



**UNIVERSIDADE DE ÉVORA**  
**ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**Mestrado em Engenharia Civil**  
*Especialização em Construção*

**Dissertação**

**Soluções construtivas a adotar em edifícios de habitação unifamiliar  
localizados em zona climática V<sub>3</sub> I<sub>1</sub>, visando uma eficiência energética  
elevada**

Daniel Filipe Mendes Murteira

**Orientador:**

Professor Doutor José Júlio Braga Correia da Silva

Outubro de 2012



**Mestrado em Engenharia Civil**  
*Especialização em Construção*

**Dissertação**

**Soluções construtivas a adoptar em edifícios de habitação unifamiliar  
localizados em zona climática V<sub>3</sub> I<sub>1</sub>, visando uma eficiência energética  
elevada**

Daniel Filipe Mendes Murteira

**Orientador:**

Professor Doutor José Júlio Braga Correia da Silva



## **AGRADECIMENTOS**

A realização da presente dissertação não teria sido possível sem o apoio de várias pessoas. Gostaria de reiterar os meus mais sinceros agradecimentos ao Prof. Dr. José Júlio Braga Correia da Silva, Professor Auxiliar da Universidade de Évora, orientador deste trabalho e cujo apoio foi fundamental para a realização do mesmo. Agradeço também aos meus amigos e família pelo apoio prestado, amizade, conforto e incentivo, especialmente à minha mãe, namorada e avó cujo apoio foi fundamental para a conclusão da presente dissertação de mestrado.

## RESUMO

Este trabalho pretende realçar a importância de efetuar uma correta análise, das soluções construtivas a adotar em moradias unifamiliares, localizadas em zona climática V<sub>3</sub> I<sub>1</sub>, de modo a promover a redução do consumo de energia nas mesmas, contribuindo para um futuro mais sustentável no setor da construção. Os gastos energéticos em edifícios representam uma elevada percentagem dos gastos energéticos globais, por isso é essencial encontrar soluções construtivas que minimizem as ineficiências energéticas. A presente dissertação procura apresentar e comparar diferentes soluções construtivas, verificando quais são as mais eficientes energeticamente. Foram comparadas várias soluções a aplicar na envolvente de moradias unifamiliares e analisados outros fatores tais como a orientação das mesmas. Para a realização do estudo recorreu-se a uma moradia unifamiliar, representativa da construção corrente para habitação praticada em Portugal. Foi também realizado um estudo técnico-económico sobre a espessura de isolamento térmico a utilizar em elementos da envolvente de moradias.

**Palavras-chave:** Soluções Construtivas; Energia; Térmica; Eficiência Energética.

## **ABSTRACT**

### **Constructive Solutions to be Adopted on Single Family Houses Located in Climate Zone V<sub>3</sub> I<sub>1</sub>, in order to Achieve High Levels of Energy Efficiency**

This dissertation intends to highlight the importance of making a correct analysis of constructive solutions to be adopted on single family houses, located in climate zone V<sub>3</sub> I<sub>1</sub> in order to promote reduction of energy consumption, contributing to a more sustainable future in construction. The energy expenditures in buildings represent a high percentage of global energy expenditures, so it's essential to find constructive solutions that minimize energy inefficiencies. This dissertation tries to present and compare different constructive solutions, verifying which are the most energetically efficient. Several solutions were compared to be applied on the single family houses envelope and other factors analysed such as their orientation. For this study a single family house was used, representative of current construction for housing practiced in Portugal. It was also carried out a technical and economic study on the thickness of thermal isolation for use in the envelope elements of houses.

**Key Words:** Constructive Solutions; Energy; Thermal; Energy Efficiency.

# ÍNDICE

Agradecimentos.....	I	
Resumo.....	II	
Abstract.....	III	
Índice de Figuras.....	X	
Índice de Quadros.....	XIII	
Capítulo 1	Enquadramento e Motivação da Dissertação.....	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Objetivos e metodologia.....	2
1.3	Organização.....	4
Capítulo 2	Caracterização do Comportamento Térmico dos Edifícios.....	5
2.1	Regulamentação.....	5
2.2	Transmissão do calor em edifícios.....	6
2.2.1	Trocas de calor por condução através da envolvente da construção.....	8
2.2.2	Trocas através da renovação do ar.....	11
2.2.3	Ganhos solares pelos envidraçados.....	13
2.2.4	Ganhos internos.....	14
2.2.5	Inércia térmica.....	14
Capítulo 3	Verificação do Comportamento Térmico dos Edifícios com Base no RCCTE.....	17
3.1	Introdução.....	17
3.2	Limitação das necessidades nominais de energia útil para aquecimento.....	18
3.3	Metodologia de cálculo das necessidades de aquecimento.....	18
3.3.1	Perdas térmicas.....	18



3.3.2	Ganhos térmicos.....	21
3.4	Limitação das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento....	25
3.5	Metodologia de cálculo das necessidades de arrefecimento.....	25
3.6	Limitação das necessidades nominais de energia para produção de águas quentes sanitárias.....	28
3.7	Metodologia de cálculo das necessidades de energia para preparação das águas quentes sanitárias.....	28
3.8	Limitação das necessidades nominais globais de energia primária.....	29
3.9	Requisitos de qualidade térmica e ambiental para edifícios de habitação localizados em zona climática $V_3 I_1$ .....	30
Capítulo 4	Soluções Construtivas.....	33
4.1	Soluções construtivas em paredes exteriores.....	33
4.1.1	Isolamento térmico pelo exterior.....	33
	4.1.1.1 Pano simples com isolamento térmico contínuo pelo exterior (ETICS - external thermal insulation composite system).....	33
	4.1.1.2 Pano simples com isolamento térmico pelo exterior protegido por revestimento exterior formando uma caixa de ar.....	35
4.1.2	Isolamento térmico no interior da caixa de ar em paredes duplas.....	36
4.2	Soluções construtivas em coberturas.....	41
4.3	Soluções construtivas em pavimentos.....	50
4.4	Soluções construtivas em vãos envidraçados.....	54
4.5	Soluções construtivas em portas exteriores.....	58
4.6	Isolamentos térmicos.....	59
4.7	Soluções construtivas para reduzir as pontes térmicas.....	61
4.7.1	Ligação da fachada com pavimento térreo.....	62
4.7.2	Ligação da fachada com pavimento sobre local não aquecido.....	63

4.7.3	Ligação da fachada com cave habitável.....	64
4.7.4	Ligação da fachada com pavimento intermédio.....	65
4.7.5	Ligação entre duas paredes verticais.....	66
4.7.6	Ligação da fachada com cobertura plana.....	67
4.7.7	Ligação da fachada com cobertura inclinada.....	69
4.7.8	Ligação da fachada com varanda / caixa de estore.....	70
4.8	A importância da inércia térmica e da permeabilidade da envolvente ao vapor.....	71
4.9	Sistemas convencionais para águas quentes sanitárias.....	72
4.10	Energia solar nos edifícios.....	73
4.11	Reabilitação energética dos edifícios.....	75
4.12	Outras soluções para melhorar a eficiência energética.....	76
Capítulo 5	Caso de Estudo.....	77
5.1	Introdução.....	77
5.2	Elementos necessários para licenciamento e certificação.....	77
5.3	Descrição geral.....	79
5.4	Dados climáticos.....	86
5.4.1	Zonas climáticas.....	86
5.4.2	Graus-dias de aquecimento.....	86
5.4.3	Duração da estação de aquecimento.....	86
5.4.4	Energia solar incidente na estação de aquecimento.....	87
5.4.5	Intensidade da radiação solar para a estação de arrefecimento.....	87
5.4.6	Temperatura média mensal do ar para a estação de arrefecimento.....	87
5.5	Requisitos energéticos – exigências regulamentares.....	87

5.5.1	Aspetos gerais.....	87
5.5.2	Necessidades nominais de energia útil para aquecimento – Ni.....	88
5.5.2.1	Quantificação do fator de forma.....	88
5.5.2.2	Quantificação de Ni.....	89
5.5.3	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento – Nv.....	89
5.5.4	Limitação das necessidades de energia para preparação de AQS – Na.....	89
5.5.5	Limitação das necessidades nominais globais de energia primária – Nt.....	90
5.5.6	Quantificação dos parâmetros térmicos – coeficientes de transmissão térmica – U.....	91
5.6	Soluções construtivas e equipamentos aplicados inicialmente.....	91
5.6.1	Elementos da envolvente opaca e elementos interiores.....	92
5.6.2	Vãos envidraçados.....	114
5.6.3	Ventilação.....	115
5.6.4	Água quente sanitária.....	116
5.6.5	Sistema de climatização.....	117
5.7	Quantificação dos requisitos energéticos e verificação do RCCTE.....	117
5.8	Análise de soluções construtivas que visam melhorar a eficiência energética da moradia unifamiliar.....	119
5.8.1	Aumento da espessura de isolamento térmico nas paredes exteriores em zona corrente.....	121
5.8.2	Aumento da espessura de isolamento térmico na cobertura exterior em zona corrente.....	126
5.8.3	Aumento da espessura de isolamento térmico no pavimento interior sobre a cave em zona corrente.....	128

5.8.4	Aumento da espessura de isolamento térmico na cobertura interior plana sob o desvão de cobertura em zona corrente.....	130
5.8.5	Aumento da espessura de isolamento térmico nas paredes interiores em contacto com espaços não úteis em zona corrente.....	132
5.8.6	Diminuição das perdas associadas à renovação de ar.....	136
5.8.7	Diminuição das necessidades de energia para preparação de água quente sanitária.....	138
5.8.8	Melhoria dos sistemas que compõem os vãos envidraçados.....	141
5.8.9	Utilização de energias renováveis.....	143
5.8.10	Resumo das medidas de melhoria.....	144
5.9	Análise comparativa de diferentes soluções construtivas.....	146
5.9.1	Pavimento em contacto com o terreno vs. pavimento em contacto com desvão sanitário.....	147
5.9.2	Cobertura exterior em terraço vs. cobertura exterior inclinada com desvão.....	149
5.9.3	Análises comparativas em vãos envidraçados .....	152
5.9.4	Moradia isolada vs. moradia em banda.....	157
5.9.5	Análises comparativas de ângulos de sombreamento.....	160
5.9.6	Análise comparativa da orientação da moradia.....	163
5.9.7	Vãos envidraçados orientados a Sul vs. paredes exteriores orientadas a Sul.....	164
5.9.8	Superfície exterior de cor clara vs. superfície com caixa de ar fortemente ventilada.....	166
5.9.9	Análise comparativa da posição de isolamento térmico em paredes exteriores.....	167
Capítulo 6	Análise Técnico-Económica Sobre a Espessura de Isolamento Térmico a Utilizar em Elementos de Envolvente de Moradias Unifamiliares.....	173

6.1	Introdução.....	173
6.2	Isolamento térmico em paredes exteriores.....	173
6.3	Isolamento térmico em paredes interiores em contacto com espaços não úteis.....	177
6.4	Isolamento térmico na cobertura plana exterior.....	178
6.5	Isolamento térmico no pavimento interior sobre a cave.....	179
6.6	Isolamento térmico na cobertura interior sob o desvão de cobertura.....	180
Capítulo 7	Conclusões e Propostas de Estudos Futuros.....	183
	Referências Bibliográficas.....	189

## Anexos

Anexo 1 : Peças desenhadas relativas ao projeto de arquitetura e estabilidade da moradia unifamiliar do caso de estudo

Anexo 2 : Relatórios energéticos do software SOLTERM do INETI

Anexo 3 : Tabelas de cálculo de aplicação do RCCTE utilizadas na primeira verificação

Anexo 4 : Caracterização das paredes exteriores para as diferentes espessuras de isolamento térmico consideradas

Anexo 5 : Caracterização da cobertura exterior para as diferentes espessuras de isolamento térmico consideradas

Anexo 6 : Caracterização do pavimento interior sobre a cave para as diferentes espessuras de isolamento térmico consideradas

Anexo 7 : Caracterização da cobertura interior plana sob o desvão de cobertura para as diferentes espessuras de isolamento térmico consideradas

Anexo 8 : Caracterização das paredes interiores em contacto com espaços não úteis para as diferentes espessuras de isolamento térmico consideradas

Anexo 9: Tabelas de cálculo de aplicação do RCCTE utilizadas na verificação de cumprimento do RCCTE n.º 20

Anexo 10: Quadros relativos às medidas de melhoria em elementos de envolvente da moradia unifamiliar do caso de estudo

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Zona climática $V_3 I_1$ .....	3
Figura 2.1 – Balanço térmico em edifícios.....	7
Figura 2.2 – Transmissão de calor através de um elemento de construção.....	9
Figura 2.3 – Permeabilidade ao ar de um sistema de caixilharia.....	13
Figura 3.1 – Fatores de sombreamento $F_f$ e $F_o$ .....	22
Figura 4.1 – Sistema ETIC (external thermal insulation composite system).....	34
Figura 4.2 – Fachada ventilada.....	36
Figura 4.3 – Parede dupla com isolamento térmico na caixa de ar.....	38
Figura 4.4 – Correção térmica na zona dos elementos estruturais.....	39
Figura 4.5 – Viga de corte térmico do tipo “schöck isokorb type o”.....	40
Figura 4.6 – Solução construtiva com viga de corte térmico.....	41
Figura 4.7 – Cobertura plana tradicional com isolamento térmico sobre a laje.....	44
Figura 4.8 – Cobertura plana tradicional com isolamento térmico sob a laje.....	45
Figura 4.9 – Cobertura plana invertida.....	46
Figura 4.10 – Cobertura inclinada em estrutura monolítica sem laje de esteira.....	48
Figura 4.11 – Cobertura inclinada em estrutura descontínua com sótão habitável.....	49
Figura 4.12 – Cobertura inclinada em estrutura descontínua com sótão não habitável.....	49
Figura 4.13 – Pavimento com isolamento térmico na caixa de ar entre o teto falso e a estrutura resistente.....	50

Figura 4.14 – Pavimento com isolamento térmico fixado diretamente à estrutura resistente....	51
Figura 4.15 – Caixilharia em madeira maciça.....	56
Figura 4.16 – Caixilharia em PVC.....	56
Figura 4.17 – Caixilharia em alumínio.....	57
Figura 4.18 – Vidro de baixa emissividade.....	58
Figura 4.19 – Porta Fichet modelo Forstyl S.....	58
Figura 4.20 – Porta Fichet modelo Forstyl HiS.....	59
Figura 4.21 – Forra cerâmica no revestimento exterior de elementos estruturais em betão armado.....	62
Figura 4.22 – Ligação da fachada com pavimento térreo.....	63
Figura 4.23 – Ligação da fachada com pavimento sobre local não aquecido.....	64
Figura 4.24 – Ligação da fachada com cave habitável.....	65
Figura 4.25 – Ligação da fachada com pavimento intermédio.....	66
Figura 4.26 – Ligação entre duas paredes verticais.....	67
Figura 4.27 – Ligação da fachada com cobertura plana visitável.....	68
Figura 4.28 – Ligação da fachada com cobertura plana não visitável.....	69
Figura 4.29 – Ligação da fachada com cobertura inclinada em estrutura monolítica.....	70
Figura 4.30 – Ligação da fachada com varanda / caixa de estore.....	71
Figura 5.1 – Delimitação da envolvente – paredes e pavimento do r/chão (escala 1:100)...	82
Figura 5.2 – Delimitação da envolvente – paredes e teto do r/chão (escala 1:100).....	83
Figura 5.3 – Delimitação da envolvente – paredes e pavimento do 1.º andar (escala 1:100)...	84
Figura 5.4 – Delimitação da envolvente – paredes e teto do 1.º andar (escala 1:100).....	85
Figura 5.5 – Parede exterior - PE1.....	92
Figura 5.6 – Parede interior em contacto com espaço não útil (caixa de escadas que liga a cave ao r/chão) – PENU1.....	93

Figura 5.7 – Parede interior em contacto com espaço não útil (edifício adjacente) – PENU2...	94
Figura 5.8 – Pavimento exterior no 1.º andar – PavE1.....	95
Figura 5.9 – Pavimento interior sobre a cave – PavENU1.....	96
Figura 5.10 – Pavimento interior sobre a caixa de escadas que liga a cave ao r/chão – PavENU2.....	97
Figura 5.11 – Cobertura exterior plana sobre o r/chão – CobE1.....	98
Figura 5.12 – Cobertura interior plana sob o desvão de cobertura – CobENU1.....	99
Figura 5.13 – Ponte térmica plana de pilares e vigas em paredes exteriores – PE1ptp1....	100
Figura 5.14 – Ponte térmica plana de pilares e vigas em paredes que contactam com espaços não úteis (edifícios adjacentes) – PENU2ptp1.....	101
Figura 5.15 – Ponte térmica plana de portas exteriores em caixilharia de alumínio – PE1ptp3.....	102
Figura 5.16 – Ponte térmica plana de portas interiores em caixilharia de madeira que contactam com espaços não úteis (caixa de escadas que liga a cave ao r/chão) – PENU1ptp1.....	103
Figura 5.17 – Ponte térmica plana de vigas em pavimento interior sobre a cave – PavENU1ptp1.....	104
Figura 5.18 – Ponte térmica plana de vigas em cobertura exterior plana sobre o r/chão – CobE1ptp1.....	105
Figura 5.19 – Ponte térmica plana de vigas em cobertura interior plana sob o desvão de cobertura – CobENU1ptp1.....	106
Figura 5.20 – Ponte térmica plana de caixa de estore – PE1ptp2.....	107
Figura 5.21 – Parede divisória interior com 10 cm de espessura.....	108
Figura 5.22 – Parede divisória interior com 15 cm de espessura.....	109
Figura 5.23 – Parede divisória interior com 20 cm de espessura.....	110
Figura 5.24 – Parede divisória interior com 25 cm de espessura.....	111
Figura 5.25 – Pavimento interior no 1.º andar de separação de espaços úteis.....	112



Figura 5.26 – Porta interior em caixilharia de madeira.....	113
Figura 7.1 – Vista 3D da moradia unifamiliar do caso de estudo no software Cypeterm.....	188

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 4.1 – Caracterização de elemento opaco vertical exterior com isolamento térmico pelo exterior.....	35
Quadro 4.2 – Caracterização de elemento opaco vertical exterior com isolamento térmico no interior da caixa de ar.....	38
Quadro 4.3 – Caracterização de elemento opaco horizontal exterior com isolamento térmico sobre a laje em betão armado.....	43
Quadro 4.4 – Caracterização de elemento opaco horizontal interior em contacto com desvão não habitado com $\tau > 0,7$ , com isolamento térmico sobre a laje em betão armado.....	47
Quadro 4.5 – Caracterização de elemento opaco horizontal interior em contacto com desvão não habitado com $\tau < 0,7$ , com isolamento térmico sobre a laje em betão armado.....	48
Quadro 4.6 – Caracterização de elemento opaco horizontal exterior, com isolamento térmico no interior de teto falso, sob a laje em betão armado.....	52
Quadro 4.7 – Caracterização de elemento opaco horizontal interior em contacto com espaço não útil com $\tau < 0,7$ , com isolamento térmico no interior de teto falso, sob a laje em betão armado.....	52
Quadro 4.8 – Caracterização de elemento opaco horizontal exterior, com isolamento térmico fixado diretamente à estrutura resistente.....	53
Quadro 4.9 – Caracterização de elemento opaco horizontal interior em contacto com espaço não útil com $\tau < 0,7$ , com isolamento térmico fixado diretamente à estrutura resistente.....	54
Quadro 5.1 – Intensidade da radiação solar na estação de arrefecimento em zona climática V <sub>3</sub> Sul.....	87

Quadro 5.2 – Coeficientes de transmissão térmica máximos e de referência para a zona climática I <sub>1</sub> .....	91
Quadro 5.3 – Espessuras iniciais dos elementos.....	92
Quadro 5.4 – Caracterização da parede exterior – PE1.....	93
Quadro 5.5 – Caracterização da parede interior em contacto com espaço não útil (caixa de escadas que liga a cave ao r/chão) – PENU1.....	94
Quadro 5.6 – Caracterização da parede interior em contacto com espaço não útil (edifício adjacente) – PENU2.....	95
Quadro 5.7 – Caracterização do pavimento exterior no 1.º andar – PavE1.....	96
Quadro 5.8 – Caracterização do pavimento interior sobre a cave - PavENU1.....	97
Quadro 5.9 – Caracterização do pavimento interior sobre a caixa de escadas que liga a cave ao r/chão – PavENU2.....	98
Quadro 5.10 – Caracterização da cobertura exterior plana sobre o r/chão – CobE1.....	99
Quadro 5.11 – Caracterização da cobertura interior plana sob o desvão de cobertura – CobENU1.....	100
Quadro 5.12 – Caracterização da ponte térmica plana de pilares e vigas em paredes exteriores – PE1ptp1.....	101
Quadro 5.13 – Caracterização da ponte térmica plana de pilares e vigas em paredes que contactam com espaços não úteis (edifícios adjacentes) – PENU2ptp1.....	102
Quadro 5.14 – Caracterização da ponte térmica plana de portas exteriores em caixilharia de alumínio – PE1ptp3.....	103
Quadro 5.15 – Caracterização da ponte térmica plana de portas interiores em caixilharia de madeira que contactam com espaços não úteis (caixa de escadas que liga a cave ao r/chão) – PENU1ptp1.....	104
Quadro 5.16 – Caracterização da ponte térmica plana de vigas em pavimento interior sobre a cave - PavENU1ptp1.....	105
Quadro 5.17 – Caracterização da ponte térmica plana de vigas em cobertura exterior plana sobre o r/chão – CobE1ptp1.....	106

Quadro 5.18 – Caracterização da ponte térmica plana de vigas em cobertura interior plana sob o desvão de cobertura – CobENU1ptp1.....	107
Quadro 5.19 – Caracterização da ponte térmica plana de caixa de estore – PE1ptp2.....	108
Quadro 5.20 – Caracterização da parede divisória interior com 10 cm de espessura.....	109
Quadro 5.21 – Caracterização da parede divisória interior com 15 cm de espessura.....	110
Quadro 5.22 – Caracterização da parede divisória interior com 20 cm de espessura.....	111
Quadro 5.23 – Caracterização da parede divisória interior com 25 cm de espessura.....	112
Quadro 5.24 – Caracterização do pavimento interior no 1.º andar de separação de espaços úteis.....	113
Quadro 5.25 – Caracterização da porta interior em caixilharia de madeira.....	113
Quadro 5.26 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 1.....	117
Quadro 5.27 – Concelhos de Portugal Continental localizados na zona climática V <sub>3</sub> I <sub>1</sub> .....	120
Quadro 5.28 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 2.....	121
Quadro 5.29 – Índices térmicos para diferentes espessuras de isolamento térmico em paredes exteriores (verificação de cumprimento do RCCTE n.º 3).....	123
Quadro 5.30 – Caracterização da ponte térmica plana de caixa de estore (PE1ptp2), utilizada na verificação de cumprimento do RCCTE n.º 4.....	125
Quadro 5.31 – Caracterização da ponte térmica plana de pilares e vigas em paredes exteriores (PE1ptp1), utilizada na verificação de cumprimento do RCCTE n.º 4.....	125
Quadro 5.32 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 4.....	126
Quadro 5.33 – Índices térmicos para diferentes espessuras de isolamento térmico na cobertura exterior (verificação de cumprimento do RCCTE n.º 5).....	127
Quadro 5.34 – Índices térmicos para diferentes espessuras de isolamento térmico no pavimento interior sobre a cave (verificação de cumprimento do RCCTE n.º 6).....	129
Quadro 5.35 – Índices térmicos para diferentes espessuras de isolamento térmico na cobertura interior plana sob desvão de cobertura (verificação de cumprimento do RCCTE n.º 7).....	131

Quadro 5.36 – Índices térmicos para diferentes espessuras de isolamento térmico nas paredes interiores em contacto com espaços não úteis (verificação de cumprimento do RCCTE n.º 8).....	133
Quadro 5.37 – Caracterização da ponte térmica plana de pilares e vigas em paredes que contactam com os edifícios adjacentes (PENU2ptp1), utilizada na verificação de cumprimento do RCCTE n.º 9.....	135
Quadro 5.38 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 9.....	135
Quadro 5.39 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 10.....	136
Quadro 5.40 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 11.....	137
Quadro 5.41 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 12.....	138
Quadro 5.42 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 13.....	138
Quadro 5.43 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 14.....	139
Quadro 5.44 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 15.....	140
Quadro 5.45 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 16.....	141
Quadro 5.46 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 17.....	142
Quadro 5.47 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 18.....	142
Quadro 5.48 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 19.....	143
Quadro 5.49 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 20.....	144
Quadro 5.50 – Resumo das medidas de melhoria adotadas no subcapítulo 5.8 e respetiva contribuição para a redução do consumo energético na moradia unifamiliar em estudo.....	145
Quadro 5.51 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 1.....	149
Quadro 5.52 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 2.....	151
Quadro 5.53 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 3.....	152
Quadro 5.54 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 4.....	153
Quadro 5.55 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 5.....	156

Quadro 5.56 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 6.....	159
Quadro 5.57 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 7.....	160
Quadro 5.58 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 8.....	161
Quadro 5.59 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 9.....	162
Quadro 5.60 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 10.....	164
Quadro 5.61 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 11.....	165
Quadro 5.62 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 12.....	166
Quadro 5.63 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 13.....	168
Quadro 5.64 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 14.....	169
Quadro 6.1 – Preço por metro quadrado de placas de isolamento térmico WALLMATE CW.....	174
Quadro 6.2 – Preço por metro quadrado de placas de isolamento térmico ROOFMATE SL.....	179



# CAPÍTULO 1 – ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

## 1.1 – Enquadramento

O desenvolvimento económico mundial nas últimas décadas, tem levado a uma grande utilização de energia produzida a partir de recursos de origem fóssil, ou seja, petróleo, gás natural, carvão, etc. Contudo, estes recursos são não renováveis e, para além deste facto, a sua produção e consumo têm um impacto negativo no ambiente. Portanto, é necessária uma mudança de modelo de desenvolvimento [1].

Com este intuito surgiu no final do século XX, o conceito de desenvolvimento sustentável, após se concluir que o desenvolvimento económico tem que ter em conta o equilíbrio ecológico e a preservação da qualidade de vida da população mundial [1].

Portugal é um dos países da União Europeia que utiliza de forma menos eficiente e racional a energia, na grande maioria proveniente de fontes não renováveis, levando à emissão desproporcionada de gases de efeitos de estufa. Portugal possui cerca de 85% de dependência externa no aprovisionamento energético e mais de 60% de eletricidade consumida de origem fóssil. O aumento do preço do petróleo associado aos custos relativos às emissões de CO<sub>2</sub>, tende em aumentar rapidamente o peso dos encargos com a energia nos orçamentos das empresas e famílias [1].

Um setor da economia com elevado impacto negativo sobre o ambiente é a construção de edifícios. O impacto é elevado na fase de construção mas ainda mais elevado na fase de exploração ou utilização dos edifícios ao longo dos anos, principalmente no que diz respeito ao consumo de energia. Este impacto pode ser agravado pelas deficiências de origem e pela obsolescência dos edifícios e das suas instalações e sistemas [1].

Embora as condições climáticas sejam em Portugal relativamente favoráveis, é muito elevada a percentagem de energia consumida nos edifícios. Esta percentagem tem aumentado ao longo dos anos, devido às cada vez maiores exigências em termos de conforto por parte dos utentes [1].

Existem três formas de conseguir o objetivo de reduzir os consumos de energia nos edifícios: evitar os consumos supérfluos (sobriedade), aumentar a eficiência energética (menos kWh/unidade de PIB ou por habitante, através da redução de perdas quando se utiliza ou transforma energia) e aumentar a parcela correspondente às energias renováveis (são

inesgotáveis, o seu impacto sobre o ambiente é reduzido e provêm de ciclos naturais de conversão da radiação solar, que é a fonte primária de quase toda a energia disponível na terra) [1].

Desde a tomada de decisão do promotor em mandar construir um edifício de habitação, até à fase de utilização, são muitos os intervenientes em todas as fases da sua concretização, tornando-se numa atividade bastante complexa. As várias atividades a desenvolver visam a satisfação dos futuros utilizadores, quer do ponto de vista económico quer do ponto de vista do conforto, em que o consumo de energia desempenha um papel muito importante [2].

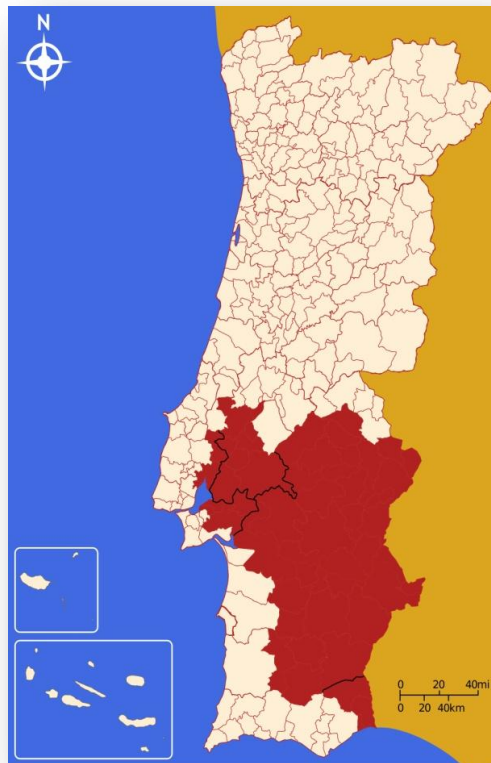
Todos os consumos de energia têm potencial para serem reduzidos: o aquecimento de águas sanitárias pode ser obtido com recurso a painéis solares, a iluminação e a climatização podem ser melhor geridas com a aplicação de normas e princípios que promovam a utilização racional de energia. É portanto essencial utilizar soluções construtivas mais eficientes em termos energéticos na construção de edifícios, de modo a reduzir os consumos de energia e a contribuir para um futuro mais sustentável [2].

## **1.2 – Objetivos e metodologia**

O objetivo desta dissertação, como o título indica, é apresentar e comparar soluções construtivas, de forma a eleger as que mais contribuem para o aumento da eficiência energética de edifícios de habitação unifamiliares, localizados em zona climática  $V_3 I_1$ , que se encontra ilustrada na Figura 1.1. A zona climática em estudo engloba sobretudo os concelhos do Alentejo e Ribatejo e alguns concelhos da Estremadura e Algarve.

É de referir que o concelho da Golegã e do Entroncamento, pertencentes ao Distrito de Santarém, são os únicos concelhos que se localizam em zona climática de verão  $V_3$  Norte e simultaneamente em zona climática de inverno  $I_1$ . Os restantes concelhos localizados em zona climática  $V_3 I_1$ , pertencem à zona climática de verão  $V_3$  Sul. Isto deve-se ao facto de ambos os concelhos se situarem a norte do Rio Tejo e não serem referidos em 1.1 do ponto 1 do Anexo III do Decreto-Lei n.º 80/2006 [3].





