Interiores	R (K/W)
Estrutural com Porta	0.0696
Estrutural sem Porta	0.0644
não Estrutural com Porta	0.1357
não Estrutural sem Porta	0.2171

Tabela 49: Resistências após Melhorias

4.3.1 Temperatura de 20°C

Secção A

Energia por Hora (I * Δt) (J)	
Energia A	5142852

Tabela 50: Energia da zona A

Secção B

Energia por Hora (I * Δt) (J)	
Energia B	5564375

Tabela 51: Energia da zona B

Secção C

Energia por Hora (I * Δt) (J)	
Energia C	4658306

Tabela 52: Energia da zona C

Secção D

Energia por Hora (I * Δt) (J)
Energia D 3458141

Tabela 53: Energia da zona D

Secção E

Energia por Hora (I * Δt) (J)
Energia E 2735153

Tabela 54: Energia da zona E

Energia Total da Estrutura

$$EnergiaTotal(J) = EnergiaA + EnergiaB + EnergiaC + EnergiaD + EnergiaE \quad (73)$$

$$\Leftrightarrow EnergiaTotal = 21558827J \quad (74)$$

4.4 Diferença de Energias Após Melhorias

$$DiferencaDeEnergia20^{\circ}C = EnergiaAntesDaMelhoria - EnergiaAposMelhoria \quad (75)$$

$$\Leftrightarrow DiferencaDeEnergia20C = 1717290J \quad (76)$$

4.5 US409

Formulas Utilizadas

$$Potencia(W) = \frac{\Delta T}{R_{Total}} \quad (77)$$

$$PotenciaTotal(W) = Potencia1 + Potencia2 + \dots + PotenciaN \quad (78)$$

$$1BTU/h = 3412.142KW/h \quad (79)$$

$$ArrefecimentoNecessario = \frac{3412.142}{1000} \times Potencia \quad (80)$$

Estas formulas com as necessárias adaptações são utilizadas para todos os cálculos da US409.

4.5.1 Ponto 7

Temperatura = 20°C

Potência	I (W)
Secção A	1450
Secção B	1560
Secção C	1490
Secção D	1123
Secção E	843
Total	6466

Tabela 55: Potência para o Arrefecimento

Temperatura = 28°C

Potência	I (W)
Secção A	1890
Secção B	2047
Secção C	1757
Secção D	1389
Secção E	1316
Total	8399

Tabela 56: Potência para o Arrefecimento

4.5.2 Ponto8

Potência	I (W)
Secção A	1429
Secção B	1546
Secção C	1294
Secção D	961
Secção E	760
Total	5989

Tabela 57: Potência para o Arrefecimento

4.5.3 Otimizar Sistemas de Arrefecimento

Potência (BTU/h)	Potência (KW/h)
1	3412.142

Tabela 58: Conversão para BTU/h

Arrefecimento	Potência (BTU/h)
Secção A	4874
Secção B	5274
Secção C	4415
Secção D	3278
Secção E	2592
Total	20434

Tabela 59: BTU's Necessários para Manter Temperatura

Potência (BTU/h)	Consumo (KW/h)	Tarifa (€)	Custo por Hora de Funcionamento (€)
6000	1.46	0.24	0.35
12000	2.10	0.24	0.50

Tabela 60: Ar Condicionados

Para otimizar o numero de sistemas de arrefecimento optamos pelo Ar Condicionado encontrado com menor produção de BTU/h suficiente para satisfazer as condições pretendidas. Para as secções C, D e E não foi possível outras formas de otimizar estes sistemas de arrefecimentos pelas diferentes temperaturas presentes em cada uma. Contudo a mesma coisa não se aplica nas secções A e B por ambas estarem a -5°C . Com a criação de uma porta com a mesma estrutura das outras “Portas Simples”, entre as duas secções e deixar esta porta aberta apenas enquanto as portas para a o exterior estiverem fechadas, é possível colocar apenas um ar condicionado de 12 mil BTU/h. Desta forma, como um Ar Condicionado de 12 mil BTU’s, não tem consumos diretamente proporcionais com o aumento de BTU/h seria economicamente mais apetecível abdicar de colocar dois Ar Condicionados de metade de produção de BTU’s e optar por um mais potente pela vantagem económica como demonstra a seguinte tabela.

Nº Ar Condicionados	Potência (BTU/h)	Custo por Hora de Funcionamento (€)
2	6000	0.70
1	12000	0.50

Tabela 61: Numero de Ar Condicionados com Custo

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.