**Figura 1.1 – Zona climática V<sub>3</sub> I<sub>1</sub>**

São apresentadas e caracterizadas várias soluções, ao nível dos pavimentos, coberturas, paredes, vãos envidraçados e posteriormente comparadas em termos de eficiência energética. São também analisados outros fatores que influenciam a eficiência energética dos edifícios, tais como a inércia térmica, os sistemas para produção de água quente sanitária, a renovação de ar, a influência da cor das superfícies exteriores da envolvente, os sistemas de climatização, as energias renováveis, o sombreamento por palas, a orientação do edifício, a existência de edifícios isolados ou em banda, entre outros.

A comparação das várias soluções é efetuada com base na aplicação da metodologia de verificação do RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 80/2006), recorrendo ao auxílio de folhas de cálculo previamente programadas no formato XLS, desenvolvidas pelo Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção (ITeCons) [4], de forma a facilitar o processo de cálculo. O edifício escolhido para estudo pretende representar a grande parte dos edifícios de habitação unifamiliares na zona climática V<sub>3</sub> I<sub>1</sub>. A aplicação das soluções é efetuada de forma gradual, analisando os resultados obtidos e retirando conclusões. Procura-

se melhorar a classificação energética do edifício em estudo, com o objetivo de atingir a classificação A+, segundo o ponto 4 do Artigo 3º do Despacho n.º 10250/2008 [5].

É também realizado um estudo técnico-económico de forma a otimizar a espessura de isolante térmico, a utilizar nos elementos horizontais e verticais da envolvente de edifícios de habitação unifamiliares. São analisados os custos de investimento inicial e os custos de exploração, para um determinado período de tempo.

### **1.3 – Organização**

A dissertação é iniciada no primeiro capítulo com a apresentação da sua motivação e respetivo enquadramento, fazendo referência à importância da redução do consumo de energia no setor da construção. Neste capítulo é também feita referência aos objetivos, metodologia e organização da dissertação.

No segundo capítulo é apresentada a regulamentação e as características do comportamento térmico dos edifícios, relativamente às formas de transmissão e quantificação do calor nos mesmos.

No terceiro capítulo é apresentada de forma resumida a metodologia regulamentar de verificação do comportamento térmico dos edifícios.

No quarto capítulo são apresentadas e caracterizadas soluções construtivas utilizadas atualmente no setor da construção, nomeadamente em paredes, coberturas, pavimentos e vãos envidraçados. Os diferentes tipos de isolantes térmicos existentes, a energia solar nos edifícios, a inércia térmica, a permeabilidade da envolvente ao vapor, os sistemas convencionais para águas quentes sanitárias, outras medidas para a eficiência energética e a reabilitação energética dos edifícios, constituem os restantes subcapítulos.

O caso de estudo é apresentado no quinto capítulo. É feita uma descrição geral da moradia unifamiliar em estudo, são apresentados os dados climáticos, os requisitos energéticos, é feita a quantificação dos parâmetros térmicos, são aplicadas as soluções construtivas, analisados e comparados os resultados obtidos.

No sexto capítulo é apresentado um estudo técnico-económico sobre a espessura de isolamento térmico a utilizar em elementos da envolvente horizontal e da envolvente vertical de edifícios de habitação unifamiliares.

No sétimo e último capítulo são apresentadas as conclusões e propostas de estudos futuros.

## **CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS**

### **2.1 – Regulamentação**

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de fevereiro, foi o primeiro instrumento legal que em Portugal impôs requisitos ao projeto de novos edifícios e de grandes remodelações, por forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico nesses edifícios, sem necessidades excessivas de energia quer no inverno quer no verão. Outro dos objetivos do RCCTE foi minimizar os efeitos patológicos na construção, derivados das condensações superficiais e no interior dos elementos da envolvente [6].

O Decreto-Lei n.º 40/90 previa explicitamente dois métodos de verificação das exigências do RCCTE. O primeiro consistia na satisfação de condições de verificação automática e o segundo no cálculo das necessidades nominais de aquecimento e de arrefecimento e à verificação de que não ultrapassavam os limites regulamentares. Posteriormente surgiu o método da compensação que procurava conciliar o caráter expedito do primeiro com a capacidade, própria do segundo, de não limitar desnecessariamente o leque de soluções. Para tal apoiava-se em tabelas que definiam, para as diferentes zonas da envolvente, exigências, ditas de referência, que uma vez satisfeitas asseguravam o cumprimento dos limites globais regulamentares [6].

Enquanto que a primeira versão do RCCTE era relativamente pouco exigente nos seus objetivos concretos face a potenciais consumos baixos, a versão atual, aprovada pelo Decreto-Lei n.º 80/2006, permite uma contabilização mais realista de consumos que com muito maior probabilidade possam ocorrer, evoluindo portanto na direção de maiores exigências de qualidade térmica da envolvente dos edifícios. Também alarga as suas exigências ao definir claramente objetivos de provisão de taxas de renovação do ar adequadas [3].

Assim como na primeira versão do RCCTE, a chave do sucesso deste Regulamento na sua nova versão está também na sua aplicação na fase de licenciamento, garantindo que os projetos licenciados ou autorizados satisfaçam integralmente os requisitos regulamentares. A atual versão do RCCTE garante mecanismos mais efetivos de comprovação desta conformidade regulamentar.

O Decreto-Lei n.º 80/2006 define as regras a observar no projeto de todos os edifícios, de modo que as exigências de conforto térmico, quer de aquecimento ou arrefecimento, de ventilação para garantia de qualidade do ar no interior dos edifícios, tal como as necessidades de água quente sanitária, possam vir a ser satisfeitas sem dispensar energia em excesso. Também existe a preocupação de minimizar as situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações superficiais ou internas, com potencial impacte negativo na qualidade do ar interior e na durabilidade dos elementos de construção [3].

O Decreto-Lei n.º 80/2006 aplica-se a cada uma das frações autónomas de todos os novos edifícios, entendendo-se por fração autónoma de um edifício cada uma das partes de um edifício dotadas de contador individual de consumo de energia, separada do resto do edifício por uma barreira física contínua, e cujo direito de propriedade ou fruição seja transmissível autonomamente [3].

Na presente dissertação a análise será realizada somente a edifícios de habitação unifamiliares, que possuem apenas um contador de consumo de energia, ou seja, que constituem apenas uma fração autónoma. Esta consideração deve-se ao facto de parte significativa da população com residência na zona climática considerada, habitar em moradias unifamiliares, permitindo abranger na presente dissertação, a grande maioria dos edifícios localizados na zona climática  $V_3 I_1$ , que é um dos objetivos.

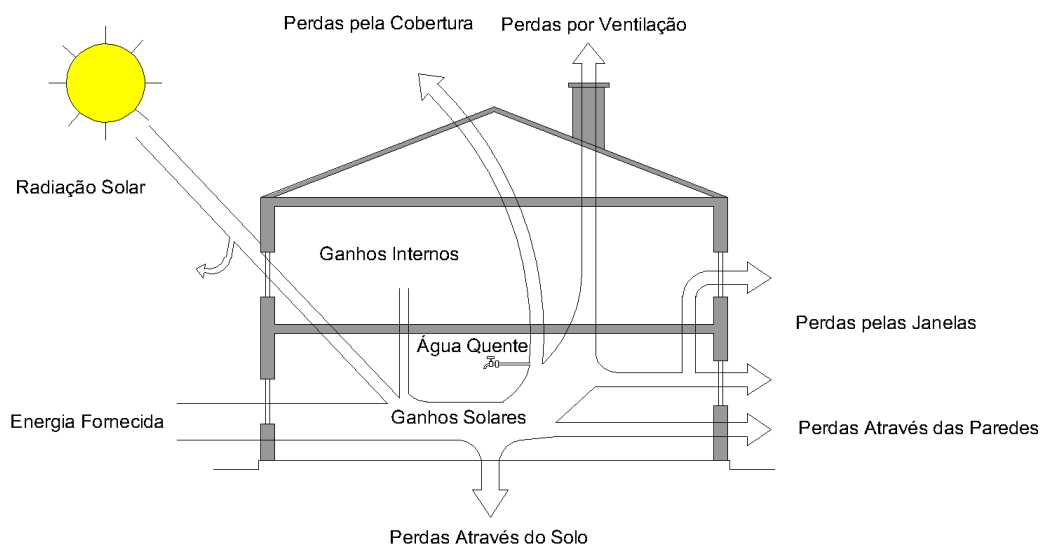
## **2.2 – Transmissão do calor em edifícios**

Existem vários processos para assegurar as condições de conforto higrotérmico dos utentes de um edifício. Contudo cada um destes processos pode exigir diferentes recursos económicos. Existem diversas formas de envolvente e constituição interior dos edifícios, que até podem proporcionar semelhantes condições de conforto, porém, podem levar a diferentes custos de exploração. Estes custos podem variar conforme for a morfologia do edifício, o clima da região onde for implantado, as formas de exposição e as condições da envolvente do mesmo [7].

Tendo em conta que o clima em Portugal é ameno e que o uso de aquecimento e arrefecimento por parte da população em geral é limitado, devido ao nível de vida da mesma, inferior ao da maioria dos países pertencentes à União Europeia, então justifica-se o esforço de encontrar soluções construtivas que garantam as condições de conforto com recurso bastante moderado de equipamentos [7].

É portanto necessário conhecer as características do comportamento térmico dos edifícios, de modo a resolver mais facilmente alguns problemas que normalmente surgem. Em condições de inverno é necessário determinar o fluxo de calor a fornecer ao edifício, de modo a que com o possível auxílio de equipamentos de aquecimento, a temperatura interior se mantenha praticamente constante ou superior a um valor mínimo admissível. Em condições de verão é necessário determinar o fluxo de calor que importa evacuar, de modo a que com o possível auxílio de equipamentos de arrefecimento, a temperatura do ar interior não ultrapasse um dado limite admissível.

O balanço térmico em edifícios realiza-se com base em ganhos e perdas. O valor da energia armazenada na construção resulta portanto, da soma dos ganhos solares, ganhos internos e ganhos com energia auxiliar, subtraindo as perdas pela envolvente, ou seja, pela cobertura, por ventilação, pelas janelas, paredes e através do solo, como se ilustra na Figura 2.1, adaptada de [7].



**Figura 2.1 – Balanço térmico em edifícios**

O balanço entre perdas e ganhos é condicionado pelas propriedades e características de constituição dos elementos de construção, tais como a sua massa e taxa de transferência do calor, tornando o comportamento térmico do edifício num processo dinâmico, que é desfasado temporalmente em relação às ações térmicas exteriores [7].

### 2.2.1 – Trocas de calor por condução através da envolvente da construção

Em zona corrente a quantidade de calor que, por unidade de tempo atravessa um elemento de construção de envolvente em regime permanente, é representada por:

$$Q = UA(\theta_i - \theta_e) \quad (1)$$

em que:

U – coeficiente de transmissão térmica médio da parede ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ).

Q – fluxo de calor trocado entre o interior e o exterior (W).

A – área do elemento da envolvente ( $m^2$ ).

$\theta_i$  e  $\theta_e$  – temperatura do ar no interior e no exterior ( $^\circ C$ ).

$\theta_{si}$  e  $\theta_{se}$  – temperatura superficial interior e exterior do elemento de construção ( $^\circ C$ ).

Na Figura 2.2 ilustra-se o processo de transmissão de calor através de um elemento de construção:

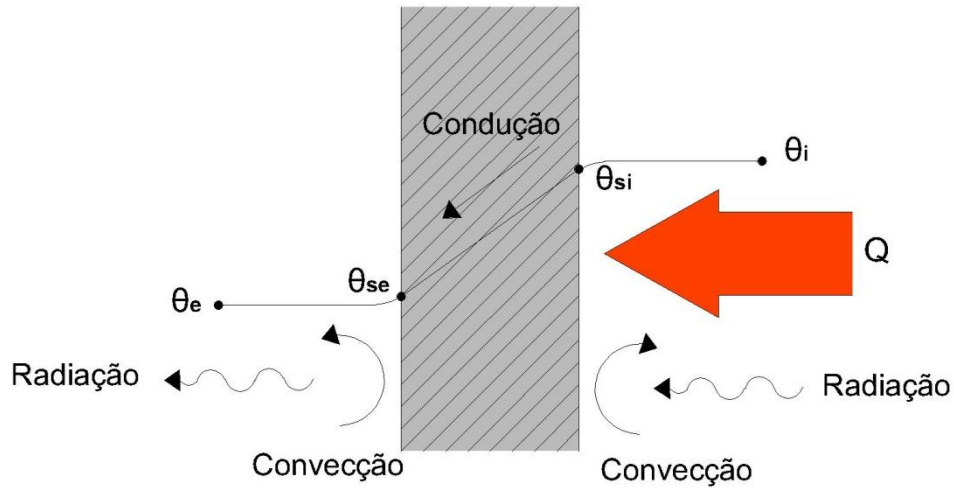


Figura 2.2 – Transmissão de calor através de um elemento de construção

No caso de se tratar de um elemento a separar um espaço útil de um espaço não útil, ou local não aquecido, então a temperatura exterior a considerar  $\theta_e$  não será a temperatura verificada ao ar livre  $\theta_{atm}$ , mas sim uma temperatura variável entre a temperatura interior e a temperatura exterior ao ar livre. A relação entre  $\theta_e$  e os seus limites de variação, é traduzida por um parâmetro  $\tau$ .

$$\tau = \frac{\theta_i - \theta_e}{\theta_i - \theta_{atm}} \quad (2) \quad [7]$$

ou então:

$$\tau = \frac{A_u U_u}{A_i U_i + A_u U_u} \quad (3) \quad [7]$$

em que:

$U_i$  e  $A_i$  – coeficiente de transmissão térmica e área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil.

$U_u$  e  $A_u$  – coeficiente de transmissão térmica e área da envolvente que separa o espaço não útil do ambiente exterior.

A expressão de cálculo das perdas térmicas através de um elemento em contacto com um espaço não útil é a seguinte:

$$Q_{lna} = \tau UA(\theta_i - \theta_{atm}) \quad (4) \quad [7]$$

Para a situação de verão o efeito da radiação solar não pode ser desprezado, pois os elevados níveis de radiação solar incidente sobre os paramentos opacos exteriores dos elementos de construção, podem fazer subir as temperaturas destes para valores significativamente mais altos do que a temperatura do ar exterior. Portanto os ganhos de calor por condução através de cada elemento da envolvente podem ser calculados por:

$$Q_{cond} = UA(\theta_{ar-sol} - \theta_i) = UA(\theta_e - \theta_i) + UA\left(\frac{\alpha I}{h_{se}}\right) \quad (5)$$

em que:

$\theta_{ar-sol}$  - temperatura ar-sol ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$I$  – intensidade da radiação solar instantânea incidente na superfície ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).

$\alpha$  – coeficiente de absorção, para a radiação solar, da superfície exterior do elemento. Cor clara (branco, creme, amarelo, laranja, vermelho claro),  $\alpha$  igual a 0,4. Cor média (vermelho escuro, verde claro, azul claro),  $\alpha$  igual a 0,5. Cor escura (castanho, verde escuro, azul vivo, azul escuro, preto),  $\alpha$  igual a 0,8.

$h_{se}$  – condutância térmica superficial exterior do elemento da envolvente, que toma o valor de  $25 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ .

As pontes térmicas, que são zonas da envolvente em que não se pode considerar a resistência térmica como sendo uniforme, têm como efeito um acréscimo das trocas de calor pela envolvente, relativamente a uma situação que não considere a sua existência. A existência de materiais diferentes, a variação de espessura e a diferença entre as áreas medidas pelo interior e pelo exterior, são fatores que originam as pontes térmicas. Existem pontes térmicas lineares e pontuais, o RCCTE apenas exige o levantamento das lineares, sendo a sua caracterização feita através de um coeficiente de transmissão térmica linear  $\psi$  [7].

O fluxo de calor que atravessa a ponte térmica é dado por:

$$Q_{pt} = \psi_{pt} B \Delta \theta \quad (6)$$



em que B é o desenvolvimento linear, ou seja o comprimento da ponte térmica.

Os pavimentos e paredes de caves enterradas, assim como os pavimentos térreos assentes no terreno, constituem elementos de construção em contacto direto com o solo, em que as temperaturas apresentam características de variação próprias, por isso através destes elementos e do solo também ocorrem trocas de calor por condução. O RCCTE apresenta tabelas com os valores dos coeficientes de transmissão de calor, que devem ser adotados para a estimação das perdas através do solo.

### 2.2.2 – Trocas através da renovação do ar

Os edifícios devem ser ventilados, quer por via natural, mecânica ou por combinação dos dois processos, de modo a assegurar as condições de higiene e salubridade do ar interior. O RCCTE prevê a contabilização das trocas de calor entre o interior e exterior, devidas aos caudais de ventilação, assim como os acréscimos de consumo de energia para manter as condições de conforto interiores nos níveis programados. O ar que entra num determinado espaço encontra-se frio, contudo sai quente, ou seja retira calor ao espaço [7].

As perdas de calor envolvidas no processo de renovação do ar calculam-se através da seguinte expressão:

$$Q_{ra} = 0,34R_{ph}A_pP_d(\theta_i - \theta_e) \quad (W) \quad (7)$$

em que:

$R_{ph}$  - Taxa de renovação horária do local ( $h^{-1}$ ).

$A_p$  - Área útil de pavimento ( $m^2$ ).

$P_d$  - Pé direito (m).

$\theta_i$  - Temperatura interior ( $^{\circ}C$ ).

$\theta_e$  - Temperatura exterior ( $^{\circ}C$ ).

A renovação de ar nas habitações depende na maioria dos casos da vontade e hábitos dos próprios ocupantes, daí existir possibilidade de recorrer a ventilação mecânica, diminuindo a incerteza relativamente ao valor dos caudais de ventilação. Por sua vez a Norma NP 1037-1 estabelece disposições especiais que asseguram a ventilação mínima das habitações mesmo sem a intervenção dos ocupantes. O RCCTE condiciona a escolha do valor  $R_{ph}$ , a utilizar na

verificação regulamentar, às características de permeabilidade ao ar das caixilharias. Em função dos valores obtidos nos ensaios de permeabilidade, é atribuída à caixilharia uma dada classe de desempenho, que vai desde a classe 1 à classe 4. Quando a qualificação da série de caixilharia utilizada não for comprovada por ensaio, então a mesma é considerada “sem classificação”. A classe 4 é a que permite a obtenção dos valores mais baixos de permeabilidade ao ar.

A permeabilidade ao ar de caixilharias de uma folha pode ser reportada à área total do vão, de acordo com a seguinte expressão:

$$PA \text{ (permeabilidade ao ar)} = \frac{\dot{V}}{B_t H_t} \text{ (m}^3\text{/h.m}^2\text{)} \quad (8)$$

em que:

$B_t H_t$  - área total do vão em metros quadrados (A).

$\dot{V}$  - caudal de ar que passa através do caixilho em metros cúbicos por hora.

A permeabilidade ao ar de caixilharias de uma folha também pode ser reportada ao comprimento das juntas de abertura, de acordo com a seguinte expressão:

$$PA \text{ (permeabilidade ao ar)} = \frac{\dot{V}}{2(B_o+H_o)} \text{ (m}^3\text{/h.m)} \quad (9)$$

em que:

$2(B_o+H_o)$  corresponde ao comprimento total da junta em metros (L).

$\dot{V}$  - caudal de ar que passa através do caixilho em metros cúbicos por hora.

O valor da permeabilidade ao ar de uma caixilharia, determina-se submetendo o caixilho a diferentes níveis de pressão, segundo determinados procedimentos padronizados que se encontram descritos nas normas europeias EN 1026 e EN 12207.

As variáveis a utilizar nas equações 8 e 9, determinam-se de acordo com a Figura 2.3.

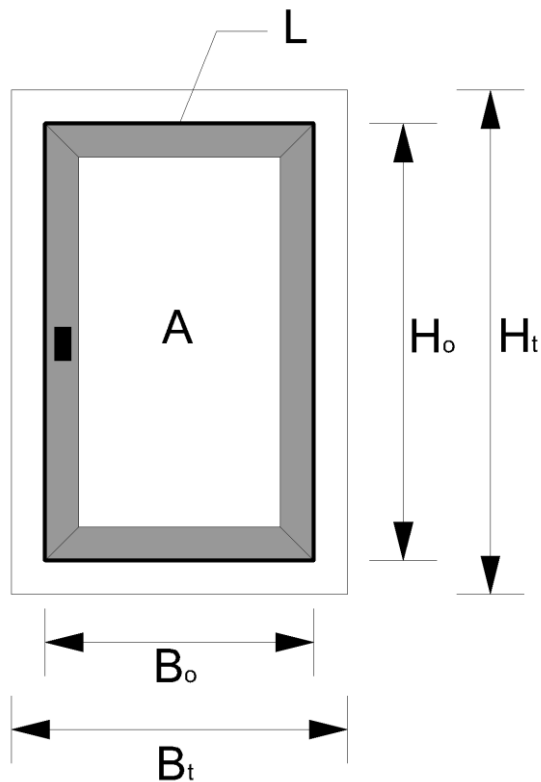


Figura 2.3 – Permeabilidade ao ar de um sistema de caixilharia

### 2.2.3 – Ganhos solares pelos envidraçados

Da radiação total incidente num vidro, uma parte é instantaneamente refletida para o exterior, outra é absorvida pelo vidro e uma terceira é transmitida para o interior. O fluxo incidente decompõe-se por isso em três partes. Os quocientes entre cada uma destas três partes e o fluxo incidente definem, respetivamente, a reflectância ( $\rho_s$ ), a absortância ( $\alpha_s$ ) e a transmitância ( $\tau_s$ ), ou seja as propriedades óticas do vidro.

O fator solar do vidro ( $g_{\perp v}$ ), é a relação entre o ganho de calor através do vidro e a radiação solar nele incidente ( $I$ ). O ganho solar através do vidro pode resultar, quer instantaneamente em consequência da sua transmitância ( $\tau_s I$ ), quer em resultado da passagem para o interior de parte da radiação absorvida pelo vidro ( $q_i$ ).

$$g_{\perp v} = \frac{\tau_s I + q_i}{I} \quad (10)$$

Para controlar eficazmente os ganhos de calor que se processam através de um envidraçado, é normalmente necessário recorrer a estores, cortinas, portadas, palas horizontais e/ou verticais.

No caso de estores, cortinas ou portadas, a sua ação de proteção à radiação solar é traduzida por um fator solar característico ( $g_{\perp p}$ ). Para contabilizar a redução dos ganhos do conjunto proteção/vidro é necessário efetuar o produto ( $g_{\perp p} g_{\perp v}$ ), obtendo o valor do fator solar ( $g_{\perp}$ ).

No caso de palas horizontais e verticais a proteção relativamente aos ganhos solares, depende da área de sombra que é projetada nos envidraçados. Essa área sombreada também depende da variação diária da posição do sol.

#### **2.2.4 – Ganhos internos**

Constituem ganhos internos em edifícios todos os processos de que resulte conversão de energia química ou elétrica em calor. Existem inúmeras fontes de ganhos internos tais como a atividade metabólica dos próprios ocupantes, os sistemas de iluminação elétrica e outros equipamentos elétricos. Os ganhos internos são desfavoráveis na estação de arrefecimento e favoráveis na estação de aquecimento, por esse motivo apenas são levados em conta na estimativa das necessidades de arrefecimento [7]. Os valores de ganhos internos variam de país para país consoante o seu nível económico, social e cultural. O valor dos ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil de pavimento, em edifícios residenciais, é de 4 W/m<sup>2</sup>, segundo o RCCTE.

#### **2.2.5 – Inércia térmica**

A inércia térmica de um elemento consiste na capacidade do mesmo em armazenar calor e apenas libertá-lo depois de determinado tempo. Os ganhos solares absorvidos durante o dia são libertados à noite. Esta capacidade depende em grande parte da massa dos elementos de construção e da respetiva condutibilidade térmica e calor específico.

A inércia térmica contribui para uma maior estabilização das temperaturas interiores, em relação às oscilações térmicas do exterior. A amplitude da temperatura do ar interior nos edifícios é elevada quando estes possuem inércia térmica fraca e baixa no caso de uma forte inércia térmica. É tirado melhor partido da inércia térmica quando os isolantes térmicos são aplicados pelo exterior. Um edifício com inércia térmica forte armazena o calor nas horas do dia

em que ele é menos necessário (inverno) ou indesejável (verão) e liberta-o nas horas do dia em que ele é mais necessário (inverno) ou menos prejudicial (verão). Numa residência com ocupação permanente e com inércia térmica forte, podem conseguir-se boas condições interiores durante o período em que o aquecimento estiver desativado, ou seja quando se desligar o aquecimento devido à inércia térmica forte, o edifício vai demorar mais a perder calor do que no caso de possuir inércia térmica fraca.



## CAPÍTULO 3 – VERIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS COM BASE NO RCCTE

### 3.1 – Introdução

O instrumento legal que regulamenta as condições térmicas dos edifícios em Portugal, denomina-se por Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de abril. Este Regulamento foi precedido da Diretiva comunitária n.º 2002/91/CE, relativa ao desempenho energético dos edifícios. O RCCTE foi concebido para edifícios em que não ocorram elevados consumos energéticos de climatização, resultantes de um uso permanente dos equipamentos.

Segundo a metodologia geral de cálculo, os índices térmicos a quantificar são as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ( $N_{ic}$ ) e as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento ( $N_{vc}$ ). Para verificar a regulamentação é necessário que estes índices não excedam dados valores limite que constituem os requisitos energéticos a observar para o aquecimento ( $N_i$ ) e arrefecimento ( $N_v$ ). O RCCTE também prevê a quantificação das necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias ( $N_{ac}$ ) e do correspondente requisito energético ( $N_a$ ). Nas utilizações de energia para aquecimento ambiental, arrefecimento ambiental e aquecimento de águas sanitárias, podem estar em jogo diferentes formas de energia, por isso é efetuada uma outra verificação em termos de energia primária, quantificando-se o índice energético ( $N_{tc}$ ) correspondente e o respetivo requisito ( $N_t$ ).

Os objetivos do RCCTE são: permitir a satisfação das exigências de conforto térmico, de qualidade do ar interior e de água quente sanitária sem consumo excessivo de energia, assim como a redução das patologias da construção devido à ocorrência de condensações, que podem pôr em causa a durabilidade dos materiais e a qualidade do ar interior.

Nesta dissertação procura-se aplicar o RCCTE em situações de construção nova, utilizando diferentes soluções construtivas, com o intuito de obter uma elevada eficiência energética na moradia unifamiliar considerada no caso de estudo, representativa das moradias unifamiliares de uma forma geral. Não são objeto de análise as intervenções de remodelação e de ampliação de edifícios, apenas é feita uma abordagem ligeira no capítulo 4.

### 3.2 – Limitação das necessidades nominais de energia útil para aquecimento

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ( $N_{ic}$ ) não podem exceder um valor máximo admissível ( $N_i$ ). O valor ( $N_i$ ) depende do valor dos graus-dias de aquecimento ( $GD$ ), associado ao concelho em causa na zona climática  $I_1$ ,  $V_3$ , e do fator de forma ( $FF$ ), que consiste na relação entre o somatório das áreas da envolvente exterior ( $A_{ext}$  - conjunto de elementos do edifício que estabelecem a fronteira entre o espaço interior e o ambiente exterior) e interior ( $A_{int}$  - fronteira que separa a fração autónoma de espaços anexos “não úteis”) do edifício e o respetivo volume interior ( $\vartheta$ ), ou seja:

$$FF = \frac{A_{ext} + \sum_i \tau_i A_{int_i}}{\vartheta} \quad (11)$$

O valor de  $N_i$  é então obtido da seguinte forma:

$$FF \leq 0,5 \quad N_i = 4,5 + 0,0395GD$$

$$0,5 < FF \leq 1 \quad N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037FF)GD$$

$$1 < FF \leq 1,5 \quad N_i = [4,5 + (0,021 + 0,037FF)GD](1,2 - 0,2FF)$$

$$FF > 1,5 \quad N_i = 4,05 + 0,06885GD$$

Quanto maior for o valor dos graus-dias de aquecimento, maior será a classificação em termos de zonamento climático de inverno,  $I_1$ ,  $I_2$  ou  $I_3$ . De referir que um edifício com um determinado volume interior, poderá possuir várias formas. Das mesmas a que possuir uma área exposta superior é a que leva a maiores perdas térmicas do edifício, existindo por isso a necessidade de se aplicar uma quantidade mais elevada de isolante térmico.

### 3.3 – Metodologia de cálculo das necessidades de aquecimento

Para calcular as necessidades de aquecimento é necessário quantificar as perdas e os ganhos.

#### 3.3.1 – Perdas térmicas

O valor de ( $N_{ic}$ ) obtêm-se da seguinte forma:

$$N_{ic} = \frac{(Q_t + Q_v) - Q_{gu}}{A_p} \quad (kWh/m^2 \cdot ano) \quad (12)$$



em que:

$Q_t$  - perdas de calor por condução através da envolvente.

$Q_{gu}$  - ganhos de calor úteis, que resultam da iluminação, dos equipamentos, dos ganhos solares através dos envidraçados e dos ocupantes.

$Q_v$  - perdas de calor que resultam da renovação do ar.

$A_p$  - área útil de pavimento.

O valor de ( $Q_t$ ) é obtido através da soma das perdas pelas zonas correntes de paredes, envidraçados, coberturas e pavimentos em contacto com o exterior, e zonas de pontes térmicas planas, associadas por exemplo a zonas de pilares, talões de vigas e caixas de estore, em contacto com o exterior ( $Q_{ext}$ ), perdas pelas zonas correntes de paredes, envidraçados e pavimentos em contacto com locais não aquecidos, e zonas de pontes térmicas planas em contacto com locais não aquecidos ( $Q_{lna}$ ), perdas de calor pelos pavimentos e paredes em contacto com o solo ( $Q_{pe}$ ) e perdas de calor pelas pontes térmicas lineares existentes ( $Q_{pt}$ ).

Para calcular as perdas é necessário conhecer o coeficiente de transmissão térmica dos elementos ( $U$ ):

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad (W/m^2 \cdot ^\circ C) \quad (13)$$

em que:

$R_{si}$  - resistência térmica superficial interior ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ).

$R_{se}$  - resistência térmica superficial exterior ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ).

$R_j$  - resistência térmica de cada camada do elemento ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ).

O valor de  $R_j$  é obtido pela seguinte expressão:

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j} \quad \left( \frac{m}{W/m \cdot ^\circ C} \right) \quad (14)$$

em que:

$d_j$  - espessura do material da camada.

$\lambda_j$  - condutibilidade térmica do material da camada.

No caso de materiais não homogéneos, os valores de ( $R_j$ ) podem ser encontrados na publicação ITE 50 do LNEC [8]. Os valores das resistências térmicas superficiais podem ser retirados do Quadro VII.1 do RCCTE. Os valores das resistências térmicas de espaços de ar não ventilados encontram-se no Quadro VII.2 do RCCTE.

No caso de existirem espaços de ar ventilados, dependendo do grau de ventilação, podem classificar-se em espaços fracamente ventilados e fortemente ventilados.

As coberturas inclinadas podem estar sobre desvão não habitado ou desvão habitado. No primeiro caso o coeficiente de transmissão térmica da cobertura, é o apresentado pelo elemento horizontal que separa o espaço interior do desvão não habitado, ou seja a laje de esteira. No segundo caso o coeficiente de transmissão térmica da cobertura é o do elemento inclinado.

No caso da cobertura ser inclinada sobre desvão não habitado, é necessário calcular o coeficiente ( $\tau$ ), através da Tabela IV.1 do RCCTE. O coeficiente ( $\tau$ ) possui valores em função da natureza do espaço não útil, das suas condições de ventilação e da relação entre áreas da envolvente interior e exterior ( $A_i/A_u$ ).

O coeficiente ( $\psi$ ) traduz a taxa de transferência de calor por metro de desenvolvimento de singularidades. Os coeficientes ( $\psi$ ) das pontes térmicas lineares mais representativas encontram-se na Tabela IV.3 do RCCTE. Se existirem pontes térmicas lineares não contabilizadas no RCCTE, deve-se utilizar o valor  $\psi = 0,5 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ .

Os coeficientes ( $\psi_{pavimento}$ ) e ( $\psi_{parede}$ ) podem ser retirados da Tabela IV.2 do RCCTE, que correspondem às perdas de calor pelos pavimentos e paredes em contacto com o solo.

Para determinar a taxa de renovação do ar ( $R_{ph}$ ), de modo a contabilizar as trocas de calor por ventilação, é necessário recorrer ao Quadro IV.2 do RCCTE para obter a classe de exposição ao vento da envolvente do edifício, em função da sua altura acima do solo, da região onde se localiza e da rugosidade. Seguidamente recorre-se ao Quadro IV.1 do RCCTE para obter o valor de ( $R_{ph}$ ), em função da classe de exposição, da existência ou não de dispositivos de admissão de ar na fachada e da permeabilidade ao ar das caixilharias.

Nesta dissertação não são abordadas as situações de recurso a sistemas de ventilação mecânica, nem de sistemas de recuperação de calor, é apenas considerada a utilização de ventilação natural.

### 3.3.2 – Ganhos térmicos

Os ganhos térmicos ( $Q_g$ ) resultam da soma dos ganhos internos ( $Q_i$ ) e ganhos solares ( $Q_s$ ).

Os ganhos internos correspondem a ganhos de calor associados ao metabolismo dos ocupantes e ao calor dissipado pelos equipamentos e dispositivos de iluminação. Este valor calcula-se pela seguinte expressão:

$$Q_i = q_i \times A_p \times 0,720 \times M \quad (kWh) \quad (15)$$

em que:

$q_i$  - ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil de pavimento (no caso de edifícios residenciais este valor é  $4 \text{ W/m}^2$ , segundo o Quadro IV.3 do RCCTE).

$M$  – número de meses por ano para a estação de aquecimento.

Os ganhos solares consistem na energia que passa através dos envidraçados para o interior do edifício. Para a zona climática de inverno  $I_1$  o valor da energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento, é  $G_{sul} = (108 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{mês})$ . Se as superfícies tiverem outra orientação que não seja a de sul, então é necessário multiplicar ( $G_{sul}$ ) por um fator de orientação ( $X$ ), que se encontra no Quadro IV.4 do RCCTE.

Existem também fatores específicos que têm em conta o tipo de obstrução, quer por obstáculos exteriores ao edifício, palas horizontais ou palas verticais. Outros fatores têm em conta o tipo de caixilharia (aço, madeira, alumínio ou PVC).

O fator de sombreamento ( $F_s$ ) da janela é dado por:

$$F_s = \frac{A_{ilum}}{A} \quad (16)$$

em que:

$A_{ilum}$  – área da superfície envidraçada do vão que é iluminada por radiação solar directa [7].

$A$  - área total da superfície envidraçada.

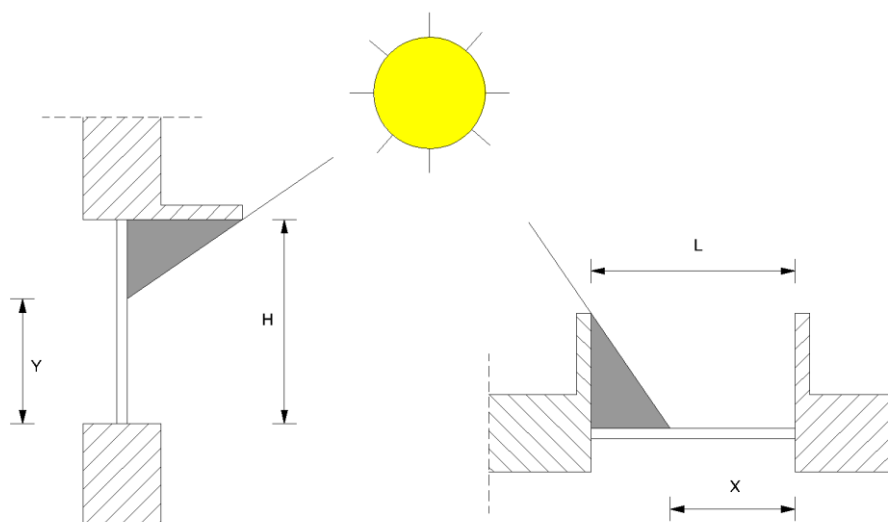
O fator de sombreamento de palas horizontais e verticais é, respetivamente, dado por:

$$F_o = \frac{Y}{H} \quad (17) \quad e \quad F_f = \frac{X}{L} \quad (18)$$

No caso de existirem ambas as soluções em simultâneo e considerando que o fator de sombreamento do horizonte é igual a 1, então o fator de sombreamento é dado por:

$$F_s = F_f F_o = \frac{XY}{LH} \quad (19)$$

As variáveis a utilizar nas equações 17, 18 e 19, determinam-se de acordo com a Figura 3.1.



Pala Horizontal ( $F_o$ ) e Pala Vertical ( $F_f$ )

**Figura 3.1 – Fatores de sombreamento  $F_f$  e  $F_o$ .**

Nas Tabelas IV.6 e IV.7 do RCCTE apresentam-se valores de ( $F_o$ ) e ( $F_f$ ) para as situações de inverno e nos Quadros V.1 e V.2 para as situações de verão.

Como os envidraçados normalmente são colocados recuados relativamente ao plano da fachada, então no caso de não existirem palas, é necessário contabilizar o efeito de sombreamento do contorno do vão, considerando por isso o produto  $F_f \times F_o = 0,9$ .

O fator de sombreamento do horizonte ( $F_h$ ) associado a obstruções exteriores ao edifício, tais como edifícios vizinhos e vegetação, pode retirar-se da Tabela IV.5 do RCCTE. É necessário conhecer previamente o ângulo de horizonte ( $\alpha$ ), que é definido como o ângulo entre o plano horizontal e a reta que passa pelo centro do envidraçado e pelo ponto mais alto da maior

obstrução existente entre dois planos verticais que fazem 60° para cada um dos lados da normal ao envidraçado [3].

O fator de obstrução total calcula-se então da seguinte forma:

$$F_s = F_h F_o F_f \quad (20)$$

Também é considerado um fator que contabiliza a fração de área envidraçada do vão, tendo em conta as características dos caixilhos de utilização mais corrente ( $F_g$ ). Para determinar o valor deste fator é necessário recorrer ao Quadro IV.5 do RCCTE.

O ganho solar é então dado pela expressão seguinte:

$$Q_s = X G_{sul} A F_s F_g g_v \quad (21)$$

O valor de ( $g_v$ ), ou seja o fator solar do vidro, resulta do produto entre o fator solar para uma direção perpendicular ao envidraçado ( $g_{\perp v}$ ) e o fator de correção ( $F_w$ ) que para a estação de aquecimento possui o valor 0,9 [3]. Contudo ( $g_{\perp v}$ ), não entra em consideração com nenhum tipo de proteção, sendo por isso necessário considerar pelo menos a existência de cortinas interiores muito transparentes. Então o fator ( $g_{\perp}$ ), que tem em conta o vidro mais as cortinas, pode ser 0,70 ou 0,63, consoante o vidro incolor seja simples ou duplo. Os valores de ( $g_{\perp v}$ ) encontram-se na Tabela IV.4.1 do RCCTE.

O valor do ganho solar bruto através da totalidade dos vão envidraçados, após ter decorrido a estação de aquecimento é calculado pela seguinte expressão:

$$Q_s = G_{sul} \sum_j [X_j \sum_n A_{snj}] M \quad (kWh) \quad (22)$$

em que ( $A_s = A F_s F_g F_w g_{\perp}$ ) e ( $M$ ) é a duração em meses da estação de aquecimento.

De referir que o produto ( $X_j F_h F_o F_f$ ) não deve ser menor que 0,27 e que se não existirem obstruções significativas dos vãos envidraçados, o regulamento permite que o produto ( $F_s F_g F_w$ ) possua o valor 0,46.

Na estação de aquecimento podem ocorrer valores excessivos de radiação solar e produção interna de calor, que levem a um sobreaquecimento do ar interior, ou seja a temperaturas superiores a 20°C. A contabilização dos ganhos térmicos úteis a partir dos ganhos térmicos brutos, é feita através do fator de utilização dos ganhos térmicos, que se define da seguinte forma:

$$\begin{cases} \eta = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}} \text{ se } \gamma \neq 1 \\ \eta = \frac{a}{a+1} \text{ se } \gamma = 1 \end{cases} \quad (23)$$

em que:

$a = 1,8$  ou  $2,6$  ou  $4,2$ , dependendo do edifício possuir inércia térmica fraca, média ou forte, respetivamente.

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos térmicos brutos}}{\text{Necessidades brutas de aquecimento}} = \frac{Q_g}{Q_t + Q_v} \quad (24)$$

O valor dos ganhos úteis é obtido através da seguinte expressão:

$$Q_{gu} = \eta Q_g \quad (25)$$

Para calcular a inércia térmica da envolvente, apenas é considerada como massa útil para efeitos de armazenamento de calor, aquela que se situa do lado interior do isolamento térmico (com condutibilidade térmica inferior a  $0,065 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ ).

Se o isolamento recobrir o paramento interior então  $M_{si} = 0$ , se recobrir o paramento exterior  $M_{si} = m_t$ , ou seja toda a massa é considerada, no caso do isolante térmico se encontrar no interior da parede apenas se contabiliza a massa do pano interior  $M_{si} = m_i$  e se não existir isolamento  $M_{si} = m_t/2$ . Para elementos em contacto com o exterior o valor máximo de massa útil a considerar é  $150 \text{ kg/m}^2$ , pois a partir deste valor considera-se que a massa é excedente e por isso não deve ser considerada. Nos elementos situados no interior do edifício, o limite máximo de massa superficial útil que é permitido contabilizar é  $M_{si} = m_t \leq 300 \text{ kg/m}^2$ . No caso de elementos de construção da envolvente cujo revestimento superficial interior possua uma resistência térmica compreendida entre  $0,14 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$  e  $0,3 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ , deve-se reduzir  $M_{si}$  para 50% do valor calculado. Se nos elementos interiores o revestimento superficial possuir uma resistência térmica superior a  $0,14 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$  numa ou em duas faces, deverá multiplicar-se  $M_{si}$  por  $r = 0,75$  ou  $0,50$  respetivamente.

A inércia térmica interior ( $I_t$ ) é então calculada pela seguinte expressão:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} r S_i}{A_p} \quad (26)$$

em que:

$M_{si}$  - massa superficial útil de cada elemento ( $\text{kg/m}^2$ ).

$r$  - fator de correção para ter em conta a influência dos revestimentos superficiais.

$A_p$  - área útil de pavimento.

$S_i$  - área da superfície interior de cada elemento.

Após calcular o valor da inércia térmica é possível determinar através do Quadro VII.6 do RCCTE, se se trata de uma classe de inércia fraca, média ou forte.

### 3.4 – Limitação das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento

As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento ( $N_{vc}$ ) não podem exceder um valor máximo admissível ( $N_v$ ). No âmbito desta dissertação, para zonas climáticas de verão ( $V_3 - Sul$ ), o valor de ( $N_v$ ) a adotar segundo o RCCTE é de 32 kWh/m<sup>2</sup>.ano, constituindo o valor mais elevado relativamente às outras zonas climáticas existentes. Para os concelhos da Golegã e do Entroncamento, localizados na zona climática de verão ( $V_3 - Norte$ ), o valor de ( $N_v$ ) a adotar segundo o RCCTE é de 26 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

### 3.5 – Metodologia de cálculo das necessidades de arrefecimento

A contabilização dos ganhos não úteis na estação de arrefecimento, pode ser feita utilizando a metodologia de cálculo dos ganhos úteis para a estação de aquecimento, utilizando as condições exteriores e interiores de verão. Os ganhos totais no verão, ou seja os ganhos internos e ganhos solares, são afetados do fator ( $1 - \eta$ ), para obter as necessidades nominais anuais de arrefecimento.

$$N_{vc} = \frac{Q_g(1-\eta)}{A_p} \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano} \quad (27)$$

em que:

$Q_g$  - ganhos totais brutos do edifício.

$A_p$  - área útil de pavimento.

$\eta$  - fator de utilização dos ganhos.

Os ganhos pela envolvente opaca, tendo em conta que a estação de arrefecimento tem a duração de 4 meses, calculam-se através da seguinte expressão:

$$Q_1 = 2,928 \sum UA(\theta_m - \theta_i) + \sum UA \frac{\alpha I_r}{h_e} \text{ (kWh)} \quad (27)$$

em que:

$I_r$  - intensidade média da radiação total incidente em cada orientação durante toda a estação de arrefecimento (Quadro III.9 do RCCTE).

$\theta_m$  - temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento, que é de 23°C em zonas V<sub>3</sub> Sul e de 22°C em zonas V<sub>3</sub> Norte (Quadro III.9 do RCCTE).

$\theta_i$  - temperatura do ambiente interior, que é de 25°C para a estação de arrefecimento.

De referir que na primeira parcela da expressão atrás referida, também é necessário contabilizar as perdas de calor que se processam através dos vãos envidraçados.

O cálculo dos ganhos solares através dos envidraçados é efetuado da seguinte forma:

$$Q_2 = \sum_j [I_{rj} \sum_n A_{snj}] \quad (kWh) \quad (28)$$

em que ( $I_{rj}$ ) é a energia solar incidente por orientação j.

Os fatores ( $F_0$ ), ( $F_f$ ) e ( $F_w$ ) tomam valores diferentes no verão, que podem ser consultados respetivamente nos Quadros V.1, V.2 e V.3 do RCCTE. Os valores de ( $F_g$ ) são os mesmos da estação de aquecimento e ( $F_h$ ) é igual a 1. Se não existirem obstruções significativas pode tomar-se  $F_s F_g F_w = 0,51$ .

A área efetiva coletora na estação de arrefecimento calcula-se da seguinte forma:

$$A_s = A F_s F_g F_w (0,70 g_{\perp} + 0,30 g_{\perp v}) \quad (29)$$

em que:

$g_{\perp}$  - fator solar do vão, ou seja vidro mais a proteção ativada a 100%, para uma direção de incidência perpendicular.

$g_{\perp v}$  - fator solar do vidro para uma direção de incidência perpendicular.

O fator solar de um vão constituído por um vidro e uma proteção solar ativada a 100%, calcula-se através da seguinte expressão:

$$g_{\perp}' = g_p g_{\perp v} \quad (30)$$

Se o vidro de referência for simples incolor, o fator solar da proteção solar é dado pela seguinte expressão:



$$g_p = \frac{g_{\perp}'}{0,85} \quad (31)$$

O fator solar de um vão com a proteção solar ativada a 100% e com um vidro simples é dado pela seguinte expressão:

$$g_{\perp} = \frac{g_{\perp}' g_{\perp v}}{0,85} \quad (32)$$

O fator solar de um vão com a proteção solar ativada a 100% e com um vidro duplo é obtido da seguinte forma:

$$g_{\perp} = \frac{g_{\perp}' g_{\perp v}}{0,75} \quad (33)$$

Se existirem várias proteções solares, consideram-se apenas as proteções situadas até à primeira proteção solar opaca. Para vidros simples e duplos seguem-se as seguintes expressões respetivamente:

$$g_{\perp} = g_{\perp v} \prod_{i=1}^n \frac{g_{\perp}'}{0,85} \quad (34)$$

$$g_{\perp} = g_{\perp v} \prod_{i=1}^n \frac{g_{\perp}'}{0,75} \quad (35)$$

Os ganhos de calor por ventilação na estação de arrefecimento, podem determinar-se através da seguinte expressão:

$$Q_3 = 2,928(0,34 R_{ph} A_p P_d)(\theta_i - \theta_m) \quad kWh \quad (36)$$

De referir que como  $(\theta_i)$  é superior a  $(\theta_m)$ , então  $(Q_3)$  constitui uma perda de calor e não um ganho.

Por último os ganhos internos na estação de arrefecimento, que tem a duração de 4 meses, podem obter-se da seguinte forma:

$$Q_4 = 2,928 q_i A_p \quad kWh \quad (37)$$

Desta forma o parâmetro  $\gamma$  para o cálculo do fator de utilização é dado por:

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos térmicos brutos}}{\text{Perdas térmicas brutas}} = \frac{2^{\text{ª}} \text{ parcela de } Q_1+Q_2+Q_4}{1^{\text{ª}} \text{ parcela de } Q_1+Q_3} \quad (38)$$

As necessidades nominais de energia útil para arrefecimento são calculadas pela seguinte expressão:

$$N_{vc} = \frac{(2^{\text{a}} \text{ parcela de } Q_1+Q_2+Q_4)(1-\eta)}{A_p} \text{ kWh/m}^2.\text{ano} \quad (39)$$

### 3.6 – Limitação das necessidades nominais de energia para produção de águas quentes sanitárias

As necessidades nominais anuais de energia para preparação de águas quentes sanitárias ( $N_{ac}$ ) não podem exceder um valor máximo admissível ( $N_a$ ). O valor ( $N_a$ ) é dado por:

$$N_a = \frac{0,081 M_{AQS} n_d}{A_p} \text{ (kWh/m}^2.\text{ano)} \quad (40)$$

em que:

$M_{AQS}$  - é o consumo médio diário de referência de águas quentes sanitárias.

$n_d$  - é o numero anual de dias de consumo de águas quentes sanitárias.

$A_p$  - área útil de pavimento.

O valor de ( $M_{AQS}$ ) resulta do produto entre o valor 40 e o número de ocupantes. Este número varia consoante estejamos a falar de um T0, T1, T2, T3 ou superior. Para edifícios residenciais em que se considera uma utilização permanente de águas quentes sanitárias, o valor de ( $n_d$ ) é 365.

### 3.7 – Metodologia de cálculo das necessidades de energia para preparação das águas quentes sanitárias

As necessidades anuais de energia para preparação de água quente sanitária calculam-se da seguinte forma:

$$N_{ac} = \frac{Q_a/\eta_a - (E_{ren} + E_{solar})}{A_p} \text{ (kWh/m}^2.\text{ano)} \quad (41)$$

em que:

$\eta_a$  – eficiência de conversão com sistemas de preparação de AQS.

$Q_a$  – energia útil dispendida com sistemas de preparação de AQS ( $Q_a = 0,05234 M_{AQS} n_d \text{ (kWh/ano)}$ ).

$E_{ren}$  - contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis para preparação de AQS, outras formas de recuperação de calor de equipamentos ou de fluidos residuais.

$E_{solar}$  - contribuição de sistemas de coletores solares para preparação de AQS.

Nos edifícios abrangidos pelo RCCTE, sempre que haja uma exposição solar adequada, é obrigatório o recurso a sistemas de coletores solares térmicos, para aquecimento de água sanitária, sem que a área ocupada pelos coletores ultrapasse 50% da área de cobertura total disponível, em coberturas inclinadas orientadas a sul ou em coberturas horizontais.

Também podem ser contabilizadas outras formas de energias renováveis tais como biomassa, eólica, geotérmica e energia solar fotovoltaica, para a preparação de água quente sanitária [7].

### 3.8 – Limitação das necessidades nominais globais de energia primária

As necessidades nominais anuais globais de energia primária ( $N_{tc}$ ) não podem exceder um valor máximo admissível ( $N_t$ ). Existe portanto um valor máximo para a soma das energias consumidas com o aquecimento e arrefecimento do ambiente interior e preparação de águas quentes sanitárias. É normal tomar como termo de comparação uma forma de energia primária, na maioria dos casos o petróleo, surgindo o conceito de “tonelada equivalente de petróleo” ( $tep$ ). Os coeficientes de conversão de energia final/energia primária ( $F_{pf}$ ), variam consoante a forma de energia utilizada, podendo ser propano, gás natural, gás de cidade, gasóleo e eletricidade.

O valor ( $N_{tc}$ ) resulta da soma ponderada, em termos de energia primária, das necessidades nominais de aquecimento, arrefecimento e águas quentes sanitárias:

$$N_{tc} = 0,1(N_{ic}/\eta_i)F_{pui} + 0,1(N_{vc}/\eta_v)F_{puv} + N_{ac}F_{pua} \quad (\text{kgep}/m^2 \cdot \text{ano}) \quad (42)$$

em que:

$\eta_i$  - eficiência do sistema de aquecimento.

$\eta_v$  - eficiência do sistema de arrefecimento.

$F_{pui}$  – fator de conversão entre energia útil e energia primária, relativo ao aquecimento.

$F_{puv}$  – fator de conversão entre energia útil e energia primária, relativo ao arrefecimento.

$F_{pua}$  – fator de conversão entre energia útil e energia primária, relativo às águas quentes sanitárias.

Estes fatores variam consoante estejamos a falar de eletricidade ou de combustíveis. Para a eletricidade o fator possui o valor de 0,290 kgep/kWh, no caso dos combustíveis é de 0,086 kgep/kWh.

O valor de ( $N_t$ ) calcula-se pela seguinte expressão:

$$N_t = 0,9(0,01N_i + 0,01N_v + 0,15N_a) \quad (\text{kgep}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}) \quad (43)$$

Quando não for previsto um sistema de aquecimento ou arrefecimento ambiente ou de aquecimento de água quente sanitária, são considerados valores padrão de eficiência para os sistemas, por exemplo,  $\eta_i = 1$  para resistências elétricas,  $\eta_v = 3$  para máquinas frigoríficas,  $\eta_a = 0,90$  para termoacumuladores elétricos com 50 mm de isolamento térmico e  $\eta_a = 0,50$  para esquentadores.

### **3.9 – Requisitos de qualidade térmica e ambiental para edifícios de habitação localizados em zona climática V<sub>3</sub> I<sub>1</sub>**

Nenhum elemento da envolvente de um edifício de habitação em zona climática I<sub>1</sub>, pode ter um coeficiente de transmissão térmica superior a 1,8 e 1,25  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ , respetivamente em zonas opacas verticais e horizontais de elementos exteriores, assim como 2,0 e 1,65  $W/m^2 \cdot ^\circ C$  em zonas opacas verticais e horizontais de elementos interiores.

Em zonas não correntes o coeficiente de transmissão térmica dos elementos, não pode ser superior ao dobro do mesmo coeficiente em zona corrente, assim como dos valores máximos atrás referidos.

Em relação ao fator solar máximo admissível, nenhum vão envidraçado da envolvente de um edifício com área total superior a 5% da área útil de pavimento do espaço que serve, exceto orientado a Norte, pode apresentar um fator solar correspondente ao vão envidraçado com os respetivos dispositivos de proteção 100% ativos, que ultrapasse para zonas climáticas V<sub>3</sub> o valor 0,10 no caso de edifícios com inércia térmica fraca e 0,50 no caso de edifícios com inércia térmica média e forte.

Os edifícios de habitação unifamiliar com área útil inferior a 50 m<sup>2</sup>, ficam dispensados de verificação detalhada do RCCTE, desde que respeitem os valores de referência dos

coeficientes de transmissão térmica e dos fatores solares, que se encontram nos Quadros IX.3 e IX.4 do RCCTE.



## **CAPÍTULO 4 – SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS**

Apresentam-se de seguida algumas soluções construtivas correntes. O objetivo da utilização das mesmas é comum, ou seja, contribuir para um aumento significativo da eficiência energética dos edifícios de habitação unifamiliares, cumprindo as exigências regulamentares com um nível de qualidade elevado.

### **4.1 – Soluções construtivas em paredes exteriores**

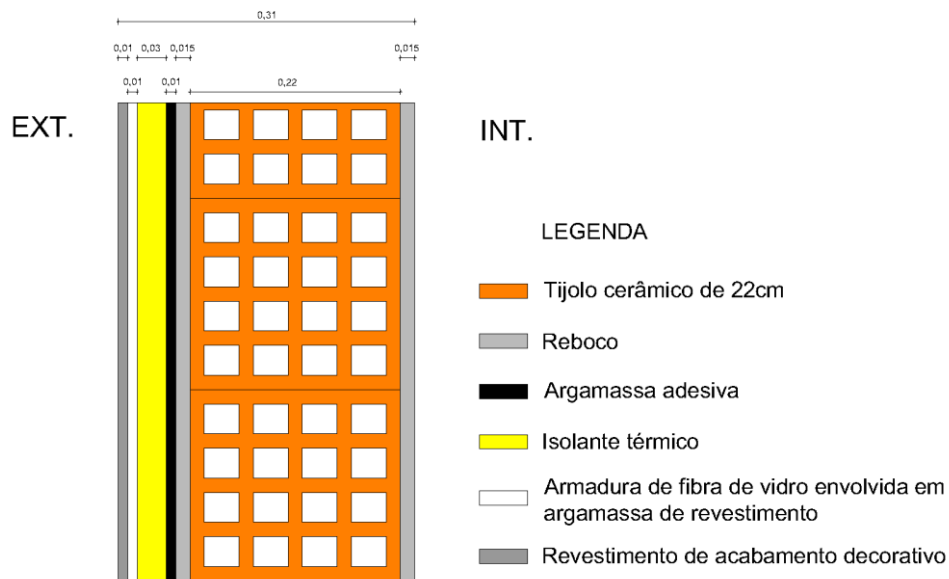
#### **4.1.1 – Isolamento térmico pelo exterior**

##### *4.1.1.1 – Pano simples com isolamento térmico contínuo pelo exterior (ETICS - external thermal insulation composite system)*

Este tipo de solução é utilizado sobretudo em obras de reabilitação térmica, mas também em construção nova e consiste em aplicar o isolamento térmico pelo exterior, sendo muito eficaz do ponto de vista do combate às pontes térmicas, não reduz o espaço habitável em obras de reabilitação e não prejudica a inércia térmica do edifício.

O isolante térmico utilizado deve ser permeável ao vapor de água e pode consistir em placas de poliestireno expandido, lã de rocha de alta densidade, aglomerado negro de cortiça ou lã de fibra de vidro. As placas são coladas ao suporte com argamassas adesivas especiais ou fixadas mecanicamente. Sobre as placas é colada e embebida numa massa do mesmo tipo uma armadura de proteção em fibra de vidro. Por último é aplicado um revestimento plástico delgado como acabamento final. A aplicação deste sistema exige cuidados especiais, que se não forem tidos em conta podem deitar a perder todo o trabalho investido. Entre eles é de realçar a necessidade de reforçar as zonas do sistema com exposição a ações de maior agressividade mecânica, nomeadamente as que são acessíveis aos utilizadores, através da incorporação de uma segunda camada de rede em fibra de vidro e uma terceira camada de argamassa de revestimento. Outro cuidado a considerar para a manutenção do bom aspeto da fachada ao longo do tempo, é o correto desenho dos remates superiores dos panos, de forma a impedir a água da chuva de escorrer diretamente sobre a superfície texturada do revestimento, arrastando e depositando sobre esta os detritos acumulados na superfície do elemento de remate [9].

O sistema ETIC é ilustrado na Figura 4.1.



**Figura 4.1 – Sistema ETIC (external thermal insulation composite system)**

De referir que para a zona climática  $I_1$ , se for utilizado isolamento térmico pelo exterior em paredes simples exteriores e considerando que são utilizados tijolos cerâmicos furados com 22 cm de espessura, basta utilizar isolante térmico com 3 cm de espessura e  $0,037 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$  de condutibilidade térmica, para satisfazer o coeficiente de transmissão térmica de referência, de elementos opacos verticais exteriores em zona corrente, ou seja  $0,70 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  [3], como se demonstra no Quadro 4.1.

Na demonstração considerou-se apenas a existência de isolante térmico com 3 cm de espessura, reboco tradicional na superfície interior e exterior com 1,5 cm de espessura e tijolo cerâmico furado com 22 cm de espessura.



**Quadro 4.1 – Caracterização de elemento opaco vertical exterior com isolamento térmico pelo exterior**

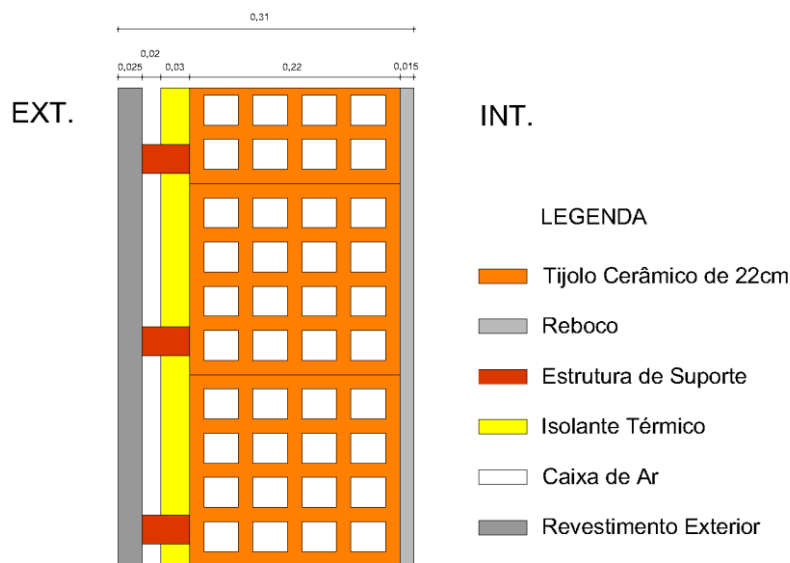
Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência
Rse			0,04	pag I.11 ITE50 LNEC
1 Isolante Térmico	0,03	0,037	0,81	pag I.3 ITE50 LNEC
2 Reboco Tradicional	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC
3 Tijolo Furado 22	0,22	-	0,52	pag I.12 ITE50 LNEC
4 Reboco Tradicional	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,66</b>	

$U_{ref} = 0,70$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
---

*4.1.1.2 – Pano simples com isolamento térmico pelo exterior protegido por revestimento exterior formando uma caixa de ar (fachada ventilada)*

Nesta solução é aplicado um revestimento exterior independente do suporte (prumos e travessas de suporte), que pode consistir em placas de alumínio ou pedra. Entre o suporte e o revestimento forma-se uma caixa de ar, sendo parte ocupada pelo isolamento térmico. O revestimento exterior exige uma estrutura de suporte, que deve permitir a fácil substituição de uma placa danificada. As placas inferiores devem permitir a limpeza fácil de grafites e a estrutura deve ter uma cor escura para não aparecer entre as juntas do revestimento [7].

Uma solução de fachada ventilada é ilustrada na Figura 4.2.



**Figura 4.2 – Fachada ventilada**

Esta solução com caixa de ar permite ao isolante térmico possuir apenas a função de isolante e não de suporte do revestimento. A solução permite que se utilizem produtos de revestimento e de isolamento não totalmente compatíveis. A evacuação do vapor de água proveniente do interior deve fazer-se por ventilação da lâmina de ar, através de aberturas nas partes superiores e inferiores das paredes. Desta forma não deverá considerado o contributo do revestimento exterior para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede e dado que a camada de isolante térmico será interrompida pela estrutura de suporte do revestimento exterior, existirá um acréscimo de perdas por efeito das pontes térmicas, sendo necessário corrigir esse efeito através, por exemplo, do aumento da espessura do isolante [7].

#### **4.1.2 – Isolamento térmico no interior da caixa de ar em paredes duplas**

São de realçar os seguintes aspetos acerca desta solução:

- É importante a existência da caixa de ar, de modo a combater as humidades de condensação no seio da parede e facilitar a eliminação de águas absorvidas pelo pano exposto às intempéries.
- A caixa de ar ajuda a secar as humidades, contudo não deve ser muito larga para não gerar correntes de convecção, nem muito estreita para permitir a circulação do ar [10].
- É demorada a construção da caixa de ar, quando se está a executar a parede num andar elevado sem um andaime no exterior.
- A caleira da caixa de ar deve ficar desobstruída e ter declive [10].
- Os panos de tijolo devem ser construídos primeiro nos pisos superiores e depois nos inferiores, de forma a permitir a livre flexão das vigas.
- De forma a diminuir as perdas térmicas através de pontes térmicas lineares, devem existir blocos isolantes resistentes à compressão na base dos panos interiores, como por exemplo blocos de espuma de vidro [11], tal como se ilustra na Figura 4.23.

De referir que para a zona climática  $I_1$ , se for utilizado isolamento térmico no interior da caixa de ar em paredes duplas exteriores e considerando que são utilizados tijolos cerâmicos furados com 15 e 11 cm de espessura, basta utilizar isolante térmico na forma de placa ou espuma rígida projetada, com 2 cm de espessura e  $0,037 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$  de condutibilidade térmica, para satisfazer o coeficiente de transmissão térmica de referência, de elementos opacos verticais exteriores em zona corrente, ou seja  $0,70 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$  [3], como se demonstra no Quadro 4.2.

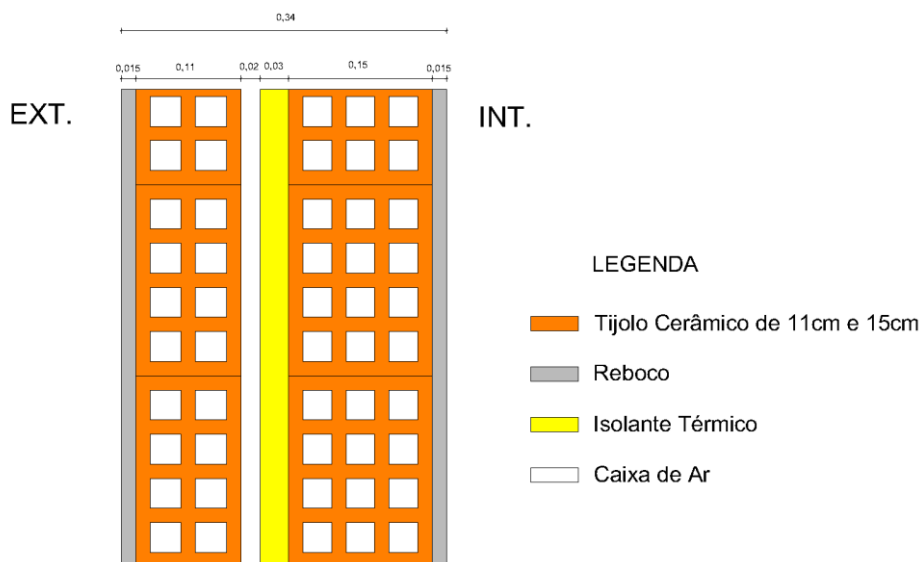
Na demonstração considerou-se a existência de isolante térmico com 2 cm de espessura, reboco tradicional na superfície interior e exterior com 1,5 cm de espessura, tijolo cerâmico furado com 11 cm de espessura no pano exterior, tijolo cerâmico furado com 15 cm de espessura no pano interior e caixa de ar com vista ao combate às humidades de condensação e infiltração de água, com 2 cm de espessura.

**Quadro 4.2 – Caracterização de elemento opaco vertical exterior com isolamento térmico no interior da caixa de ar**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m. $^{\circ}$ C)	Resistência $R_t$ (m $^2$ . $^{\circ}$ C/W)	Referência
Rse			0,04	pag I.11 ITE50 LNEC
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC
2 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC
3 Caixa de Ar	0,02	-	0,18	pag I.11 ITE50 LNEC
4 Isolante Térmico	0,02	0,037	0,54	pag I.3 ITE50 LNEC
5 Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC
6 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC
Espessura Total	0,33			
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m $^2$ . $^{\circ}$ C)			<b>0,64</b>	

$U_{ref} = 0,70$ (W/m $^2$ . $^{\circ}$ C)
--

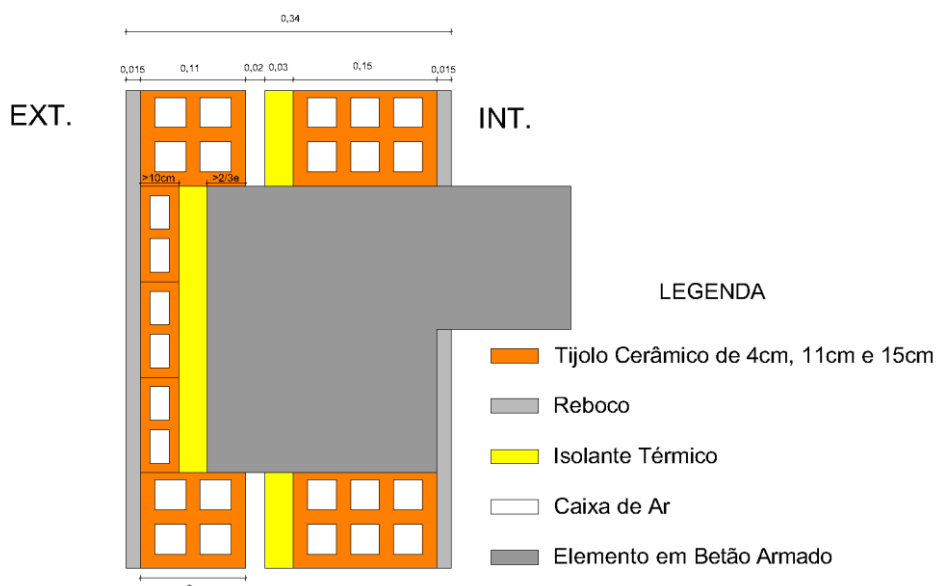
Uma solução de isolamento térmico no interior da caixa de ar em paredes duplas, é ilustrada na Figura 4.3.



**Figura 4.3 – Parede dupla com isolamento térmico na caixa de ar**

As correções térmicas nas zonas dos elementos estruturais, ou seja vigas, lajes e pilares, são normalmente efetuadas através de isolamento térmico, fixado mecanicamente ou colado ao betão. A forma mais eficaz de efetuar as correções térmicas nas zonas dos elementos estruturais, consiste na colocação do isolante térmico no interior da cofragem, antes da betonagem, para que após a mesma fique fixo ao betão. O isolante térmico deverá ser pesado para não se deslocar, como por exemplo o aglomerado de fibra de abeto.

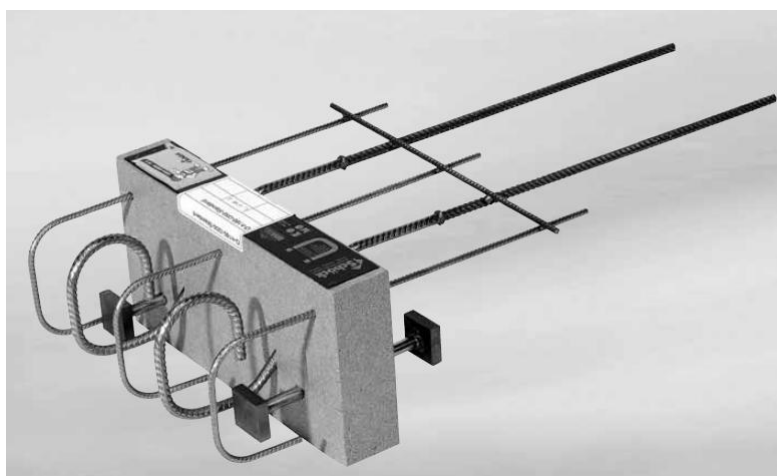
A base de apoio, na viga ou laje, de um pano de alvenaria deve ser de pelo menos  $2/3$  da espessura do mesmo, por razões de estabilidade [7]. Por outro lado a proteção de um isolante térmico aplicado no topo das vigas ou lajes, por uma forra de tijolo cerâmico, só se admite se a espessura desta for no mínimo 10 cm [7]. Este valor deve-se à necessidade de garantir a autossustentação da forra cerâmica, no caso de não existir aderência suficiente desta ao isolante térmico. Contudo os 10 cm de forra normalmente são incompatíveis com a espessura mínima de apoio do pano exterior, como se ilustra na Figura 4.4, deste modo a forra cerâmica deverá ser fixada com varões protegidos contra a corrosão, chumbados ou integrados na betonagem, que são posteriormente dobrados e embebidos na argamassa de assentamento dos blocos cerâmicos.



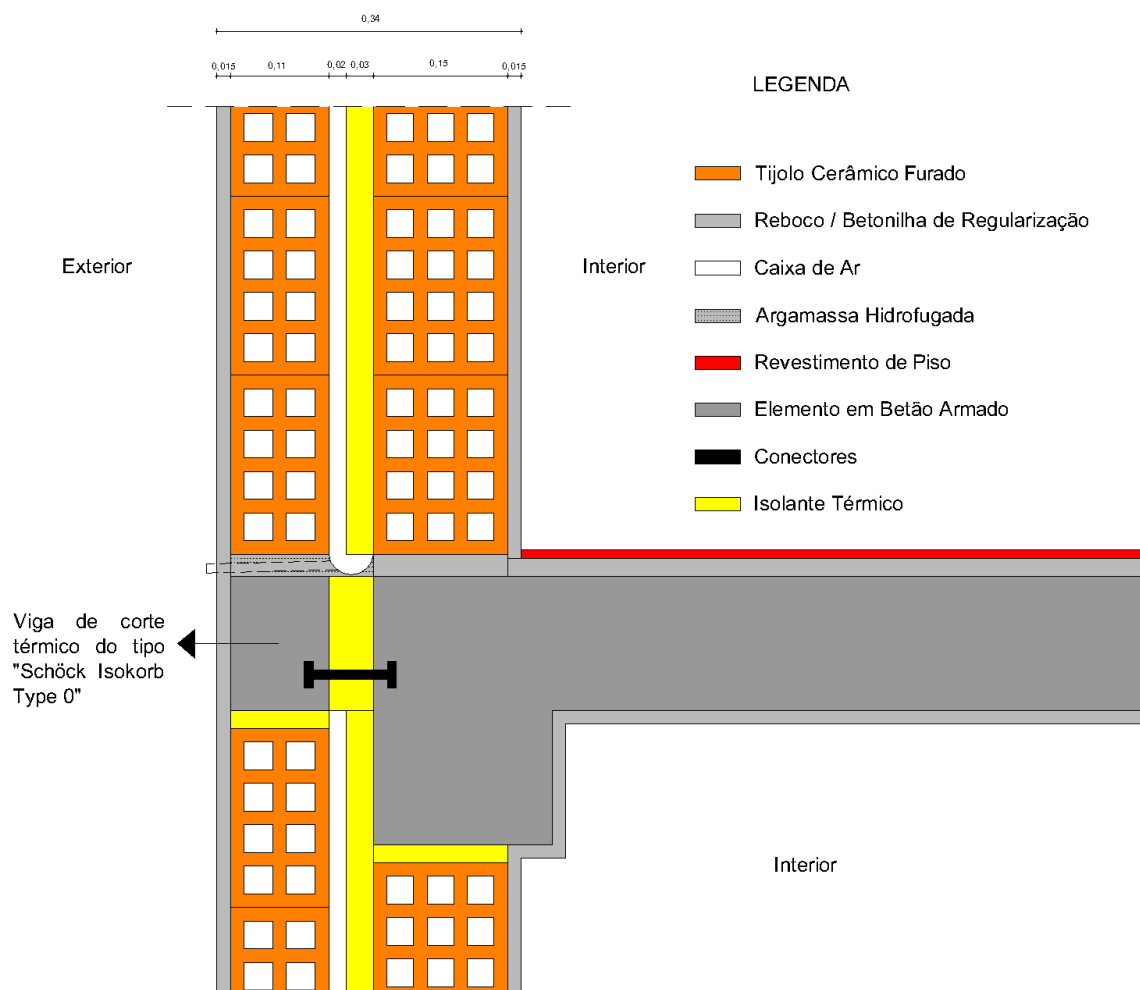
**Figura 4.4 – Correção térmica na zona dos elementos estruturais**

Para evitar a fixação da forra cerâmica, é possível realizar de um pequeno cachorro na viga ou laje, de modo a aumentar a base de assentamento do pano exterior.

Outra solução é a execução de uma viga de corte térmico do tipo “Schöck Isokorb Type O”, ilustrada na Figura 4.5 [12], possibilitando uma base de assentamento superior para o pano exterior, relativamente à execução de um cachorro, como se pode comprovar pela Figura 4.6. Nesta solução o isolante térmico é aplicado antes da betonagem, permitindo a passagem das armaduras da estrutura resistente através do mesmo. É uma solução bastante eficaz para minimizar as pontes térmicas [10].



**Figura 4.5 – Viga de corte térmico do tipo “schöck isokorb type o”**



**Figura 4.6 – Solução construtiva com viga de corte térmico**

De referir que a correção térmica realizada pelo interior é menos eficaz, pois não se consegue interromper o fluxo de calor em direção ao topo da laje.

## 4.2 – Soluções construtivas em coberturas

As coberturas podem ser planas ou inclinadas. Se a inclinação for inferior a 8% então estamos perante uma cobertura plana, se for inferior a 3% pode-se designar de cobertura em terraço [7]. Este tipo de cobertura é constituído pela estrutura resistente, camada de forma, camada de isolamento térmico, camada de impermeabilização e camada de proteção.

A estrutura resistente pode apresentar-se sob a forma de uma laje de betão maciça ou aligeirada.

A camada de forma tem como objetivo servir de pendente para condução das águas aos pontos de evacuação, ou seja, caleiras, tubos de queda ou beirados. Esta camada normalmente é constituída por argamassa leve, por exemplo, em betão de inertes de argila expandida, com massa volúmica seca entre 1000 e 1200 kg/m<sup>3</sup> e condutibilidade térmica entre 0,36 e 0,46 W/m.°C, ou então por argamassa celular com massa volúmica seca entre 450 e 750 kg/m<sup>3</sup> e condutibilidade térmica entre 0,16 e 0,27 W/m.°C. A espessura média desta camada normalmente situa-se entre os 5 e 10 cm.

A camada de isolamento térmico tem como objetivo proteger o suporte estrutural das variações térmicas ambientais, assim como a camada de impermeabilização no caso de coberturas invertidas, ou seja quando a camada de isolamento térmico se encontra sobre a camada de impermeabilização. Outro dos objetivos é contribuir para a diminuição das necessidades globais de energia nos edifícios. Os isolantes térmicos podem ser placas de poliestireno extrudido (XPS), poliestireno expandido, espuma rígida de poliuretano, lã mineral ou aglomerado de cortiça expandida, contudo no caso de coberturas invertidas apenas deverão ser utilizadas placas de poliestireno extrudido por resistirem bem às ações da água. Os valores da condutibilidade térmica das placas de isolamento térmico atrás referidas, situam-se entre 0,037 e 0,045 W/m.°C. Alguns autores defendem a aplicação de subtelha em chapa ondulada imediatamente acima da camada de isolamento térmico, em coberturas planas, de forma a auxiliar na ventilação da mesma e consequente secagem da sua face exterior após condensação do vapor de água. Para isso nas extremidades das subtelhas devem existir orifícios para a entrada de ar [10].

A camada de impermeabilização tem como objetivo assegurar a estanquidade da cobertura, podendo ser constituída por um sistema monocamada ou multicamada. Esta camada pode ser ligada ao suporte por colagem, fixação mecânica e dessolidarização total. A espessura desta camada normalmente é pequena, por isso muitas vezes não se considera na caracterização térmica da cobertura.

A camada de proteção é a mais exterior de todas, tem como objetivo preservar o sistema de impermeabilização e pode classificar-se de várias formas. A proteção móvel é constituída por um granulado mineral livre, normalmente areão, podendo ser leve, média ou pesada consoante a espessura que apresente. A proteção rígida pode ser constituída por betonilhas de cimento, armadas ou não, ladrilhos de grés, lajetas de betão, etc. A autoproteção é realizada em fábrica e consiste na aplicação sobre a impermeabilização de um acabamento em areão fino ou em folha de alumínio, ou na aplicação sobre o isolamento térmico de uma betonilha até 3 cm.



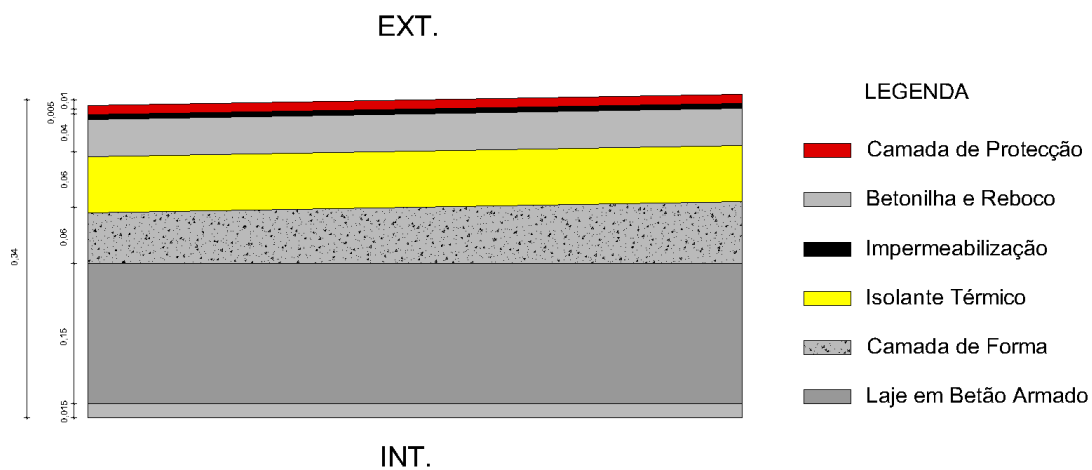
De referir que para a zona climática  $I_1$ , se for considerada uma cobertura plana constituída de baixo para cima por reboco tradicional com 1,5 cm de espessura, laje em betão armado com 15 cm de espessura, camada de forma em betão de argila expandida com 6 cm de espessura média, camada de isolamento térmico, betonilha com 4 cm de espessura, camada de impermeabilização com 0,5 cm de espessura e pavimento cerâmico com 1 cm de espessura, basta utilizar isolante térmico com 6 cm de espessura e  $0,037 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$  de condutibilidade térmica, para satisfazer o coeficiente de transmissão térmica de referência, de elementos opacos horizontais exteriores em zona corrente, ou seja  $0,50 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  [3], como se demonstra no Quadro 4.3.

**Quadro 4.3 – Caracterização de elemento opaco horizontal exterior com isolamento térmico sobre a laje em betão armado**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m. $^\circ\text{C}$ )	Resistência $R_t$ (m $^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referência
Rse			0,04	pag I.11 ITE50 LNEC
1 Pavimento Cerâmico	0,01	1,30	0,01	pag I.10 ITE50 LNEC
2 Impermeabilização	0,005	0,23	0,02	pag I.9 ITE50 LNEC
3 Betonilha	0,04	1,30	0,03	pag I.7 ITE50 LNEC
4 Isolante Térmico	0,06	0,037	1,62	pag I.3 ITE50 LNEC
5 Camada de Forma	0,06	0,46	0,13	pag I.5 ITE50 LNEC
6 Laje em Betão Armado	0,15	2,30	0,07	pag I.5 ITE50 LNEC
7 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC
Rsi			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC
Espessura Total	0,34			
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m $^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )			<b>0,49</b>	

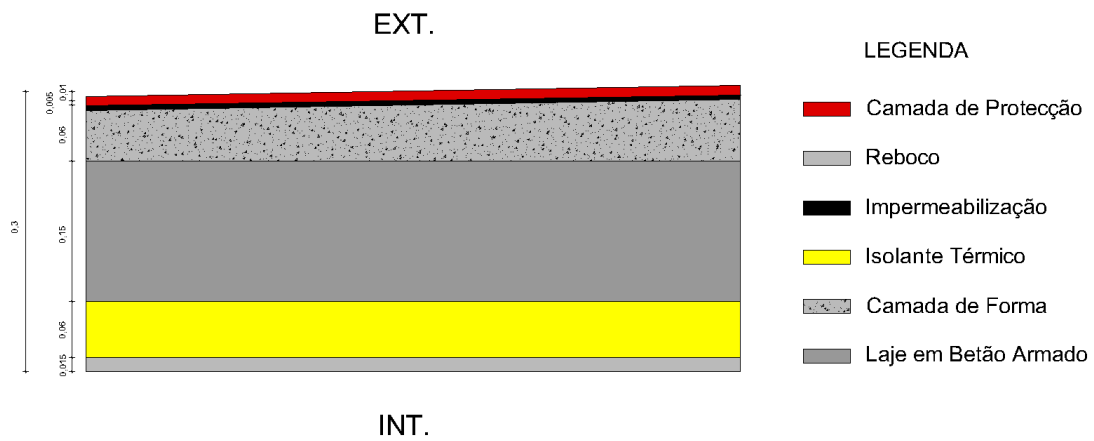
$U_{ref} = 0,50 \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$
---

Uma solução construtiva de isolamento térmico sobre laje de betão armado, em coberturas planas, é ilustrada na Figura 4.7.



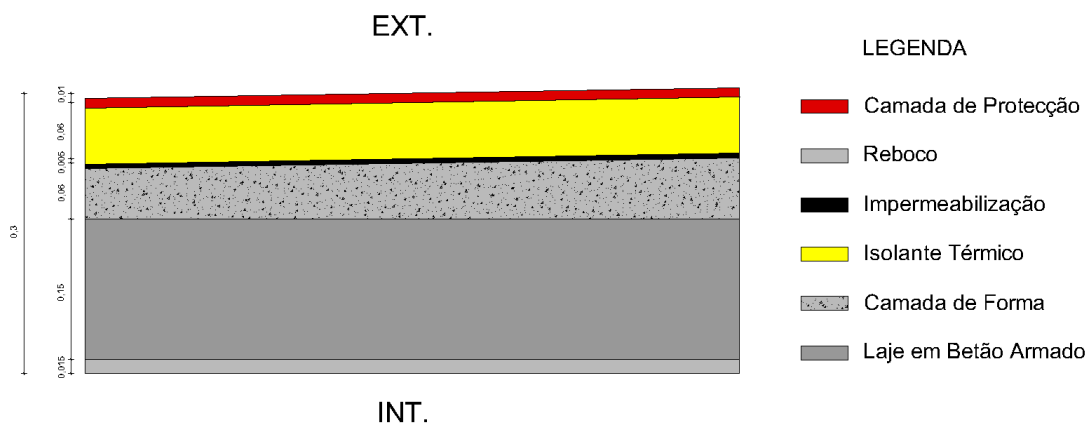
**Figura 4.7 – Cobertura plana tradicional com isolamento térmico sobre a laje**

Uma solução construtiva de isolamento térmico sob laje de betão armado, em coberturas planas, é ilustrada na Figura 4.8.



**Figura 4.8 – Cobertura plana tradicional com isolamento térmico sob a laje**

Uma solução construtiva de isolamento térmico sobre impermeabilização (cobertura invertida), em coberturas planas, é ilustrada na Figura 4.9.



**Figura 4.9 – Cobertura plana invertida**

As coberturas também podem ser inclinadas descontínuas com laje de esteira horizontal, ou inclinadas monolíticas sem laje de esteira horizontal. Normalmente os elementos de revestimento das coberturas são telhas cerâmicas vermelhas, mas também podem ser chapas de fibrocimento, metálicas ou de plástico. Se for utilizada cor clara no revestimento de coberturas, em associação com mecanismos de ventilação eficazes do espaço subjacente, é possível regular os ganhos de calor na estação de arrefecimento e limitar a ocorrência de condensações sobre os elementos constituintes da cobertura.

Os isolantes térmicos que podem ser utilizados em coberturas inclinadas, são os mesmos que já foram apresentados para outras soluções construtivas. Se existir laje de esteira e o desvão não for habitável, o isolamento é aplicado sobre a laje de esteira, se o desvão for habitável ou a cobertura for em estrutura monolítica sem laje de esteira, então o isolamento é aplicado diretamente nas vertentes.

Para a zona climática  $I_1$ , se for considerada uma cobertura inclinada com laje de esteira horizontal, ilustrada na Figura 4.12, em contacto com desvão não habitado com  $\tau > 0,7$ , constituída de baixo para cima por reboco tradicional com 2 cm de espessura, laje em betão armado com 15 cm de espessura e camada de isolamento térmico, basta utilizar isolante térmico com 7 cm de espessura e  $0,037 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$  de condutibilidade térmica, para satisfazer o coeficiente de transmissão térmica de referência, de elementos opacos horizontais exteriores em zona corrente, ou seja  $0,50 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  [3], como se demonstra no Quadro 4.4. De referir que apenas se consideram os valores de referência de elementos opacos horizontais exteriores em zona corrente, porque a laje de esteira está em contacto com desvão não habitado com  $\tau > 0,7$ , possuindo por isso requisitos de envolvente exterior.

Se for considerado que o desvão não habitado possui um valor de  $\tau < 0,7$ , então basta utilizar isolante térmico com 3 cm de espessura e  $0,037 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$  de condutibilidade térmica, para satisfazer o coeficiente de transmissão térmica de referência, de elementos opacos horizontais interiores em zona corrente, ou seja  $1,00 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  [3], como se demonstra no Quadro 4.5.

**Quadro 4.4 – Caracterização de elemento opaco horizontal interior em contacto com desvão não habitado com  $\tau > 0,7$ , com isolamento térmico sobre a laje em betão armado.**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m. $^\circ\text{C}$ )	Resistência $R_t$ (m $^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ )	Referência
Rse			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC
1 Isolante Térmico	0,07	0,037	1,89	pag I.3 ITE50 LNEC
2 Laje em Betão Armado	0,15	2,30	0,07	pag I.5 ITE50 LNEC
3 Reboco	0,02	1,30	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC
Rsi			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC
Espessura Total	0,24			
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m $^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )			<b>0,46</b>	

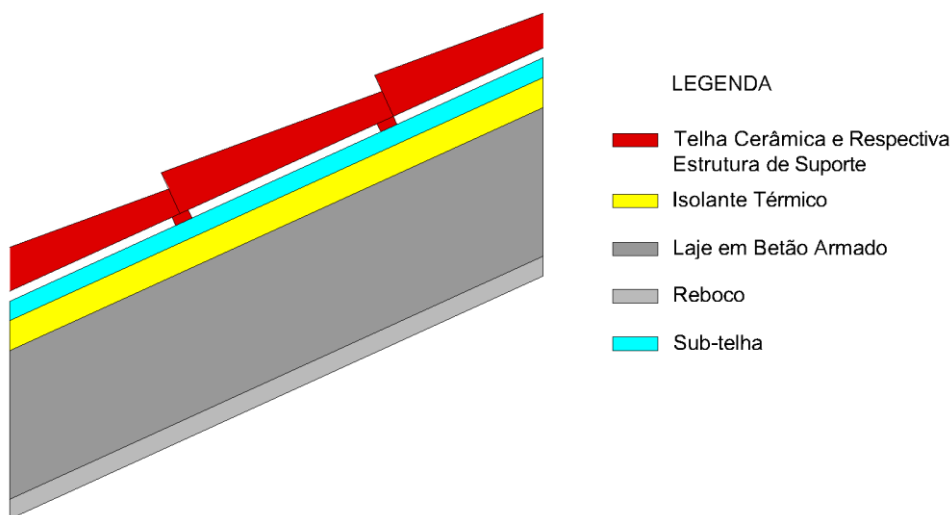
$U_{ref} = 0,50 \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$
---

**Quadro 4.5 – Caracterização de elemento opaco horizontal interior em contacto com desvão não habitado com  $\tau < 0,7$ , com isolamento térmico sobre a laje em betão armado.**

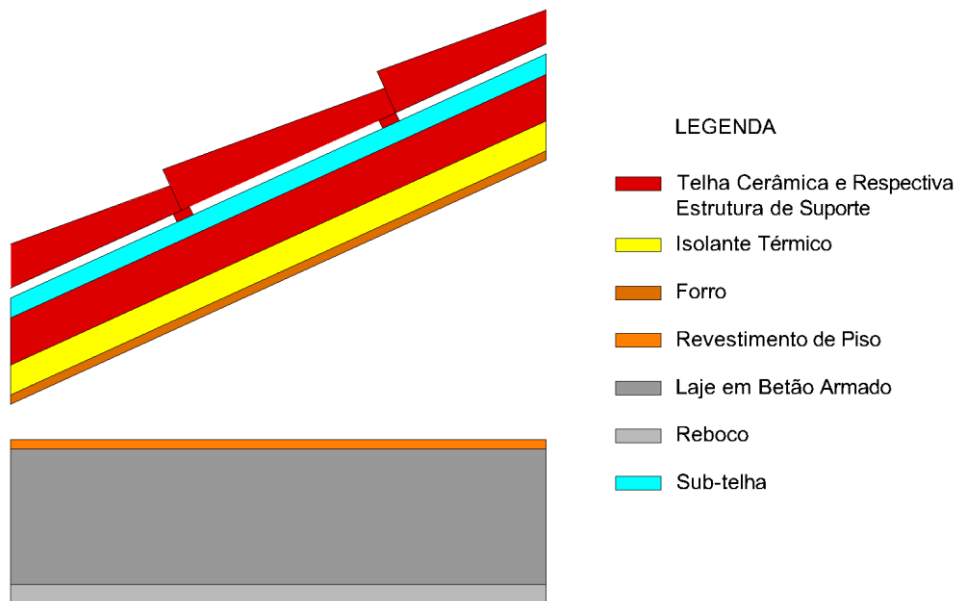
Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência
Rse			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC
1 Isolante Térmico	0,03	0,037	0,81	pag I.3 ITE50 LNEC
2 Laje em Betão Armado	0,15	2,30	0,07	pag I.5 ITE50 LNEC
3 Reboco	0,02	1,30	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC
Rsi			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC
Espessura Total	0,20			
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,92</b>	

$U_{ref} = 1,00$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
---

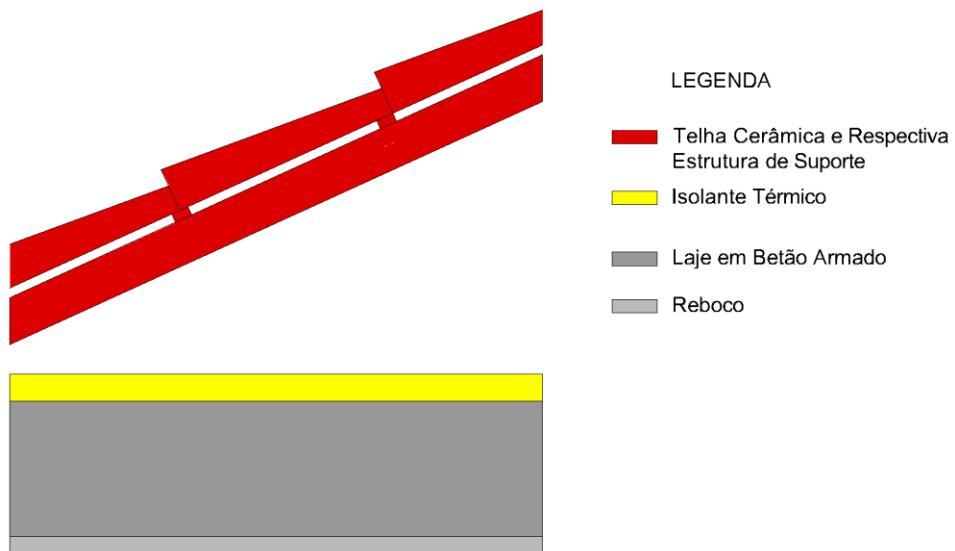
Algumas soluções construtivas de isolamento térmico, em coberturas inclinadas em estrutura monolítica sem laje de esteira, coberturas inclinadas em estrutura descontínua com sótão habitável e coberturas inclinadas em estrutura descontínua com sótão não habitável, são ilustradas na Figura 4.10, 4.11 e 4.12, respetivamente.



**Figura 4.10 – Cobertura inclinada em estrutura monolítica sem laje de esteira**



**Figura 4.11 – Cobertura inclinada em estrutura descontínua com sótão habitável**



**Figura 4.12 – Cobertura inclinada em estrutura descontínua com sótão não habitável**

### 4.3 – Soluções construtivas em pavimentos

Os pavimentos podem encontrar-se sobre espaços exteriores (pisos sobre-elevados relativamente à cota do terreno) e espaços interiores não aquecidos (pisos sobre caves).

Normalmente os pavimentos são constituídos, de baixo para cima, por camada de isolante térmico, laje resistente, maciça ou aligeirada, camada de regularização (betonilha de cimento) e revestimento de piso.

O isolante térmico deve ser aplicado numa posição inferior à estrutura resistente, de modo a não prejudicar a sua contribuição para a inércia térmica.

O isolamento pode ser fixado diretamente à estrutura resistente, como se ilustra na Figura 4.14, ou pode ser aplicado no espaço de ar entre um teto falso e a face inferior do elemento resistente, como se ilustra na Figura 4.13. Os materiais normalmente utilizados como isolantes térmicos em pavimentos, são placas de lã mineral e de poliestireno expandido. No caso de se aplicar isolamento entre um teto falso e a estrutura resistente, podem ainda ser utilizadas placas de poliestireno extrudido, mantas de lã mineral, placas de espuma rígida de poliuretano, placas de aglomerado de cortiça expandida, entre outros.

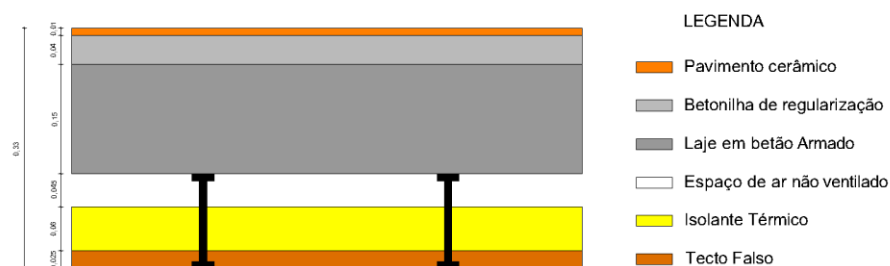
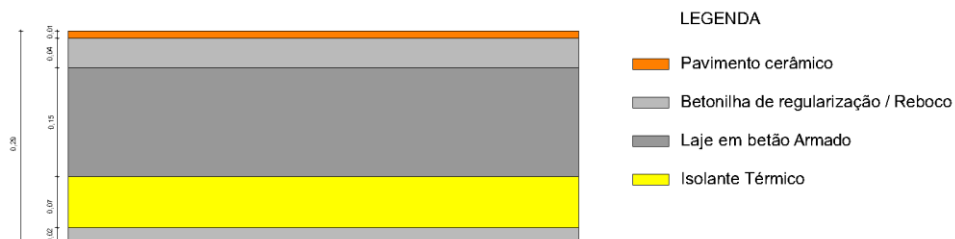


Figura 4.13 – Pavimento com isolamento térmico na caixa de ar entre o teto falso e a estrutura resistente





**Figura 4.14 – Pavimento com isolamento térmico fixado diretamente à estrutura resistente**

Para a zona climática  $I_1$ , se for considerado um pavimento com isolamento térmico na caixa de ar entre o teto falso e a estrutura resistente, ilustrado na Figura 4.13, constituído de baixo para cima por teto falso em placas de gesso cartonado com 2,5 cm, camada de isolamento térmico, espaço de ar não ventilado com 4,5 cm, laje em betão armado com 15 cm de espessura, betonilha com 4 cm de espessura e pavimento cerâmico com 1 cm de espessura, basta utilizar isolante térmico com 6 cm de espessura e  $0,037 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$  de condutibilidade térmica, para satisfazer o coeficiente de transmissão térmica de referência, de elementos opacos horizontais exteriores em zona corrente, ou seja  $0,50 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  [3], como se demonstra no Quadro 4.6.

**Quadro 4.6 – Caracterização de elemento opaco horizontal exterior, com isolamento térmico no interior de teto falso, sob a laje em betão armado.**

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência
	Rsi			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC
1	Pavimento Cerâmico	0,01	1,30	0,01	pag I.10 ITE50 LNEC
2	Betonilha	0,04	1,30	0,03	pag I.7 ITE50 LNEC
3	Laje em Betão Armado	0,15	2,30	0,07	pag I.5 ITE50 LNEC
4	Espaço de ar não ventilado	0,045	-	0,20	pag I.11 ITE50 LNEC
5	Isolante Térmico	0,06	0,037	1,62	pag I.3 ITE50 LNEC
6	Placa de gesso cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50 LNEC
	Rse			0,04	pag I.11 ITE50 LNEC
Espessura Total		0,33			
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,45</b>	

$$U_{ref} = 0,50 \text{ (W/m}^2\text{.°C)}$$

Se o pavimento se localizar sobre um espaço não útil com  $\tau < 0,7$ , para satisfazer o coeficiente de transmissão térmica de referência, de elementos opacos horizontais interiores em zona corrente, ou seja 1,00 W/m<sup>2</sup>.°C [3], é necessário utilizar uma camada de isolamento térmico com 1 cm de espessura, como se demonstra no Quadro 4.7.

**Quadro 4.7 – Caracterização de elemento opaco horizontal interior em contacto com espaço não útil com  $\tau < 0,7$ , com isolamento térmico no interior de teto falso, sob a laje em betão armado.**

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência
	Rsi			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC
1	Pavimento Cerâmico	0,01	1,30	0,01	pag I.10 ITE50 LNEC
2	Betonilha	0,04	1,30	0,03	pag I.7 ITE50 LNEC
3	Laje em Betão Armado	0,15	2,30	0,07	pag I.5 ITE50 LNEC
4	Espaço de ar não ventilado	0,045	-	0,20	pag I.11 ITE50 LNEC
5	Isolante Térmico	0,01	0,037	0,27	pag I.3 ITE50 LNEC
6	Placa de gesso cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50 LNEC
	Rse			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC
Espessura Total		0,28			
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,99</b>	

$$U_{ref} = 1,00 \text{ (W/m}^2\text{.°C)}$$

Se for considerado um pavimento com isolamento térmico fixado diretamente à estrutura resistente, ilustrado na Figura 4.14, constituído de baixo para cima por reboco com 2 cm,

camada de isolamento térmico, laje em betão armado com 15 cm de espessura, betonilha com 4 cm de espessura e pavimento cerâmico com 1 cm de espessura, basta utilizar isolante térmico com 7 cm de espessura e 0,037 W/m.°C de condutibilidade térmica, para satisfazer o coeficiente de transmissão térmica de referência, de elementos opacos horizontais exteriores em zona corrente, ou seja 0,50 W/m<sup>2</sup>.°C [3], como se demonstra no Quadro 4.8.

**Quadro 4.8 – Caracterização de elemento opaco horizontal exterior, com isolamento térmico fixado diretamente à estrutura resistente.**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência
Rsi			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC
1 Pavimento Cerâmico	0,01	1,30	0,01	pag I.10 ITE50 LNEC
2 Betonilha	0,04	1,30	0,03	pag I.7 ITE50 LNEC
3 Laje em Betão Armado	0,15	2,30	0,07	pag I.5 ITE50 LNEC
4 Isolante Térmico	0,07	0,037	1,89	pag I.3 ITE50 LNEC
5 Reboco	0,02	1,30	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC
Rse			0,04	pag I.11 ITE50 LNEC
Espessura Total	0,29			
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,45</b>	

Uref = 0,50 (W/m <sup>2</sup> .°C)
------------------------------------

Se o pavimento se localizar sobre um espaço não útil com  $\tau < 0,7$ , para satisfazer o coeficiente de transmissão térmica de referência, de elementos opacos horizontais interiores em zona corrente, ou seja 1,00 W/m<sup>2</sup>.°C [3], é necessário utilizar uma camada de isolamento térmico com 2 cm de espessura, como se demonstra no Quadro 4.9.

**Quadro 4.9 – Caracterização de elemento opaco horizontal interior em contacto com espaço não útil com  $\tau < 0,7$ , com isolamento térmico fixado diretamente à estrutura resistente.**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência
Rsi			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC
1 Pavimento Cerâmico	0,01	1,30	0,01	pag I.10 ITE50 LNEC
2 Betonilha	0,04	1,30	0,03	pag I.7 ITE50 LNEC
3 Laje em Betão Armado	0,15	2,30	0,07	pag I.5 ITE50 LNEC
5 Isolante Térmico	0,02	0,037	0,54	pag I.3 ITE50 LNEC
6 Reboco	0,02	1,30	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC
Rse			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC
Espessura Total	0,24			
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>1,00</b>	

$U_{ref} = 1,00$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
---

#### 4.4 – Soluções construtivas em vãos envidraçados

Apesar da caixilharia representar uma pequena proporção da envolvente de um edifício de habitação, as suas funções são muito importantes. A caixilharia suporta os painéis de vidro duplo que constituem as áreas envidraçadas e garante a estanquicidade dos espaços interiores, contribuindo para a otimização do desempenho energético do edifício.

Com o desenvolvimento tecnológico o vidro tem adquirido qualidades, que contribuem para otimizar o desempenho energético dos edifícios, ao ponto de existirem sistemas envidraçados que possuem um grau de desempenho energético equivalente ao de uma parede maciça [13].

Hoje em dia já é possível aumentar as áreas envidraçadas em proporção às áreas opacas da fachada, de forma a obter um maior grau de luminosidade sem prejudicar o desempenho energético do edifício. Para se conter o consumo de energia e as respetivas emissões de CO<sub>2</sub>, é necessário que se estabeleça um equilíbrio adequado entre áreas opacas cuja inércia térmica armazena a temperatura média do clima e áreas envidraçadas que permitem uma interação imediata com a radiação solar e a temperatura exterior.

No caso de aplicação de vidros duplos é aconselhável que o vidro exterior possua 8 mm de espessura, a caixa de ar possua 10 mm de espessura e o vidro interior possua 6 mm de espessura, pois desta forma é possível obter uma redução ( $R_w$ ) de 35 dB de ruído do exterior para o interior [13]. Contudo é de referir que para assegurar o referido nível de redução sonora, é necessário garantir que as frinchas são bem vedadas.

É importante dotar as janelas de um elemento de proteção pelo exterior, permitindo controlar as trocas energéticas entre o interior e o exterior. As janelas orientadas a Nascente, Sul e Poente devem possuir sistemas de sombreamento exterior, cujo objetivo é cortar a incidência dos raios solares antes de atravessarem o vidro. Existe hoje em dia uma grande variedade de elementos de sombreamento, como por exemplo as palas, beirados, toldos, persianas, estores de enrolar, estores metálicos, etc. Contudo deve-se optar por aquele que melhor se integre no contexto cultural e climático, devendo ter a capacidade de proteger os vãos envidraçados da radiação indesejada, permitir uma boa ventilação, ser orientável para permitir vários graus de proteção da radiação solar, consoante a inclinação dos raios solares e contribuir para a redução de perdas de calor no inverno através da oclusão noturna.

Um bom sistema de sombreamento é o sistema de estores exteriores orientáveis para obscurecimento. É constituído por lamelas em alumínio que deslizam em calhas laterais, comandadas de forma manual, ou por motor elétrico. Este sistema permite orientar as lâminas de forma a excluir a radiação indesejada, ventilar os espaços interiores e deixar ver o exterior [14]. De acordo com a referência bibliográfica mencionada, o sistema de estores exteriores orientáveis reflete 80% dos raios solares e permite controlar a qualidade da iluminação natural no interior.

Quando é possível projetar para além do plano da fachada, as palas de sombreamento revelam ser uma solução muito eficiente.

A escolha da caixilharia e do tipo de vidro para os vãos envidraçados, é muito importante na obtenção de um bom comportamento térmico do edifício. Os dois tipos de soluções que apresentam valores menores para o coeficiente de transmissão térmica, são as caixilharias em PVC com vidro duplo de baixa emissividade, com 16 mm de espessura na lâmina de ar e permeabilidade baixa e as caixilharias em madeira com vidro duplo de baixa emissividade, com 16 mm de espessura na lâmina de ar e permeabilidade baixa. Para ambas as soluções o valor do coeficiente de transmissão térmica aproxima-se de  $2 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  [15].

A madeira é um material ecológico, durável e bastante resistente, se receber o tratamento adequado não necessita de manutenção. É ilustrada na Figura 4.15, uma solução de caixilharia em madeira maciça [16].



**Figura 4.15 – Caixilharia em madeira maciça**

O PVC é um material bastante resistente, moderadamente durável e reciclável. É ilustrada na Figura 4.16, uma solução de caixilharia em PVC [17].



**Figura 4.16 – Caixilharia em PVC**

O alumínio é um material bastante resistente e durável com acabamento de preferência anodizado, no entanto tem uma grande energia incorporada e tem um grande impacto no aquecimento global. O coeficiente de transmissão térmica das caixilharias em alumínio é mais elevado que no caso das caixilharias em PVC ou madeira. É ilustrada na Figura 4.17, uma solução de caixilharia em alumínio [18].

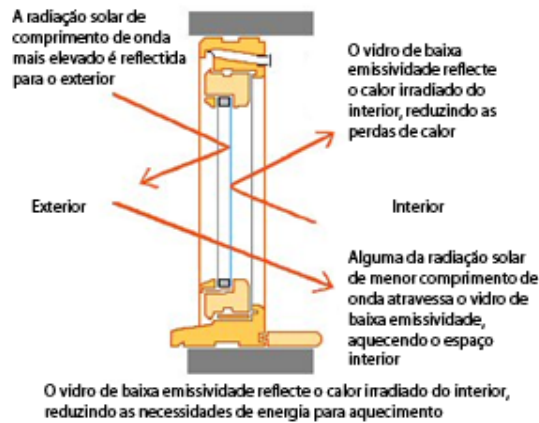


**Figura 4.17 – Caixilharia em alumínio**

Para melhorar o comportamento, ao nível da transmissão térmica, das caixilharias em alumínio, foram criados os perfis de alumínio com rutura da ponte térmica. Um perfil com rutura da ponte térmica é na realidade constituído por dois perfis independentes, unidos por peças de poliamida. Esta solução garante que se consegue o isolamento térmico entre o elemento do exterior e o do interior. A utilização de perfis com rutura da ponte térmica permite aumentar o nível de conforto interior, através da melhoria do isolamento térmico e da redução da condensação no interior.

De referir também que quando é utilizado um tipo de caixilharia mais estanque, as renovações de ar essenciais para a salubridade do ar interior, podem ser conseguidas através de ventilação natural, através de grelhas de ventilação incorporadas no vão envidraçado, ou em outro local da envolvente exterior do edifício, ou também através de ventilação mecânica adequada.

Relativamente ao tipo de vidro a utilizar em vãos envidraçados, é de referir que o vidro de baixa emissividade, que pode também ser designado de vidro de isolamento térmico reforçado, permite um ótimo isolamento térmico ao reduzir as perdas de calor [19], como se esquematiza na Figura 4.18.



**Figura 4.18 – Vidro de baixa emissividade**

#### **4.5 – Soluções construtivas em portas exteriores**

Existem inúmeras soluções disponíveis no mercado para portas exteriores. Se é pretendida uma porta que possibilite um bom isolamento térmico, associado à luminosidade e durabilidade, pode-se escolher uma porta do tipo “Fichet, modelo Forstyl S”. Esta porta, ilustrada na Figura 4.19, é uma barreira eficaz contra o frio, possui dupla rutura de ponte térmica (folha e aro, duas juntas de vedação e uma alma isolante de 50 mm) e apresenta um coeficiente de transmissão térmica (com vidro) de  $2,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}$  [20].



**Figura 4.19 – Porta Fichet modelo Forstyl S [20]**

Se é pretendida uma porta que possibilite um bom isolamento térmico, associado à alta segurança e durabilidade, pode-se escolher uma porta do tipo “Fichet, modelo Forstyl HiS”.



Esta porta, ilustrada na Figura 4.20, é inteiramente concebida para uma defesa de alto nível em ambiente exterior, possui dupla rutura de ponte térmica (folha e aro) e apresenta um coeficiente de transmissão térmica (sem vidro) de  $1,7 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$  [20].



**Figura 4.20 – Porta Fichet modelo Forstyl HiS [20]**

Ambas as soluções aliam o aço ao alumínio, conseguindo uma maior resistência tanto à intrusão como às intempéries.

#### **4.6 – Isolamentos térmicos**

Um isolante térmico é um material de condutibilidade térmica inferior a  $0,065 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ , ou cuja resistência térmica é superior a  $0,30 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$  [3].

O isolamento térmico é utilizado na construção de edifícios em Portugal desde a década de 50 e obrigatório no setor da construção desde 1991. O isolamento térmico pode ser aplicado pelo interior das paredes da envolvente de um edifício, pelo exterior e até na caixa de ar entre paredes duplas.

No caso de aplicação de um sistema de isolamento térmico de forma contínua pelo exterior dos edifícios em paredes exteriores, pavimentos e coberturas, as vantagens são:

- Eliminação de todas as pontes térmicas.
- Proteção da estrutura do edifício e de todos os materiais que compõem a envolvente, contra intempéries e extremos de temperatura.

- Aumento da inércia térmica, contribuindo para que as temperaturas no edifício se mantenham estáveis e dentro das amplitudes térmicas médias do clima mediterrânico.
- Permite realizar mais facilmente a reabilitação energética de um edifício antigo, sendo necessário apenas garantir que o isolamento adira permanentemente à superfície exterior existente.

Para aplicação de um sistema de isolamento pelo exterior é necessário salvaguardar algumas características, entre elas que o isolante térmico seja durável e possua a espessura adequada para a respetiva aplicação. O revestimento do sistema de isolamento térmico, aplicado de forma contínua pelo exterior, deverá garantir a permeabilidade ao vapor de água e a impermeabilidade à água em estado líquido.

A aplicação do sistema inicia-se com a colagem por pontos de argamassa, das placas de isolamento térmico sobre a face exterior da parede desempenada e limpa. Sobre a superfície das placas é aplicada uma tela tecida de vidro embebida numa primeira camada de argamassa e recoberta com uma segunda camada da mesma, para garantir uma adequada resistência aos impactos mecânicos.

Se o sistema de isolamento térmico for aplicado na caixa de ar de uma parede dupla, é importante minimizar as pontes térmicas, que causam o aparecimento de condensações e fungos em paredes interiores. As pontes térmicas contribuem para o balanço energético negativo do edifício, obrigando a soluções que minimizem as mesmas.

Em obras em que o sistema de isolamento térmico é aplicado entre duas paredes de tijolo, acontece com frequência uma má execução, sendo “esquecida” a colocação de algumas placas, pois o isolante térmico encontra-se escondido entre os dois panos de tijolo dificultando a sua fiscalização. É necessário por isso reforçar a fiscalização durante a execução em obra, garantindo a aplicação de todo o material de isolamento térmico previsto.

A solução menos aconselhada é a aplicação do sistema de isolamento térmico pelo interior, pois desta forma a estrutura do edifício e muitos dos materiais pesados que compõem a envolvente, não ficam protegidos dos contrastes e extremos de temperatura e das intempéries, levando à redução da longevidade e da integridade física dos materiais fundamentais, e conduzindo a uma classe de inércia térmica mais fraca.

Podem ser utilizados vários tipos de isolantes térmicos na construção civil, com características distintas. Apresentam-se de seguida alguns dos isolantes utilizados atualmente [10]:

- Espuma de vidro – pode ser rebocado com cal hidráulica, é ecológico, durável, incombustível, tolera bem a água parada, resiste bem à compressão e é impermeável ao vapor de água.
- Aglomerado negro de cortiça – é ecológico, durável, permeável ao vapor de água e impermeável à água.
- Poliestireno expandido – é muito económico, permeável ao vapor de água e impermeável à água.
- Poliestireno extrudido – não é permeável ao vapor de água.
- Poliuretano – pode ser injetado ou projetado e cobre com facilidade superfícies irregulares.
- Lã de rocha – é muito resistente ao fogo e não deve ficar exposto.
- Fibras de coco – é um produto natural, ecológico e flexível.
- Lâmina refletora de poliéster mais espuma de poliéster, ou mais filme alveolar – é um isolante pouco espesso, contudo como funciona por reflexão, implica que a sua superfície esteja isenta de poeiras, o que é difícil de assegurar.
- Pasta de papel e gesso – confere uma boa proteção ao fogo nomeadamente a estruturas metálicas, contudo não tolera bem a humidade.
- Aglomerado de fibras têxteis.
- Lã de vidro – é muito resistente ao fogo.
- Argila expandida.
- Betão alveolar.
- Aglomerado de fibras de abeto – pode ser colocado nas cofragens na fase de betonagem para isolamento de elementos de betão.
- Aglomerado de resíduos de espuma.

#### **4.7 – Soluções construtivas para reduzir as pontes térmicas**

As soluções construtivas que se ilustram seguidamente, são exemplos de soluções que permitem reduzir o efeito das pontes térmicas, considerando a utilização de paredes duplas com isolamento térmico na caixa de ar, que é a solução mais utilizada em paredes exteriores de edifícios de habitação unifamiliares em Portugal. Nas soluções construtivas são utilizados diferentes tipos de isolantes térmicos, consoante o local de aplicação considerado.

A preocupação em utilizar soluções construtivas, que permitam reduzir as pontes térmicas em edifícios, tem aumentado nos últimos anos, através por exemplo da utilização de forra cerâmica

no revestimento exterior de elementos estruturais em betão armado, associado à utilização de isolamento térmico, como se ilustra na Figura 4.21.



**Figura 4.21 – Forra cerâmica no revestimento exterior de elementos estruturais em betão armado**

#### **4.7.1 – Ligação da fachada com pavimento térreo**

Na Figura 4.22 é ilustrado um pormenor construtivo na zona de ligação da fachada com pavimento térreo. O material de isolamento térmico utilizado na caixa de ar da parede dupla e no pavimento térreo, é aglomerado negro de cortiça. Este material para além de ter a vantagem de ser produzido em Portugal, onde existe abundância de cortiça, é também muito ecológico, durável, resiste bem à compressão, é permeável ao vapor de água mas impermeável à água. O isolante térmico utilizado como base de suporte do pano interior é o tijolo de espuma de vidro, que resiste muito bem à compressão e tolera bem a água parada [10].

O valor do coeficiente de transmissão térmica linear a utilizar neste caso, é  $0,45 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ , de acordo com a Tabela Ar, da Tabela IV.3 do RCCTE, pois o isolante térmico localiza-se na caixa de ar de paredes duplas, o pavimento térreo possui isolante térmico, a diferença de cota entre o pavimento interior e o terreno exterior é  $0,15 \text{ cm}$  e a espessura da laje (ep) é  $10 \text{ cm}$ , considerando apenas a espessura até ao isolante térmico, de acordo com a resposta à questão I.10 das Perguntas e Respostas sobre o RCCTE da Adene, versão 2.0 de maio de 2011 [21].

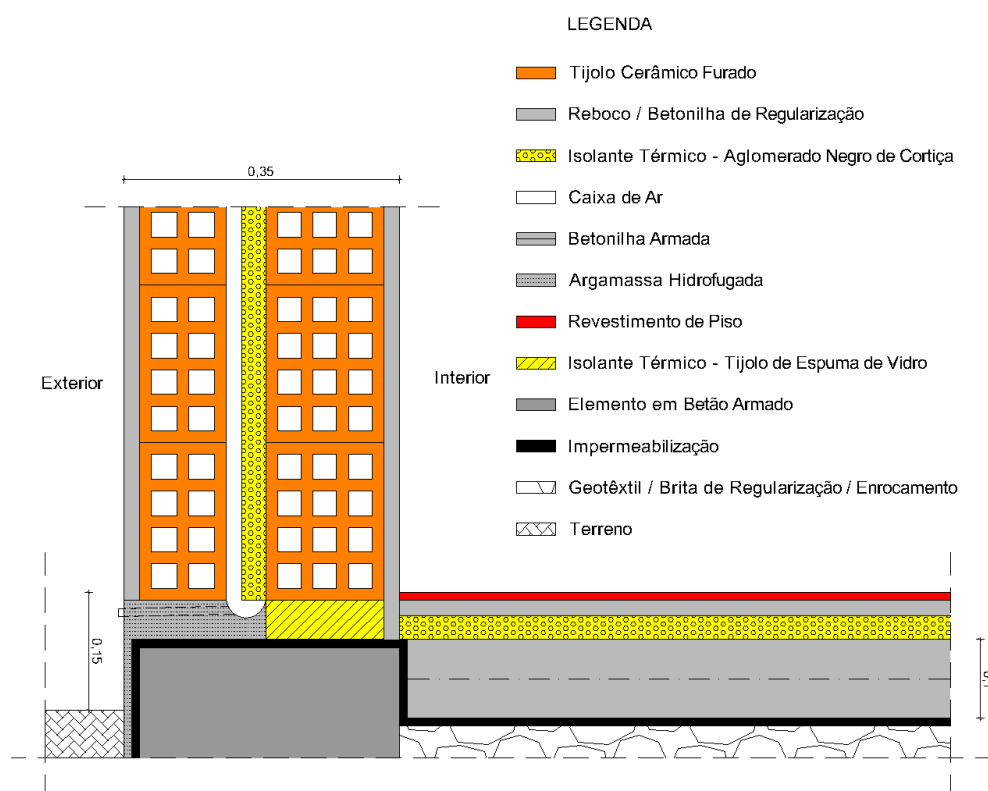


Figura 4.22 – Ligação da fachada com pavimento térreo, adaptado de [10]

#### 4.7.2 – Ligação da fachada com pavimento sobre local não aquecido

Na Figura 4.23 é ilustrado um pormenor construtivo na zona de ligação da fachada com pavimento sobre local não aquecido. O material de isolamento térmico utilizado na caixa de ar da parede dupla e no pavimento sobre local não aquecido, é aglomerado negro de cortiça. O isolante térmico utilizado como base de suporte do pano interior é tijolo de espuma de vidro. O isolante térmico utilizado no talão de viga e na laje em betão armado é aglomerado de fibras de

abeto, que pode ser colocado nas cofragens na fase de betonagem para isolamento de elementos em betão e que permite uma boa aderência dos rebocos tradicionais [10].

O valor do coeficiente de transmissão térmica linear a utilizar neste caso, é  $0,55 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ , de acordo com a Tabela Br.2, da Tabela IV.3 do RCCTE, pois o isolante térmico localiza-se na caixa de ar de paredes duplas e a espessura da laje ( $e_p$ ) é 18 cm.

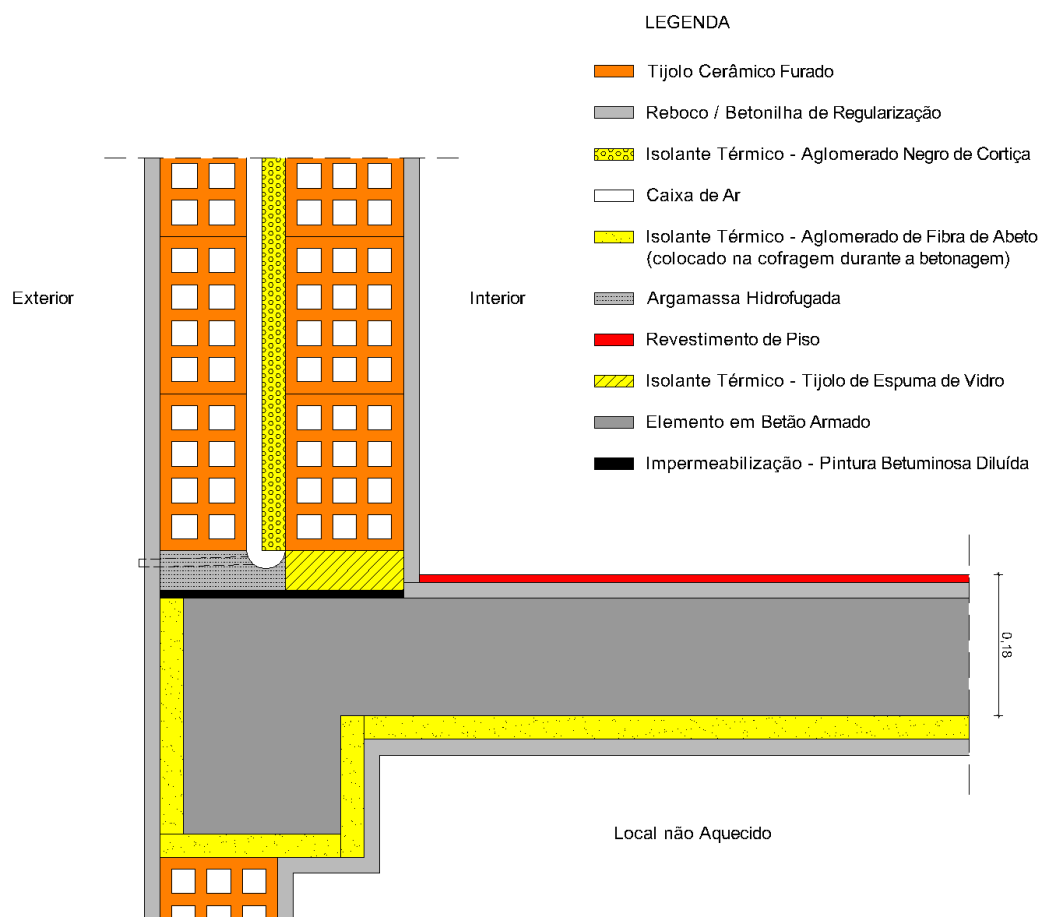


Figura 4.23 – Ligação da fachada com pavimento sobre local não aquecido, adaptado de [10]

#### 4.7.3 – Ligação da fachada com cave habitável

Na Figura 4.24 é ilustrado um pormenor construtivo na zona de ligação da fachada com cave habitável. Tendo em conta que a cave é habitável, a laje de separação entre o interior e a cave habitável, pode ser considerada como um pavimento intermédio.

O valor do coeficiente de transmissão térmica linear a utilizar neste caso, é  $0,50 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ , de acordo com a Tabela Cr, da Tabela IV.3 do RCCTE, pois o isolante térmico localiza-se na caixa de ar de paredes duplas com mais de 30 cm de espessura e a espessura da laje ( $e_p$ ) é 25 cm.

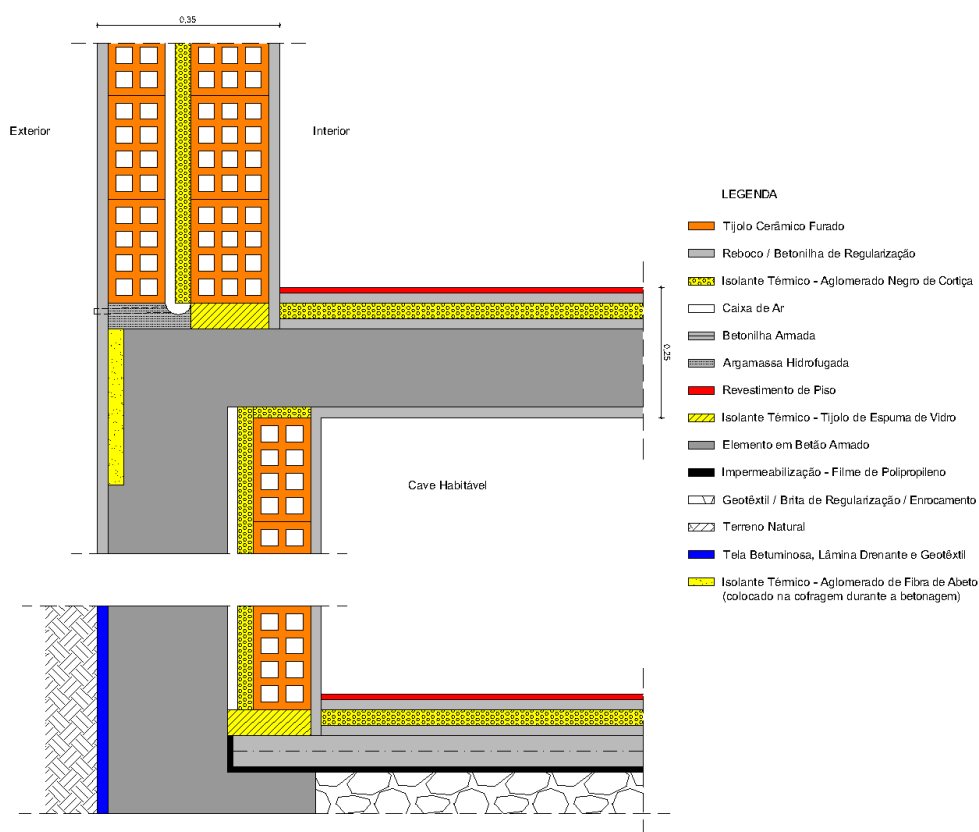


Figura 4.24 – Ligação da fachada com cave habitável, adaptado de [10]

#### 4.7.4 – Ligação da fachada com pavimento intermédio

Na Figura 4.25 é ilustrado um pormenor construtivo na zona de ligação da fachada com pavimento intermédio.

O valor do coeficiente de transmissão térmica linear a utilizar neste caso, é  $0,40 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ , de acordo com a Tabela Cr, da Tabela IV.3 do RCCTE, pois o isolante térmico localiza-se na caixa de ar de paredes duplas com mais de 30 cm de espessura e a espessura da laje ( $e_p$ ) é 20 cm.

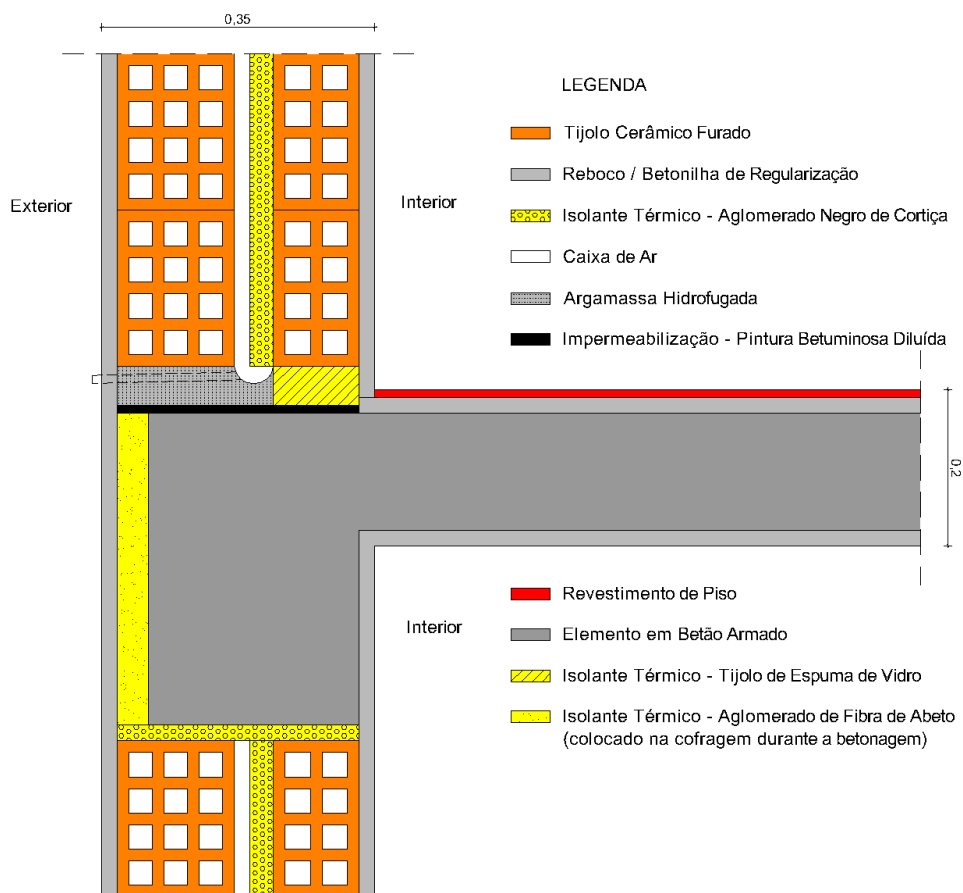


Figura 4.25 – Ligação da fachada com pavimento intermédio, adaptado de [10]

#### 4.7.5 – Ligação entre duas paredes verticais

Na Figura 4.26 é ilustrado um pormenor construtivo na zona de ligação entre duas paredes verticais.

O valor do coeficiente de transmissão térmica linear a utilizar neste caso, é  $0,20 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ , de acordo com a Tabela Fr, da Tabela IV.3 do RCCTE, pois o isolante térmico localiza-se na caixa de ar de paredes duplas, com 36 cm de espessura.



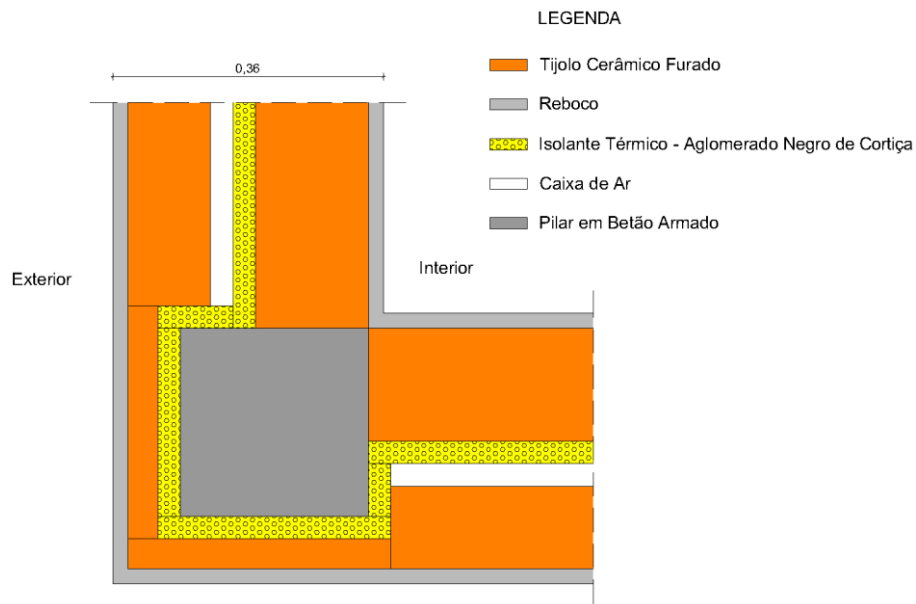


Figura 4.26 – Ligação entre duas paredes verticais, adaptado de [10]

#### 4.7.6 – Ligação da fachada com cobertura plana

Na Figura 4.27 é ilustrado um pormenor construtivo na zona de ligação da fachada com cobertura plana visitável.

O valor do coeficiente de transmissão térmica linear a utilizar neste caso, é  $0,70 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ , de acordo com a Tabela Dr, da Tabela IV.3 do RCCTE, pois o isolante térmico localiza-se na caixa de ar de paredes duplas e a espessura da laje ( $e_p$ ) é 25 cm.

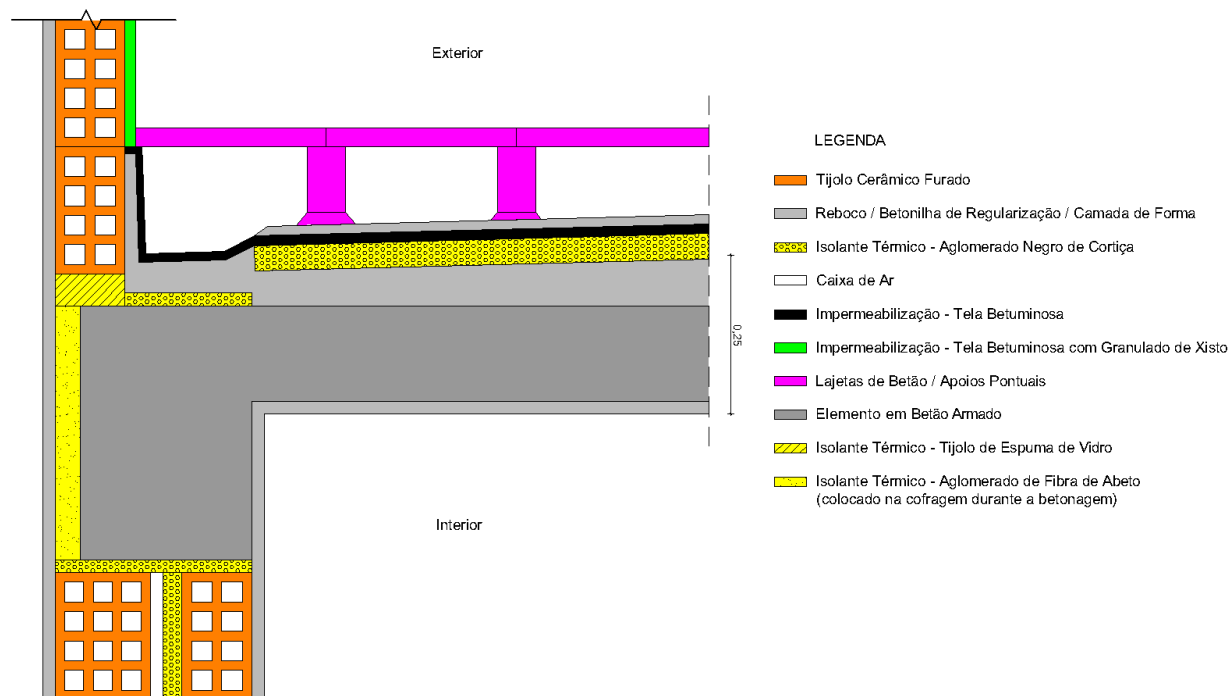


Figura 4.27 – Ligação da fachada com cobertura plana visitável, adaptado de [10]

Na Figura 4.28 é ilustrado um pormenor construtivo na zona de ligação da fachada com cobertura plana não visitável.

O valor do coeficiente de transmissão térmica linear a utilizar neste caso, é  $0,70 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ , de acordo com a Tabela Dr, da Tabela IV.3 do RCCTE, pois o isolante térmico localiza-se na caixa de ar de paredes duplas e a espessura da laje ( $e_p$ ) é 25 cm.

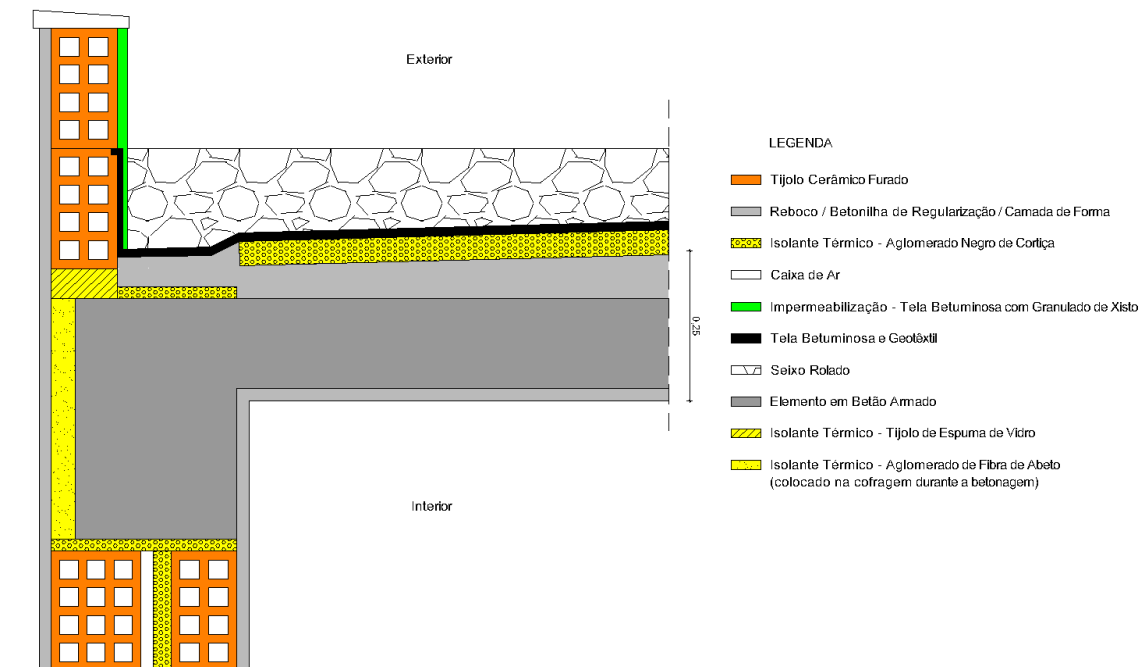


Figura 4.28 – Ligação da fachada com cobertura plana não visitável, adaptado de [10]

#### 4.7.7 – Ligação da fachada com cobertura inclinada

Na Figura 4.29 é ilustrado um pormenor construtivo na zona de ligação da fachada com cobertura inclinada em estrutura monolítica.

O valor do coeficiente de transmissão térmica linear a utilizar neste caso, é  $0,50 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ , de acordo com a Tabela Dr, da Tabela IV.3 do RCCTE, pois o isolante térmico localiza-se na caixa de ar de paredes duplas e a espessura da laje ( $e_p$ ) é 12 cm.

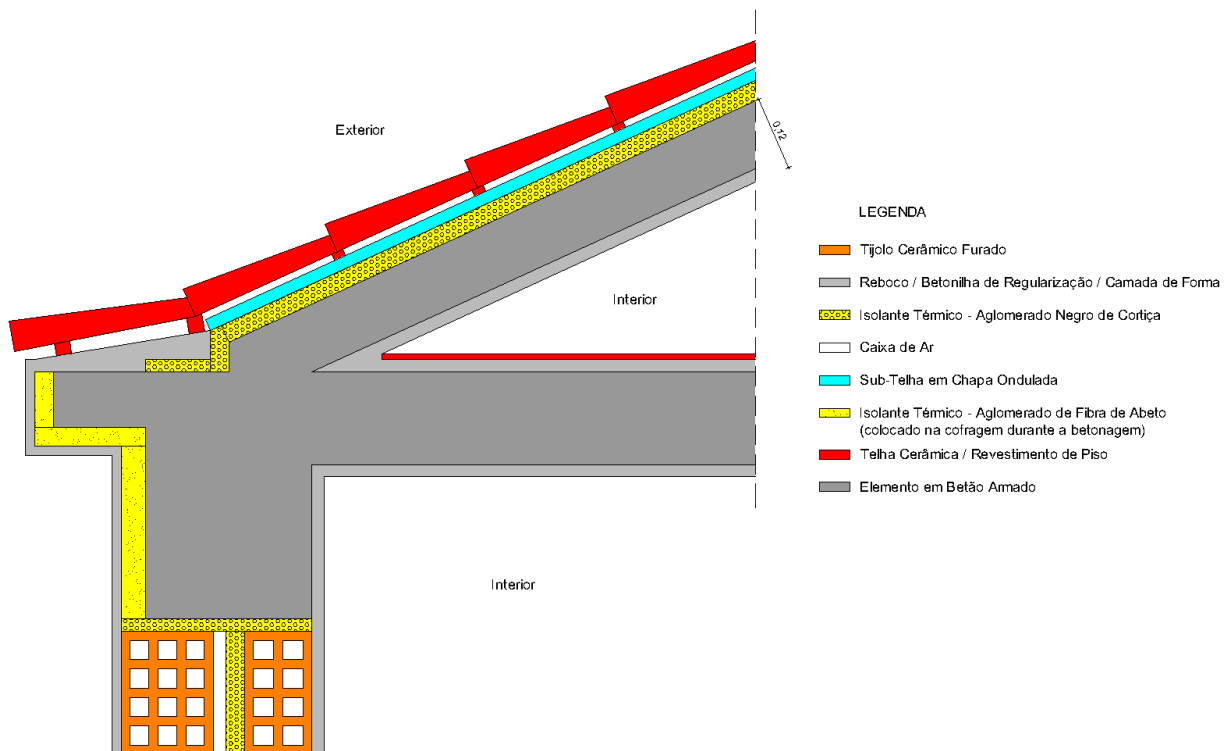


Figura 4.29 – Ligação da fachada com cobertura inclinada em estrutura monolítica, adaptado de [10]

#### 4.7.8 – Ligação da fachada com varanda / caixa de estore

Na Figura 4.30 é ilustrado um pormenor construtivo na zona de ligação da fachada com varanda e caixa de estore.

O valor do coeficiente de transmissão térmica linear a utilizar relativamente à ligação entre a fachada e a varanda, é  $0,80 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ , de acordo com a Tabela Er, da Tabela IV.3 do RCCTE, pois o isolante térmico localiza-se na caixa de ar de paredes duplas, com 35 cm de espessura e a espessura da laje ( $e_p$ ) é 25 cm.

O valor do coeficiente de transmissão térmica linear a utilizar relativamente à ligação entre a fachada e a caixa de estore, é  $0,00 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ , de acordo com a Tabela Ge, da Tabela IV.3 do RCCTE, dado que o isolante térmico se localiza pelo exterior do talão de viga em betão armado e é considerada uma resistência térmica do isolante da caixa de estore superior a  $0,5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ .

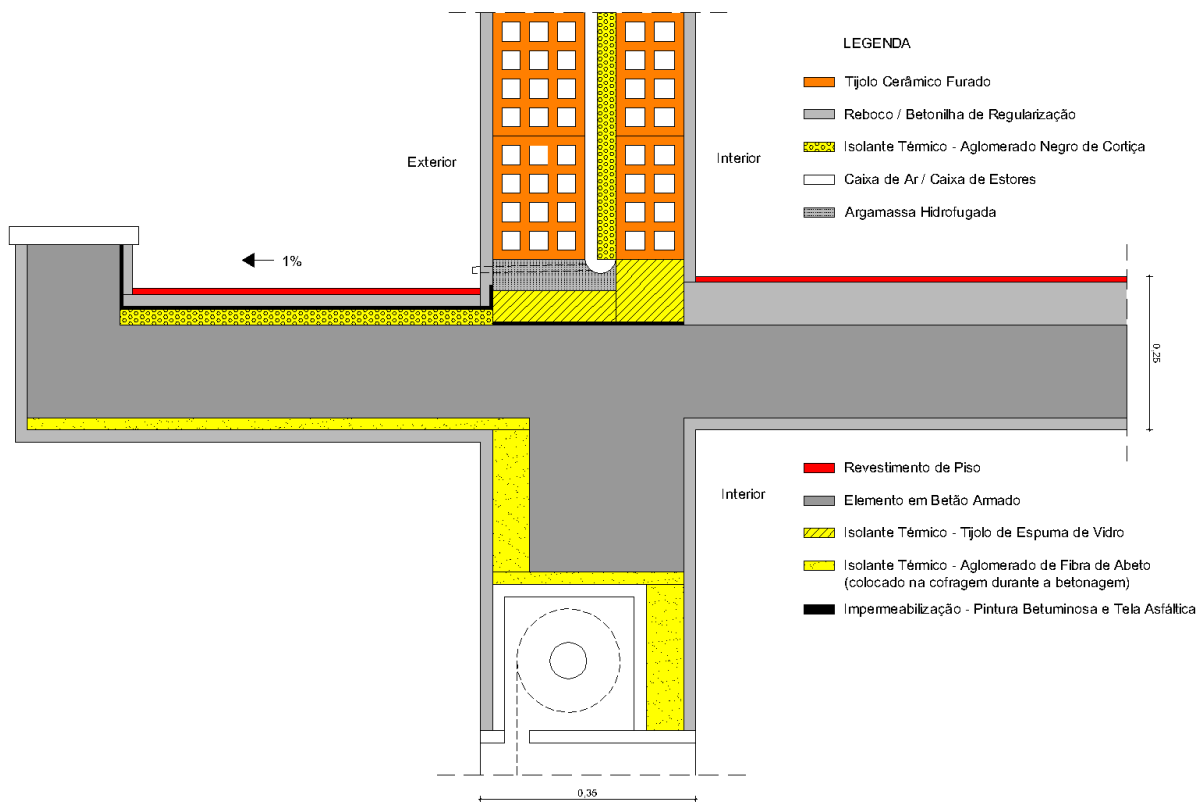


Figura 4.30 – Ligação da fachada com varanda / caixa de estore, adaptado de [10]

#### 4.8 – A importância da inércia térmica e da permeabilidade da envolvente ao vapor

O termo “inércia térmica” refere-se à capacidade de um elemento armazenar calor e só libertá-lo ao fim de certo tempo [7]. Uma classe de inércia térmica forte, potenciada pela utilização de um sistema de isolamento térmico aplicado pelo exterior, permite evitar que os extremos de temperatura afetem diretamente o armazenamento das temperaturas médias do clima e por sua vez o ambiente interior. É importante conjugar a inércia térmica com a ventilação natural principalmente durante as noites de verão, pois permite a libertação do calor acumulado nos materiais pesados e conseqüentemente o restabelecimento da capacidade de acumular e absorver o calor excessivo durante o dia seguinte, assegurando um ambiente interior confortável. A inércia térmica é uma medida essencial para a otimização do desempenho

energético de edifícios em toda a faixa de clima mediterrâneo, porque constitui uma fonte de energia térmica estabilizante durante toda a duração dos edifícios.

Por outro lado é de extrema importância que todos os edifícios possam “respirar”, ou seja que a envolvente construída permita a saída do vapor do interior para o exterior. É importante que os sistemas construtivos empregues na envolvente dos edifícios sejam permeáveis ao vapor (estruque, betão, tijolos, rebocos, isolantes térmicos, tintas para interior e exterior). Se existir um sistema de isolamento térmico aplicado pelo exterior, deverá ser garantida a permeabilidade ao vapor, possibilitando a troca gasosa, e a impermeabilidade à água. Isto poderá ser assegurado se a composição do revestimento exterior tiver base acrílica [22].

É importante que as tintas exteriores não sejam “impermeabilizantes”, é um erro considerar a utilização deste tipo de tintas, como solução para eliminar a humidade no interior de uma habitação. Devido às atividades humanas diárias é gerado um volume de água no interior das habitações, se forem aplicadas tintas que não sejam permeáveis ao vapor essa água fica retida, levando a condensações, ao aparecimento de humidade e de fungos. A solução passa por ventilar os edifícios, quer por via natural, mecânica ou por combinação dos dois processos, de modo a assegurar as condições de higiene e salubridade do ar interior.

#### **4.9 – Sistemas convencionais para águas quentes sanitárias**

A energia utilizada para o aquecimento das águas quentes sanitárias, corresponde a cerca de 25% da energia que consumimos nas nossas casas [23]. Para o efeito as fontes de energia normalmente utilizadas são a eletricidade, o gás propano, o gás butano e o gás natural, sendo este último benéfico no que diz respeito às emissões de CO<sub>2</sub>, relativamente aos outros tipos de gás.

Os principais sistemas convencionais de produção de AQS são os esquentadores, as caldeiras murais e os termoacumuladores elétricos e a gás. Na ausência de informação mais precisa sobre o sistema considerado, são considerados os valores indicados no número 3 do Anexo VI do RCCTE, para a eficiência de conversão do sistema de preparação das AQS ( $\eta_a$ ). Os termoacumuladores elétricos com pelo menos 100 mm de isolamento térmico, possuem eficiência de 95%, que é superior à eficiência de 87% das caldeiras murais com acumulação, com pelo menos 100 mm de isolamento térmico e à eficiência de 50% dos esquentadores a gás. No entanto existem no mercado esquentadores compactos a gás com exaustão ventilada,

que possuem eficiência de 75% a 30% da carga nominal, como por exemplo o esquentador sensor ventilado WTD KME da Vulcano [24].

#### **4.10 – Energia solar nos edifícios**

Com a necessidade crescente de recurso às energias renováveis nos dias de hoje, prevê-se um bom desempenho no mercado dos sistemas de energia solar num futuro muito próximo. Estes sistemas são compatíveis com as melhores práticas ambientais e possuem características de economia.

Na construção em Portugal nota-se uma adesão cada vez maior a sistemas solares térmicos para produção de AQS. Desde que a exposição solar seja adequada é obrigatório o recurso a estes sistemas. Considera-se que existe exposição solar adequada sempre que a cobertura do edifício, em terraço ou inclinada no quadrante Sul, não seja sombreada por obstáculos significativos entre o período que compreende duas horas depois do nascer do sol e duas horas antes do ocaso [21]. Tendo em conta que Portugal apresenta, pela sua localização geográfica, valores de energia solar média diária de cerca de 436 mil GWh [25], correspondendo a duas vezes a energia que o país consome, é extremamente importante aproveitar este tipo de energia renovável.

As tecnologias de conversão da energia solar em energia térmica têm diferentes desenvolvimentos em função das gamas de temperatura necessárias. Para as aplicações que requerem baixas temperaturas (até 90/100C°), tipicamente para aquecimento de água (cujas necessidades podem ser colmatadas em cerca de 80 por cento), existem tecnologias bem desenvolvidas, nomeadamente coletores estacionários, planos ou do tipo CPC (coletores parabólicos compostos) de baixa concentração [25]. A energia solar térmica para aquecimento de água a baixa temperatura é vantajosa, quer do ponto de vista económico, quer ambiental, contribuindo para a redução das emissões nacionais dos gases de efeito de estufa, levando ao cumprimento do estipulado no âmbito do Protocolo de Quioto [25].

Uma das soluções existentes para aproveitamento das energias renováveis, é o sistema Energy Management System (EMS) desenvolvido pela empresa alemã IMMOSOLAR AG, que se baseia na combinação de energia solar, geotermia e bomba de calor. Para além de permitir a utilização de energia solar para água quente sanitária, aquecimento central e climatização de piscinas, o EMS acrescenta a função de arrefecimento. Este sistema responde às necessidades térmicas do edifício ao longo do ano inteiro, utilizando coletores solares de alto

rendimento, com superfície seletiva absorvente em TINOX, permitindo-lhes produzir energia mesmo em condições de radiação difusa [25].

Para além dos sistemas solares térmicos, existem também os sistemas fotovoltaicos, normalmente integrados nas fachadas a sul dos edifícios. Os painéis fotovoltaicos são constituídos na maior parte por silício multicristalino e permitem o fornecimento direto de energia ao edifício.

Existem alguns fatores que podem influenciar o desempenho de uma instalação solar, entre eles destacam-se o clima, a superfície de captação e rendimento dos coletores solares, a eficiência do sistema de intercâmbio e o volume do acumulador solar.

No caso dos painéis solares térmicos existem algumas soluções no mercado, entre elas a nova geração de painéis solares Vulcano, que permitem maximizar o rendimento proveniente da energia libertada pelo sol, em qualquer situação de exposição solar. Esta solução pode ser complementada com estruturas de suporte (adaptam-se a qualquer especificidade de instalação), depósitos (garantem a acumulação de água para uso sanitário), grupo de circulação, reguladores e restantes acessórios (para correto funcionamento da solução solar), esquentadores e caldeiras (para garantir a existência de água quente, quando a energia solar não for suficiente) e caldeiras para proporcionar todo o conforto originado pelo aquecimento central [24].

Existem várias gamas de painéis solares Vulcano, desde painéis altamente seletivos, com rendimento mais elevado, a painéis semiseletivos, que se apresentam como a solução mais económica em instalações com clima ameno [24].

Uma das questões que geralmente é apontada como obstáculo à utilização de tecnologias limpas para recursos energéticos é o preço. Apesar da obrigatoriedade legislativa, a atual crise económica ainda não possibilitou um crescimento significativo, contudo este vai sendo gradual. Em 2003 foram produzidos 3 GWh de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos em Portugal Continental, já em 2010 foram produzidos 213 GWh e em 2011 foram produzidos 265 GWh, dos quais 78 GWh através de microprodução [26]. Em 2007 os sistemas fotovoltaicos produziram 0,1% da energia renovável em Portugal Continental e em 2011 o valor chegou aos 1,1% [26].



#### **4.11 – Reabilitação energética dos edifícios**

A reabilitação energética de um edifício existente, tem por objetivo melhorar a qualidade térmica e racionalizar a gestão da energia, conferindo ao edifício uma eficiência energética idêntica à de um edifício novo para o mesmo fim [1]. A eficiência energética de um edifício pode ser conseguida através de várias medidas corretivas destinadas a corrigir as deficiências por ele apresentadas, que variam de caso para caso. É necessário começar por caracterizar o desempenho energético do edifício e diagnosticar as deficiências apresentadas.

Inicialmente é preciso ter em conta as exigências regulamentares, aquando do estabelecimento da estratégia de intervenção, que melhor possa servir os interesses do dono do edifício. Seguidamente é necessário escolher as medidas corretivas que permitam atingir o objetivo pretendido com o mínimo de custos financeiros, estéticos, culturais e ambientais.

As principais medidas para conseguir a eficiência energética de um edifício existente são o reforço da proteção térmica de coberturas, pavimentos sobre espaços não úteis e paredes exteriores, reforço das propriedades dos vãos envidraçados, recurso a painéis solares térmicos e fotovoltaicos, utilização da capacidade de armazenamento térmico dos materiais, ventilação natural, dispositivos de captação de luz natural, sistemas de sombreamento e adoção de equipamentos de baixo consumo.

A metodologia a adotar na reabilitação energética de edifícios, deverá iniciar-se pela deteção da necessidade de intervenção, através de um exame preliminar. Se for necessária uma intervenção procede-se a um exame pormenorizado, contemplando o levantamento e caracterização da construção, a sua envolvente e as anomalias diagnosticadas. Segue-se a seleção da estratégia de intervenção, com base numa análise custo/benefício, elaboração do projeto de execução pormenorizando as medidas corretivas e criando o plano de manutenção. Após a realização da intervenção deve proceder-se à avaliação dos resultados e monitorização. O plano de manutenção do edifício deve ser atualizado.

Com a reabilitação energética de edifícios existentes, pode contribuir-se para a redução da dependência energética do país e para o desagramento do orçamento das famílias.

#### **4.12 – Outras soluções para melhorar a eficiência energética**

A substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas de baixo consumo fluorescentes compactas, é uma das medidas mais fáceis e económicas para reduzir o consumo de energia em edifícios habitacionais. A sua vida útil é cerca de treze vezes superior à das lâmpadas incandescentes [27].

As luminárias de muito baixo consumo, denominadas de “Díodo Emissor de Luz”, LED, apresentam benefícios em relação às lâmpadas fluorescentes compactas, pois reduzem para um décimo o consumo de energia em comparação com as lâmpadas incandescentes, possuem um bom controlo da qualidade da luz emitida e longevidade até cinquenta vezes superior à das lâmpadas incandescentes convencionais, contudo são mais caras [27].

Grande parte do consumo de energia doméstica está concentrado na cozinha, em frigoríficos e congeladores (18%), em preparação de refeições (16%) e lavagem mecânica (6%). É aconselhável utilizar eletrodomésticos de classe A, A+, ou até A++, pois são muito eficientes no uso da energia, da água e em geral são silenciosos [27].

## **CAPÍTULO 5 – CASO DE ESTUDO**

### **5.1 – Introdução**

É de seguida aplicada a metodologia de verificação do RCCTE numa moradia unifamiliar localizada na zona climática  $V_3-I_1$ , não existente fisicamente, mas representativa da grande parte dos edifícios de habitação unifamiliares localizados na zona climática  $V_3-I_1$ . Considera-se que a moradia se encontra em banda com outras moradias idênticas, pois é a situação mais comum na construção em Portugal. Serão aplicadas várias soluções no edifício em questão, de modo a ser determinado qual é o tipo de contribuição de cada uma para a eficiência energética do mesmo.

O edifício em estudo é um T3 e possui cave, rés do chão e 1.º andar, totalizando apenas uma fração autónoma. A cave é composta por uma arrecadação e pela garagem. O rés do chão é composto por uma sala de refeições, uma sala, um escritório, uma instalação sanitária, uma cozinha e uma varanda. O 1.º andar é composto por três quartos, duas instalações sanitárias, um vestíbulo, um hall e duas varandas.

A estrutura do edifício é em betão armado, constituída por lajes maciças no teto da cave e aligeiradas de vigotas pré-esforçadas no teto do rés do chão e do 1.º andar, apoiadas em vigas que vão descarregar sobre pilares. As ações provenientes dos pilares são transmitidas ao solo de fundação através de sapatas e vigas de fundação.

No Anexo 1 são ilustradas as peças desenhadas relativas ao projeto de arquitetura e estabilidade da moradia em estudo.

### **5.2 – Elementos necessários para licenciamento e certificação**

De acordo com D.L. 80/2006 os elementos necessários para licenciamento e certificação de uma fração autónoma são os seguintes:

- Ficha n.º 1 – Demonstração da conformidade regulamentar para emissão da licença de construção incluindo mapa de valores nominais para o edifício.
- Ficha n.º 2 – Levantamento dimensional.

- Ficha n.º 3 – Comprovação de satisfação de requisitos mínimos para a envolvente de edifícios.
- Folhas de cálculo FC IV – Cálculo das necessidades de aquecimento:
  - Perdas associadas à envolvente exterior – Folha de cálculo FC IV.1a ( $Q_{ext}$ ,  $Q_{pe}$ ,  $Q_{pt}$ ).
  - Perdas associadas à envolvente interior – Folha de cálculo FC IV.1b ( $Q_{ina}$ ).
  - Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores – Folha de cálculo FC IV.1c ( $Q_{ext}$ ).
  - Perdas associadas à renovação do ar – Folha de cálculo FC IV.1d ( $Q_v$ ).
  - Ganhos úteis na estação de aquecimento (inverno) – Folha de cálculo FC IV.1e ( $Q_{gu}$ ).
  - Valor máximo das necessidades de aquecimento – Folha de cálculo FC IV.1f ( $N_i$ ).
  - Cálculo do indicador ( $N_{ic}$ ) – Folha de cálculo FC IV.2.
- Folhas de cálculo FC V – Cálculo das necessidades de arrefecimento:
  - Perdas – Folha de cálculo FC V.1a ( $Q_1^- + Q_3$ ).
  - Perdas associadas à cobertura e envidraçados exteriores - Folha de cálculo FC V.1b ( $Q_1^-$ ).
  - Ganhos solares pela envolvente opaca - Folha de cálculo FC V.1c ( $Q_1^+$ ).
  - Ganhos solares pelos envidraçados exteriores - Folha de cálculo FC V.1d ( $Q_2$ ).
  - Ganhos internos - Folha de cálculo FC V.1e ( $Q_4$ ).
  - Ganhos totais na estação de arrefecimento (verão) - Folha de cálculo FC V.1f.
  - Valor das necessidades nominais de arrefecimento ( $N_{vc}$ ) – Folha de cálculo FC V.1g.
- Ficha n.º 4 – Conformidade regulamentar para emissão de licença de utilização.

Para preenchimento da Ficha n.º 2 é necessário conhecer o projeto de arquitetura, de estabilidade e as soluções construtivas adotadas. Todas as soluções têm que cumprir os requisitos regulamentares a nível térmico e os seus pormenores de execução devem fazer parte das peças desenhadas.

Para realizar a verificação regulamentar deve-se começar por demonstrar, através da Ficha n.º 3, que as soluções construtivas propostas para o edifício respeitam os requisitos mínimos de qualidade térmica definidos no RCCTE, para todos os elementos da envolvente interior, exterior, zonas de ponte térmica plana e envidraçados.

Seguidamente devem-se calcular os valores para  $N_{ic}$ ,  $N_{vc}$ ,  $N_{ac}$  e  $N_{tc}$ , assim como demonstrar que não excedem os correspondentes valores limites de referência definidos no RCCTE ( $N_i$ ,  $N_v$ ,  $N_a$  e  $N_t$ ).

A Ficha n.º 4 é uma ficha de declaração de conformidade da construção face ao projeto, da responsabilidade da direção técnica da obra, e que é necessária para a emissão da licença de utilização do edifício.

Para além do preenchimento dos elementos atrás referidos, segundo o D.L. 78/2006, de 4 de abril, referente ao Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos edifícios (SCE), os edifícios devem ser objeto de certificação tendo em conta o seu desempenho energético e qualidade do ar interior, devendo ser preenchido o seu modelo de certificado energético, onde deve constar a sua classe de desempenho e o conjunto de medidas corretivas que possam melhorar esse desempenho.

### **5.3 – Descrição geral**

O edifício em estudo é um edifício residencial e considera-se que possui as fachadas orientadas a Norte, Este, Sul e Oeste. Apresenta uma área útil de pavimento, apenas para efeitos de RCCTE, de 148,65 m<sup>2</sup>, um pé-direito médio ponderado de 2,64 m e a ventilação processa-se de forma natural.

Para o cálculo do pé-direito médio ponderado, considerou-se que todas as divisões da moradia possuem um pé-direito médio de 2,60 m, à exceção das escadas que ligam o r/chão ao 1.º andar, cujo valor é 4,13 m. A obtenção deste valor resulta da média aritmética simples, entre o valor de pé direito mais elevado na zona de escadas e o menos elevado, ou seja,  $(5,66 m + 2,60 m)/2 = 4,13 m$ .

O pé-direito médio ponderado é calculado da seguinte forma:

$$\frac{(4,04 \text{ m}^2 \times 4,13 \text{ m}) + (144,61 \text{ m}^2 \times 2,60 \text{ m})}{(4,04 \text{ m}^2 + 144,61 \text{ m}^2)} = 2,64 \text{ m}$$

Considera-se que o sistema de climatização é constituído por um sistema multi-split, com bomba de calor. O sistema de produção de águas quentes sanitárias é constituído por um sistema solar térmico com coletores planos e depósito de acumulação instalado no interior. O sistema de apoio é um termoacumulador elétrico com menos de 50 mm de isolamento térmico e eficiência de 0,80. A rede de tubagem de distribuição de AQS não é isolada com pelo menos 10 mm de isolamento térmico.

O edifício tem elementos de separação entre espaços a climatizar e espaços não úteis, nomeadamente, as paredes em contacto com a caixa de escadas que liga a cave ao rés do chão, as paredes em contacto com edifícios adjacentes, o pavimento em contacto com a cave e a cobertura em contacto com o desvão com laje de esteira horizontal.

A caixa de escadas que liga a cave ao rés do chão, é um espaço não útil e apresenta uma relação  $A_i/A_u$  entre 1 e 10, o que corresponde a um coeficiente de redução de perdas ( $\tau$ ) de 0,3 de acordo com o ponto 1.1 da Tabela IV.1 do RCCTE. Considera-se que não existem aberturas diretas para o exterior na caixa de escadas.

Cálculo do quociente  $A_i/A_u$  para posterior determinação do valor do coeficiente  $\tau$  a utilizar para a caixa de escadas, que liga a cave ao rés do chão:

$$\frac{A_i}{A_u} = \frac{14,02 \text{ m}^2}{1,83 \text{ m}^2} = 7,66$$

em que  $A_i$  é a área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil e  $A_u$  é a área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior.

Como o valor de  $\tau$  a utilizar é inferior a 0,7, considera-se que as paredes em contacto com a caixa de escadas terão que cumprir requisitos de envolvente interior.

Os edifícios adjacentes são espaços não úteis, a que corresponde um coeficiente de redução de perdas ( $\tau$ ) de 0,6, independentemente do tipo de relação  $A_i/A_u$ , de acordo com o ponto 3 da Tabela IV.1 do RCCTE.

Como o valor de  $\tau$  a utilizar é inferior a 0,7, considera-se que as paredes que separam os edifícios adjacentes, do espaço útil interior da moradia, terão requisitos de envolvente interior.

A arrecadação e a garagem são as duas divisões que existem na cave, neste caso vai-se determinar um valor de  $\tau$  para a cave, incluindo ambas as divisões. A cave possui uma relação de  $A_i/A_u$  entre 1 e 10 de acordo com a Tabela IV.1 do RCCTE. De acordo com o ponto 5.1 conclui-se que o valor de  $\tau$  a utilizar é 0,5. Foi considerado que a cave é um espaço não útil do tipo “garagem privada”.

Cálculo do quociente  $A_i/A_u$  para posterior determinação do valor do coeficiente  $\tau$  a utilizar para a cave:

$$\frac{A_i}{A_u} = \frac{83,64 \text{ m}^2}{59,43 \text{ m}^2} = 1,41$$

Como o valor de  $\tau$  a utilizar é inferior a 0,7, considera-se que a laje que separa a cave do rés do chão terá requisitos de envolvente interior.

O desvão da cobertura é também um local não aquecido, considerado fortemente ventilado, e portanto apresenta um coeficiente de redução de perdas de 1,0. Assim sendo, a laje de separação do 1.º andar e do desvão da cobertura terá requisitos de envolvente exterior.

Mesmo sabendo que o valor do  $\tau$  a utilizar neste caso é 1 qualquer que seja o valor do quociente  $A_i/A_u$ , segue-se o cálculo desta relação:

$$\frac{A_i}{A_u} = \frac{65,02}{116,35} = 0,56$$

Na Figura 5.1 é ilustrada a delimitação da envolvente no rés do chão, em paredes e pavimento. As paredes que separam o espaço útil interior, da caixa de escadas que liga a cave ao rés do chão, fazem parte da envolvente interior, com  $\tau$  inferior a 0,7 e a parede que separa a caixa de escadas que liga o rés do chão ao 1.º andar, do ambiente exterior, faz parte da envolvente exterior. Na Figura apenas se ilustra a envolvente na caixa de escadas que liga o rés do chão ao 1.º andar.

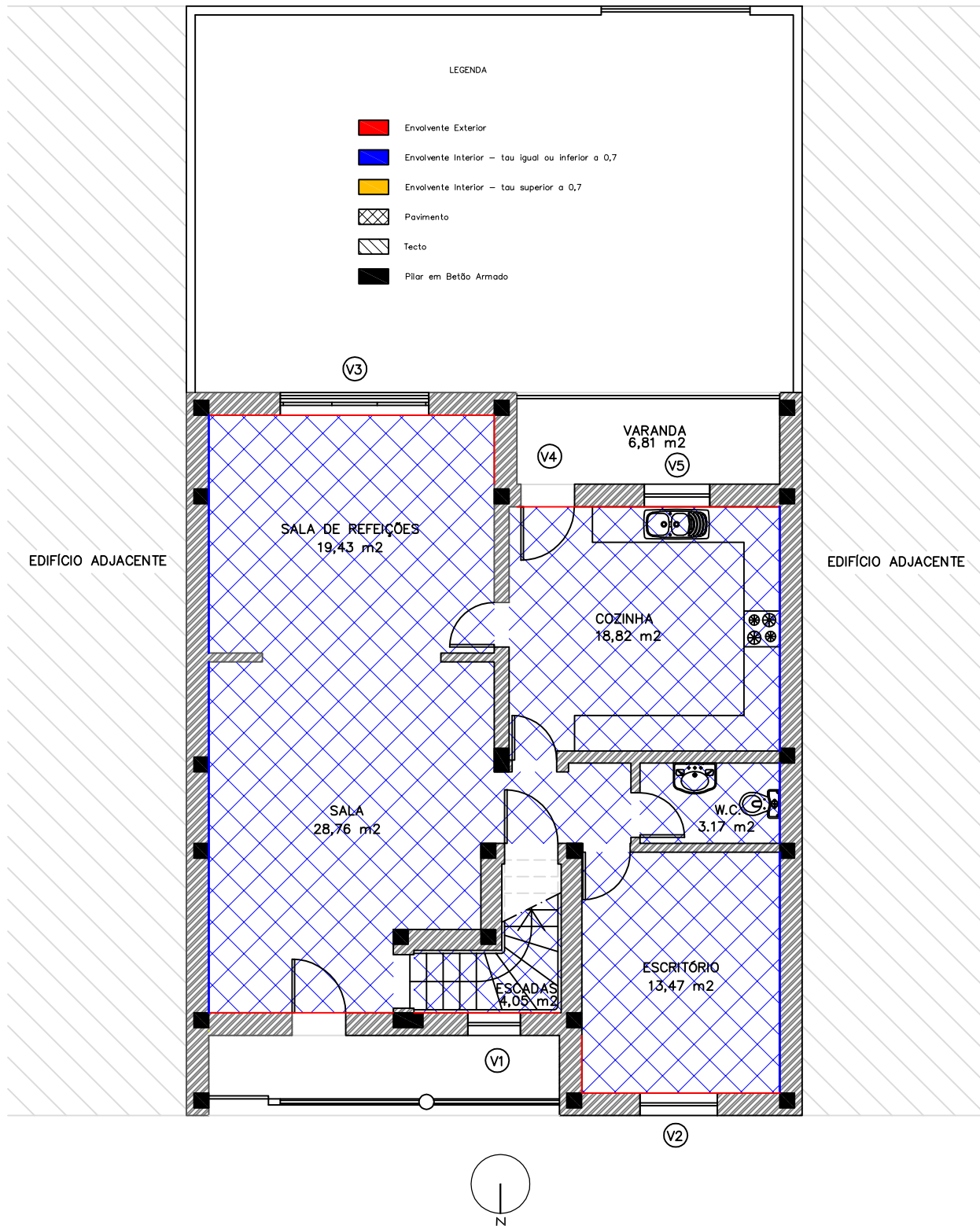


Figura 5.1 – Delimitação da envolvente – paredes e pavimento do r/chão (escala 1:100)



Na Figura 5.2 é ilustrada a delimitação da envolvente no rés do chão, em paredes e teto.

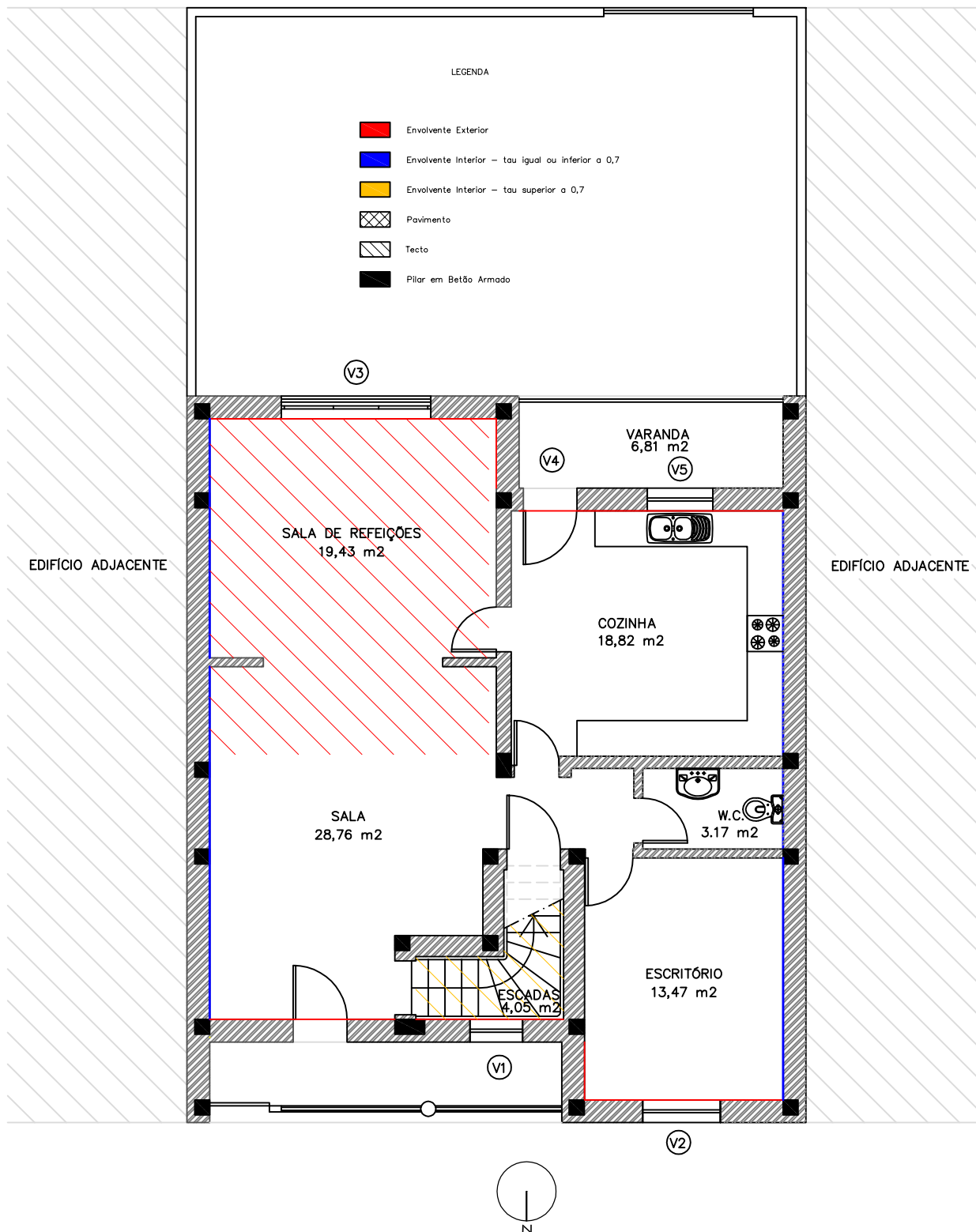


Figura 5.2 – Delimitação da envolvente – paredes e teto do r/chão (escala 1:100)

Na Figura 5.3 é ilustrada a delimitação da envolvente no 1.º andar, em paredes e pavimento.

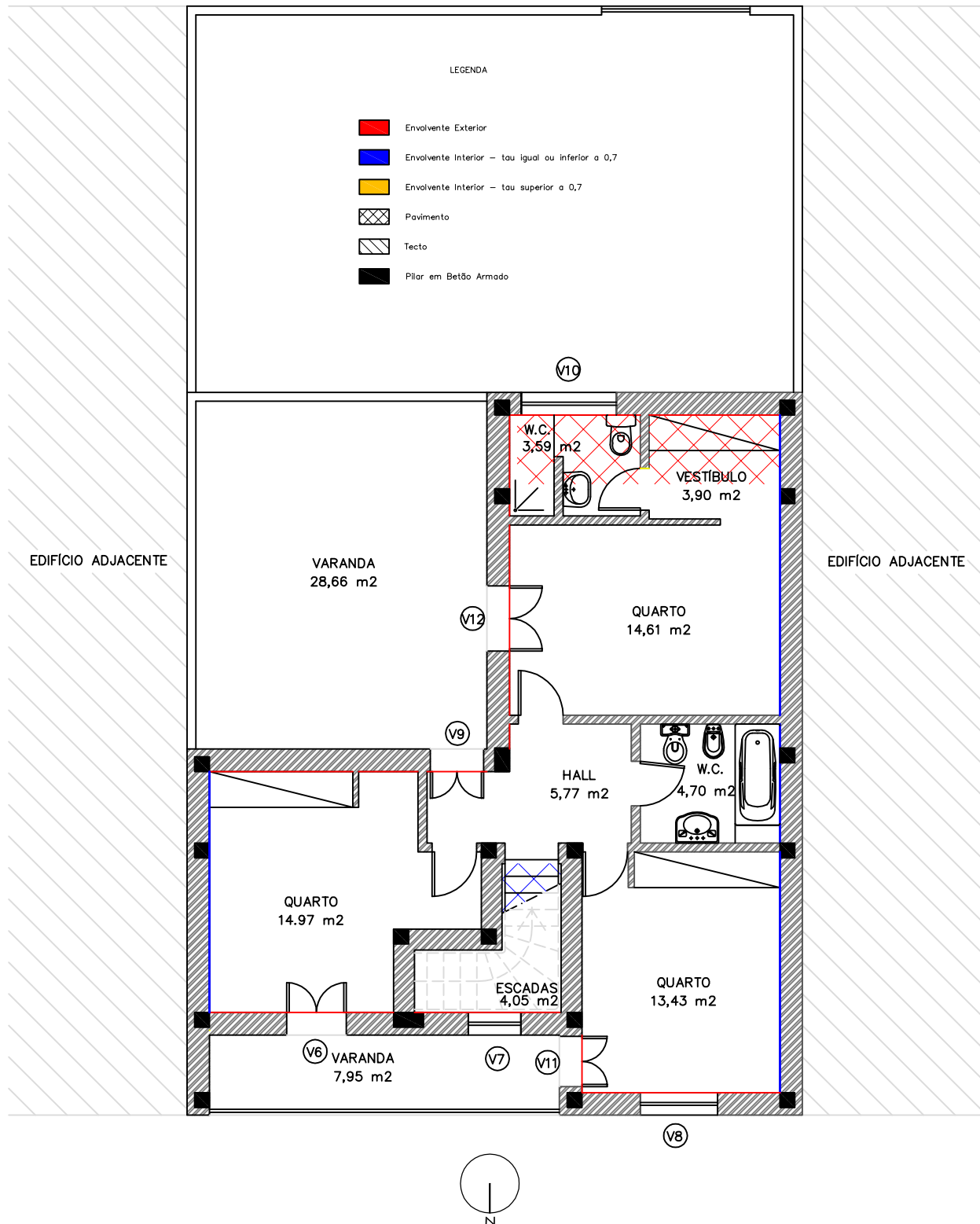


Figura 5.3 – Delimitação da envolvente – paredes e pavimento do 1.º andar (escala 1:100)

Na Figura 5.4 é ilustrada a delimitação da envolvente no 1.º andar, em paredes e teto.

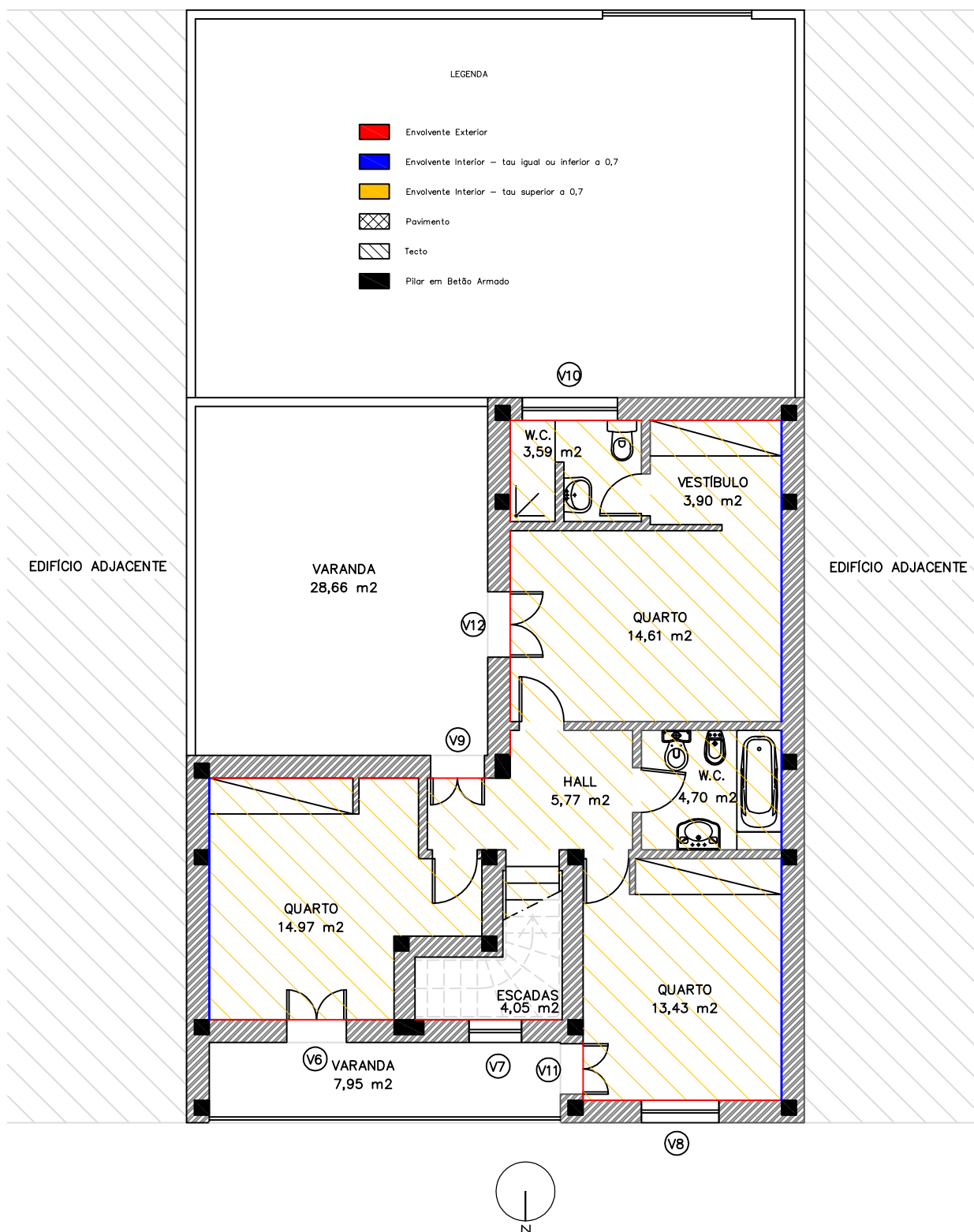


Figura 5.4 – Delimitação da envolvente – paredes e teto do 1.º andar (escala 1:100)

## **5.4 – Dados climáticos**

### **5.4.1 – Zonas climáticas**

Para efeitos do RCCTE, o país é dividido em três zonas climáticas de inverno ( $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ ) e três zonas climáticas de verão ( $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_3$ ). A fração autónoma em estudo pertence à zona climática de inverno " $I_1$ " e à zona climática de verão " $V_3$ " (Quadro III.1 do RCCTE).

Numa primeira fase, para a realização do estudo de comportamento térmico da moradia unifamiliar, considera-se que a mesma se localiza no concelho de Évora, na periferia de uma zona urbana e está implantada à cota 270 m. A temperatura externa do projeto é 35 °C e a amplitude térmica é de 17 °C.

Não existe necessidade de efetuar alterações em função da altitude do local pois esta é inferior a 400 m.

### **5.4.2 – Graus-dias de aquecimento**

Os graus-dias de aquecimento (base 20°C) caracterizam a severidade de um clima durante a estação de aquecimento. Este valor é obtido pelo somatório das diferenças positivas registadas entre uma dada temperatura de base (20°C) e a temperatura do ar exterior durante a estação de aquecimento. As diferenças são calculadas com base nos valores horários da temperatura do ar (termómetro seco).

Para o edifício em estudo, o número de graus-dias de aquecimento correspondente à estação convencional de aquecimento é igual a 1390 °C.dias (Quadro III.1 do RCCTE).

### **5.4.3 – Duração da estação de aquecimento**

A estação convencional de aquecimento é o período do ano com início no primeiro decêndio posterior a 1 de outubro em que, para cada localidade, a temperatura média diária é inferior a 15°C e com termo no último decêndio anterior a 31 de maio em que a referida temperatura ainda é inferior a 15°C.

A duração da estação de aquecimento para a fração em estudo é igual a 5,7 meses (Quadro III.1 do RCCTE).

#### 5.4.4 – Energia solar incidente na estação de aquecimento

A fração autónoma encontra-se na zona climática I<sub>1</sub>, logo a energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento (GSul) é de 108 kWh/m<sup>2</sup>.mês (Quadro III.8 do RCCTE).

#### 5.4.5 – Intensidade da radiação solar para a estação de arrefecimento

Para se determinar a intensidade da radiação solar para a estação de arrefecimento do local em estudo é fundamental consultar o Quadro III.9 do RCCTE.

Como a fração se situa a Sul, na zona climática V<sub>3</sub>, a intensidade da radiação solar é a indicada no Quadro 5.1.

**Quadro 5.1 – Intensidade da radiação solar na estação de arrefecimento em zona climática V<sub>3</sub> Sul**

Zona Climática	Intensidade da radiação solar - Ir (kwh/m <sup>2</sup> )								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Horiz.
<b>V3 S</b>	210	330	460	460	400	470	460	330	820

#### 5.4.6 – Temperatura média mensal do ar para a estação de arrefecimento

A temperatura do ar exterior para a estação convencional de arrefecimento é igual a 23 °C, pois a fração em estudo localiza-se na zona climática V<sub>3</sub> - Sul (Quadro III.9 do RCCTE).

### 5.5 – Requisitos energéticos – exigências regulamentares

#### 5.5.1 – Aspetos gerais

Para que um edifício cumpra o RCCTE, é necessário que as suas necessidades nominais anuais de energia (Nic, Nvc, Nac e Ntc) não excedam os valores máximos admissíveis, que se designam respetivamente por Ni, Nv, Na e Nt.

## 5.5.2 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento – Ni

Segundo o RCCTE, a fração autónoma em estudo não pode, como resultado da sua morfologia, da qualidade térmica da sua envolvente e tendo em conta o aproveitamento dos ganhos solares e internos e de outras formas de energias renováveis, exceder um valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (Ni). O valor limite das necessidades nominais de energia útil para aquecimento (Ni), depende do fator de forma (FF) da fração autónoma e dos graus-dias (GD) do clima local.

### 5.5.2.1 – Quantificação do fator de forma

O fator de forma é o quociente entre o somatório das áreas da envolvente exterior ( $A_{ext}$ ) e da envolvente interior ( $A_{int}$ ) multiplicado pelo respetivo valor de  $\tau$ , da fração autónoma com exigências térmicas, e o volume interior (V):

$$FF = \frac{\sum A_{ext} + \sum_i A_{int} \cdot \tau}{V} [m^{-1}] \quad (44)$$

$$A_{ext} \text{ dos elementos verticais do r/chão} = 50,95 \text{ m}^2$$

$$A_{ext} \text{ dos elementos verticais do 1.º andar} = 62,35 \text{ m}^2$$

$$A_{int} \text{ dos elementos verticais do r/chão} \\ = 50,47 \text{ m}^2(\text{edifício adjacente}) + 14,02 \text{ m}^2(\text{caixa de escadas}) = 64,49 \text{ m}^2$$

$$A_{int} \text{ dos elementos verticais do 1.º andar} = 39,39 \text{ m}^2(\text{edifício adjacente})$$

$$A_{ext} \text{ dos elementos horizontais de separação do r/chão e do 1.º andar} = 30,87 \text{ m}^2$$

$$A_{int} \text{ dos elementos horizontais de separação do r/chão e do 1.º andar} = 4,69 \text{ m}^2(\text{caixa de escadas})$$

$$A_{int} \text{ dos elementos horizontais de separação da cave e do r/chão} = 83,64 \text{ m}^2(\text{cave})$$

$$A_{int} \text{ dos elementos horizontais de separação do 1.º andar e do desvão de cobertura} \\ = 65,02 \text{ m}^2(\text{desvão de cobertura})$$

$$V = \text{área útil de pavimento} \times \text{pé direito médio ponderado} = 148,65 \times 2,64 = 392,44 \text{ m}^3$$

*FF*

$$= \frac{(50,95 + 62,35 + 30,87) + [((50,47 + 39,39) \times 0,6) + ((14,02 + 4,69) \times 0,3) + (83,64 \times 0,5) + (65,02 \times 1,0)]}{392,44}$$
$$= \frac{310,54}{392,44} = 0,79[m^{-1}]$$

#### 5.5.2.2 – Quantificação de *Ni*

Para o caso em estudo, as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (*Ni*) são calculadas pela seguinte expressão (alínea b do ponto 1 do artigo 15º do RCCTE):

$$Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037 \times FF) \times GD [kWh/(m^2 \cdot ano)] \quad (45)$$

em que:

GD - Graus-dias de aquecimento [°C.dias]

FF - Fator de Forma [ $m^{-1}$ ]

logo,

$$Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037 \times 0,79) \times 1390 = 74,39 \text{ kWh}/(m^2 \cdot ano)$$

#### 5.5.3 – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento – *Nv*

A fração autónoma não pode, como resultado da sua morfologia, da qualidade térmica da sua envolvente e tendo em conta a existência de ganhos solares e internos, exceder um valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (*Nv*).

O valor limite das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (*Nv*) de uma fração autónoma depende apenas da sua zona climática (alínea f do ponto 2 do artigo 15º do RCCTE):

$$\text{Zona } V_3 \text{ (Sul)} \Rightarrow Nv = 32,00 \text{ kWh}/m^2 \cdot ano$$

#### 5.5.4 – Limitação das necessidades de energia para preparação de AQS – *Na*

A fração autónoma não pode, como resultado dos tipos e eficiências dos equipamentos de produção de água quente sanitária, bem como da utilização de formas de energias renováveis,

exceder um valor máximo admissível de necessidades nominais anuais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias (Na).

O limite máximo das necessidades de energia para preparação das águas quentes sanitárias (Na) da fração autónoma é o seguinte (ponto 3 do artigo 15º do RCCTE):

$$Na = (0,081 \times M_{aq_s} \times nd) / Ap \text{ [kWh/(m}^2 \cdot \text{ano)]} \quad (46)$$

em que:

$M_{aq_s}$  - Consumo médio diário de referência em litros (de acordo com o Quadro VI.1 do RCCTE, o numero de ocupantes a considerar para um T3 é quatro, contudo segundo a resposta à questão L.19 das perguntas e respostas sobre o RCCTE [21], um escritório deve ser tratado como mais um quarto e, portanto, para efeitos da aplicação do RCCTE, considera-se que a moradia unifamiliar possui a tipologia T4 e o numero de ocupantes a considerar é 5) = 40 litros x 5 ocupantes = 200 litros.

nd - Número anual de dias de consumo de AQS [dias] - para edifícios residenciais de utilização permanente, consideram-se 365 dias de consumo (Quadro VI.2 do RCCTE)

Ap - Área útil de pavimento [m<sup>2</sup>] = 148,65 m<sup>2</sup>

logo,

$$Na = (0,081 \times 200 \times 365) / 148,65 = 39,78 \text{ kWh/(m}^2 \cdot \text{ano)}$$

### 5.5.5 – Limitação das necessidades nominais globais de energia primária - Nt

As necessidades nominais anuais globais (Ntc) da fração autónoma em estudo não podem exceder um valor máximo admissível de energia primária (Nt), calculado com base nos valores de Ni, Nv e Na (artigo 15º do RCCTE):

$$Nt = 0,9 \times (0,01 \times Ni + 0,01 \times Nv + 0,15 \times Na) \text{ [kgep/(m}^2 \cdot \text{ano)]} \quad (47)$$

$$Nt = 0,9 \times (0,01 \times 74,39 + 0,01 \times 32,00 + 0,15 \times 39,78) \text{ [kgep/(m}^2 \cdot \text{ano)]}$$

$$Nt = 6,33 \text{ kgep/(m}^2 \cdot \text{ano)}$$



### 5.5.6 – Quantificação dos parâmetros térmicos – coeficientes de transmissão térmica – U

O coeficiente de transmissão térmica superficial, em zona corrente, de um elemento da envolvente (U), é a quantidade de calor por unidade de tempo, que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente, por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa.

O RCCTE preconiza valores máximos e de referência para os coeficientes U da envolvente dos edifícios, em função da zona climática em que se situam.

**Quadro 5.2 – Coeficientes de transmissão térmica máximos e de referência para a zona climática I<sub>1</sub>**

Elementos da envolventes em zona corrente		Coeficientes de transmissão térmica W/(m <sup>2</sup> .°C)	
		Máximo (U <sub>max</sub> )	Referência (U <sub>ref</sub> )
Elementos exteriores	Opacas Verticais	1,80	0,70
	Opacas Horizontais	1,25	0,50
Elementos interiores em contacto com zonas anexas não úteis	Opacas Verticais	2,00	1,40
	Opacas Horizontais	1,65	1,00
Envidraçados			4,30

### 5.6 – Soluções construtivas e equipamentos aplicados inicialmente

As soluções construtivas adotadas inicialmente são ilustradas e caracterizadas nas figuras e quadros seguintes. É com base na aplicação destas soluções que se realiza o primeiro estudo de comportamento térmico da moradia unifamiliar. É aplicada a metodologia presente no RCCTE e são determinados os índices energéticos, tal como a respetiva classe energética inicial.

## 5.6.1 – Elementos da envolvente opaca e elementos interiores

Quadro 5.3 – Espessuras iniciais dos elementos

Parede exterior - 38 cm
Parede interior em contacto com espaço não útil (caixa de escadas) - 35 cm
Parede interior em contacto com espaço não útil (edifício adjacente) - 38 cm
Paredes divisórias interiores - 10, 15, 20 e 25 cm
Pavimento exterior no 1.º andar - 31 cm
Pavimento interior sobre a caixa de escadas que liga a cave ao r/chão - 21 cm
Pavimento interior sobre cave - 38 cm
Pavimento interior no 1.º andar, de separação de espaços úteis - 47 cm
Cobertura exterior plana sobre r/chão - 47 cm

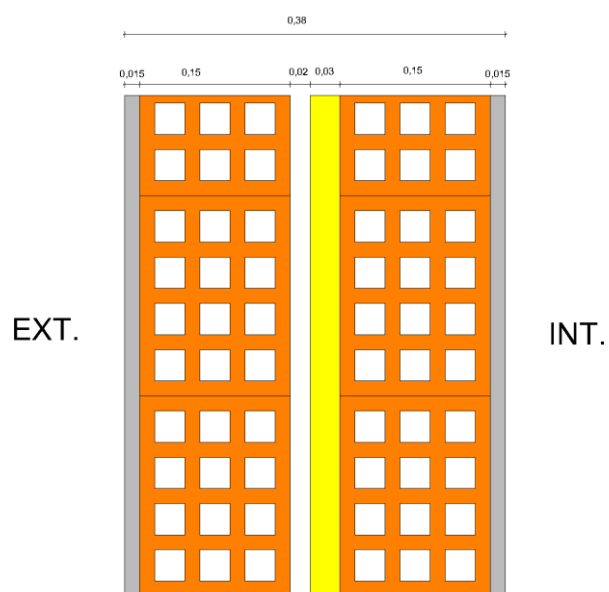
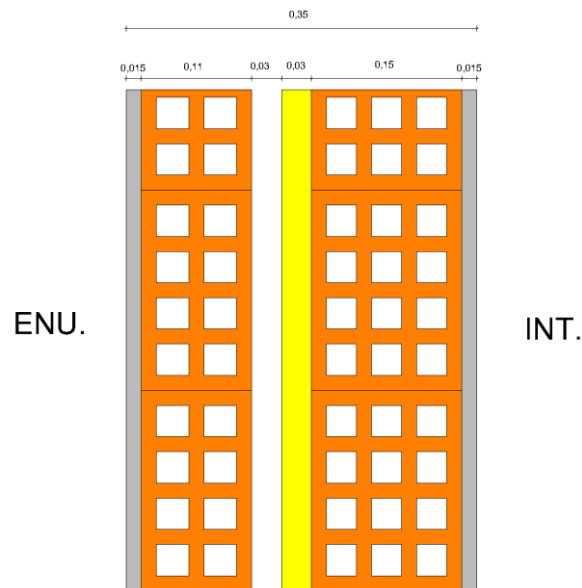


Figura 5.5 – Parede exterior - PE1

**Quadro 5.4 – Caracterização da parede exterior - PE1**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse			0,04	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2 Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	0
3 Caixa de Ar	0,02	-	0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
4 Isolante Térmico	0,03	0,037	0,81	pag I.3 ITE50 LNEC		
5 Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	150
6 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,38				mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,51</b>		360	180
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 1,80 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)}$$



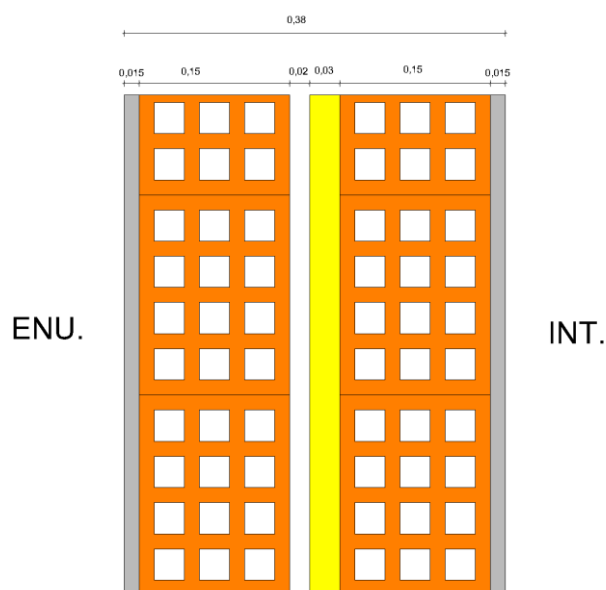
**Figura 5.6 – Parede interior em contacto com espaço não útil (caixa de escadas que liga a cave ao r/chão) – PENU1**

**Quadro 5.5 – Caracterização da parede interior em contacto com espaço não útil (caixa de escadas que liga a cave ao r/chão) – PENU1**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse = Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	0
3 Caixa de Ar	0,03	-	0,18	pag I.11 ITE50 LNEC		
4 Isolante Térmico	0,03	0,037	0,81	pag I.3 ITE50 LNEC		
5 Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	150
6 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,35				mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,52</b>	320	180
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$U_{max} = 2,00$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
---



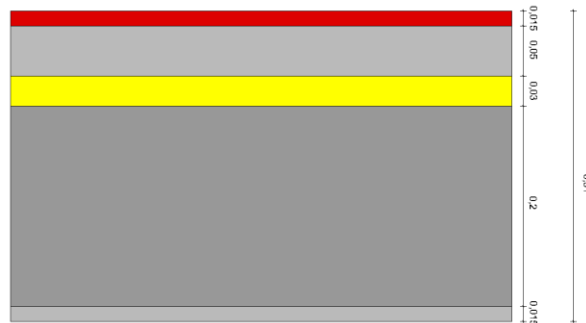
**Figura 5.7 – Parede interior em contacto com espaço não útil (edifício adjacente) – PENU2**

**Quadro 5.6 – Caracterização da parede interior em contacto com espaço não útil (edifício adjacente) – PENU2**

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
	Rse=Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
1	Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2	Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	0
3	Caixa de Ar	0,02	-	0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
4	Isolante Térmico	0,03	0,037	0,81	pag I.3 ITE50 LNEC		
5	Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	150
6	Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
	Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total		0,38				mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,49</b>		360	180
						Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
						<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$U_{max} = 2,00$  (W/m<sup>2</sup>.°C)

INT.



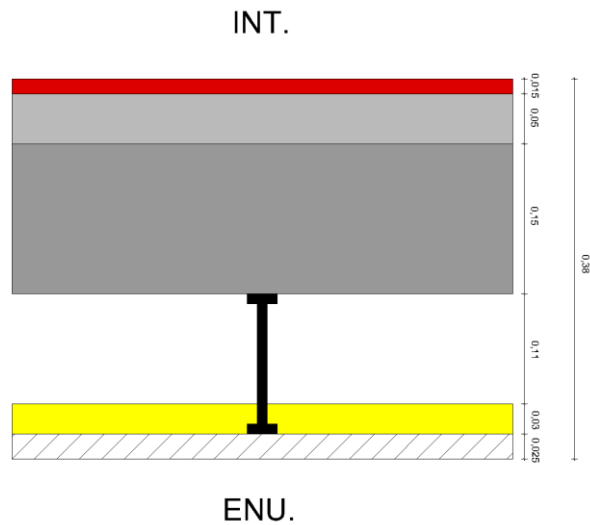
EXT.

**Figura 5.8 – Pavimento exterior no 1.º andar – PavE1**

**Quadro 5.7 – Caracterização do pavimento exterior no 1.º andar – PavE1**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.ºC)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .ºC/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse			0,04	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2 Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	0
3 Isolante Térmico	0,03	0,037	0,81	pag I.3 ITE50 LNEC		
4 Betonilha	0,05	1,30	0,04	pag I.7 ITE50 LNEC	90	90
5 Pavimento Cerâmico	0,015	1,30	0,01	pag I.10 ITE50 LNEC	35	35
Rsi - fluxo descendente			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
<b>Espessura Total</b>	<b>0,31</b>					
<b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m<sup>2</sup>.ºC)</b>			<b>0,80</b>			
					<b>mt(kg/m2)</b>	<b>mi(kg/m2)</b>
					495	125
					<b>Msi = mi ≤ 150 kg/m2</b>	
					<b>Msi = 125 kg/m2</b>	

$U_{max} = 1,25$  (W/m<sup>2</sup>.ºC)



**Figura 5.9 – Pavimento interior sobre a cave – PavENU1**

**Quadro 5.8 – Caracterização do pavimento interior sobre a cave – PavENU1**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m. $^{\circ}$ C)	Resistência $R_t$ (m $^2$ . $^{\circ}$ C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse = Rsi			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50 LNEC	20	0
2 Isolante Térmico	0,03	0,037	0,81	pag I.3 ITE50 LNEC		
3 Caixa de Ar	0,11	-	0,22	pag I.11 ITE50 LNEC	0	0
4 Laje Maciça em Betão	0,15	2,30	0,07	pag I.5 ITE50 LNEC	360	360
5 Betonilha	0,05	1,30	0,04	pag I.7 ITE50 LNEC	90	90
6 Pavimento Cerâmico	0,015	1,30	0,01	pag I.10 ITE50 LNEC	35	35
Rsi - fluxo descendente			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,38					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m $^2$ . $^{\circ}$ C)			<b>0,63</b>			

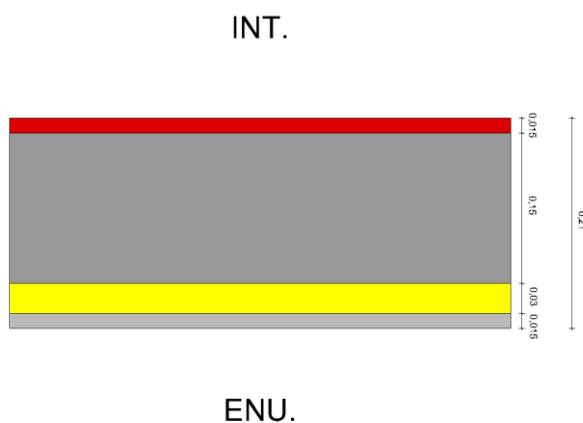
  

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
505	485
Msi = mi $\leq$ 150 kg/m2	
<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

Umax = 1,65 (W/m $^2$ . $^{\circ}$ C)
---------------------------------------

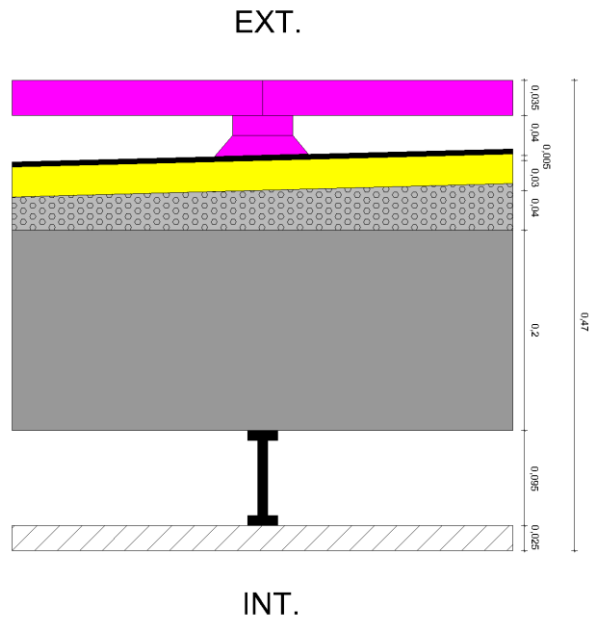
Na Figura 5.9 é ilustrado o pormenor construtivo do pavimento interior sobre a caixa de escadas que liga a cave ao rés do chão. Para facilitar o cálculo do coeficiente de transmissão térmica do elemento, optou-se por ignorar os degraus, contabilizando apenas a espessura da laje de escadas.



**Figura 5.10 – Pavimento interior sobre a caixa de escadas que liga a cave ao r/chão – PavENU2**

**Quadro 5.9 – Caracterização do pavimento interior sobre a caixa de escadas que liga a cave ao r/chão – PavENU2**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse = Rsi			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2 Isolante Térmico	0,03	0,037	0,81	pag I.3 ITE50 LNEC		
3 Laje Maciça em Betão	0,15	2,30	0,07	pag I.5 ITE50 LNEC	360	360
4 Pavimento Cerâmico	0,015	1,30	0,01	pag I.10 ITE50 LNEC	35	35
Rsi - fluxo descendente			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espeçsura Total	0,21				mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,81</b>		425	395
<b>U<sub>max</sub> = 1,65 (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>					<b>M<sub>si</sub> = 150 kg/m<sup>2</sup></b>	



**Figura 5.11 – Cobertura exterior plana sobre o r/chão – CobE1**



**Quadro 5.10 – Caracterização da cobertura exterior plana sobre o r/chão – CobE1**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
Rsi			0,10	pag I.11 ITE50		
1 Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50	20	20
2 Caixa de Ar	0,095	-	0,16	pag I.11 ITE50	0	0
3 Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
4 Camada de Forma em Betão de Argila Expandida	0,04	0,70	0,06	pag I.5 ITE50	52	52
5 Isolante Térmico	0,03	0,037	0,81	pag I.3 ITE50		
6 Impermeabilização	0,005	0,23	0,02	pag I.9 ITE50	5	0
7 Espaço de Ar Fortemente Ventilado	0,04	-	-		0	0
8 Lajetas de Betão assentes sobre Apoios Pontuais	0,035	1,65	-	pag I.5 ITE50	70	0
Rse = Rsi - fluxo ascendente			0,10	pag I.11 ITE50		
Es grossura Total	0,47					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,66</b>			

mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
487	412
Msi = mi ≤ 150 kg/m <sup>2</sup>	
<b>Msi = 150 kg/m<sup>2</sup></b>	

U <sub>max</sub> = 1,25 (W/m <sup>2</sup> .°C)
--

ENU.



INT.

**Figura 5.12 – Cobertura interior plana sob o desvão de cobertura – CobENU1**

**Quadro 5.11 – Caracterização da cobertura interior plana sob o desvão de cobertura – CobENU1**

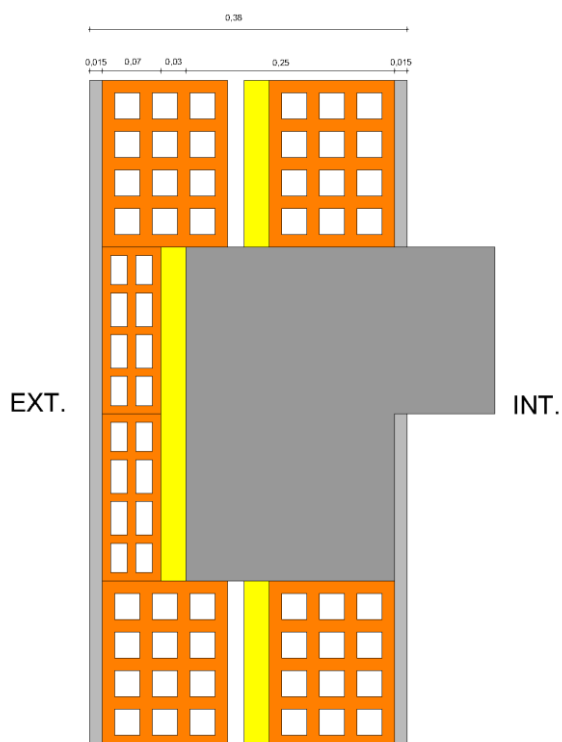
Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rsi			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,02	1,30	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC	40	40
2 Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
3 Isolante Térmico	0,03	0,037	0,81	pag I.3 ITE50 LNEC		
Rse = Rsi - fluxo ascendente			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
<b>Es grossura Total</b>	<b>0,25</b>					
<b>Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>			<b>0,84</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
380	380
Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$U_{max} = 1,25$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
---



**Figura 5.13 – Ponte térmica plana de pilares e vigas em paredes exteriores – PE1ptp1**

**Quadro 5.12 – Caracterização da ponte térmica plana de pilares e vigas em paredes exteriores – PE1ptp1**

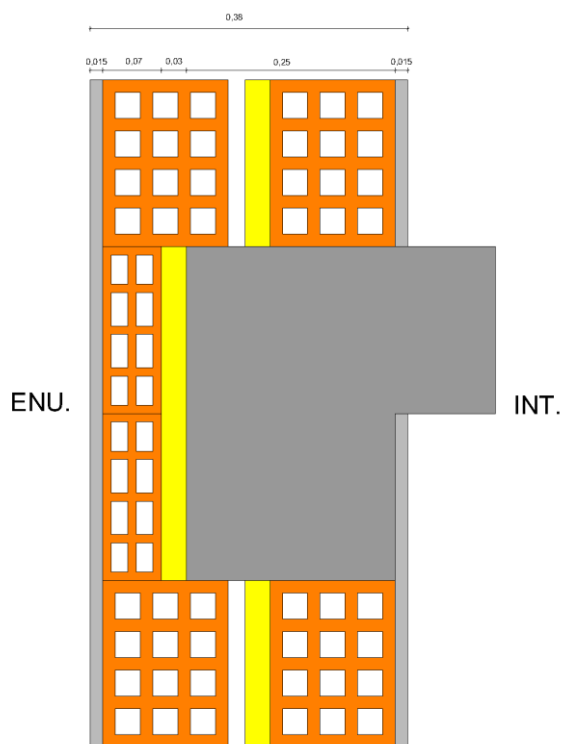
Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
2 Elemento em Betão Armado	0,25	2,30	0,11	pag I.5 ITE50 LNEC	600	600
3 Isolante Térmico	0,03	0,037	0,81	pag I.3 ITE50 LNEC		
4 Tijolo Furado 7	0,07	-	0,19	pag I.12 ITE50 LNEC	70	0
5 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
Rse			0,04	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,38					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,77</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
730	630
Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

U <sub>max</sub> = 1,02 (W/m <sup>2</sup> .°C)
--

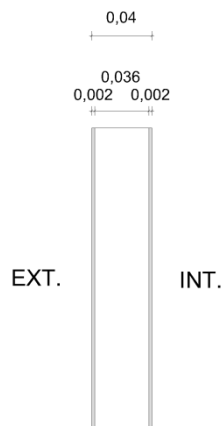


**Figura 5.14 – Ponte térmica plana de pilares e vigas em paredes que contactam com espaços não úteis (edifícios adjacentes) – PENU2ptp1**

**Quadro 5.13 – Caracterização da ponte térmica plana de pilares e vigas em paredes que contactam com espaços não úteis (edifícios adjacentes) – PENU2ptp1**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
2 Elemento em Betão Armado	0,25	2,30	0,11	pag I.5 ITE50 LNEC	600	600
3 Isolante Térmico	0,03	0,037	0,81	pag I.3 ITE50 LNEC		
4 Tijolo Furado 7	0,07	-	0,19	pag I.12 ITE50 LNEC	70	0
5 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
Rse=Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,38				mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,72</b>	730	630
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 0,98 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)}$$



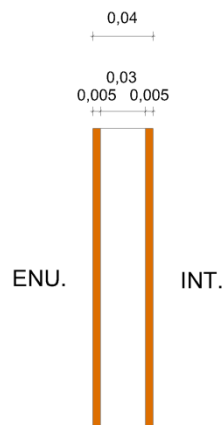
**Figura 5.15 – Ponte térmica plana de portas exteriores em caixilharia de alumínio – PE1ptp3**

**Quadro 5.14 – Caracterização da ponte térmica plana de portas exteriores em caixilharia de alumínio – PE1ptp3**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC	
1 Liga de Alumínio	0,002	160,00	0,00	pag I.9 ITE50 LNEC	5,6
2 Caixa de Ar	0,036	-	0,18	pag I.11 ITE50 LNEC	
3 Liga de Alumínio	0,002	160,00	0,00	pag I.9 ITE50 LNEC	5,6
Rse			0,04	pag I.11 ITE50 LNEC	
Espessura Total	0,04				mt(kg/m2)
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>2,86</b>	11,2
					Msi = mt
					<b>Msi = 11,2 kg/m2</b>

Sem Requisitos
----------------

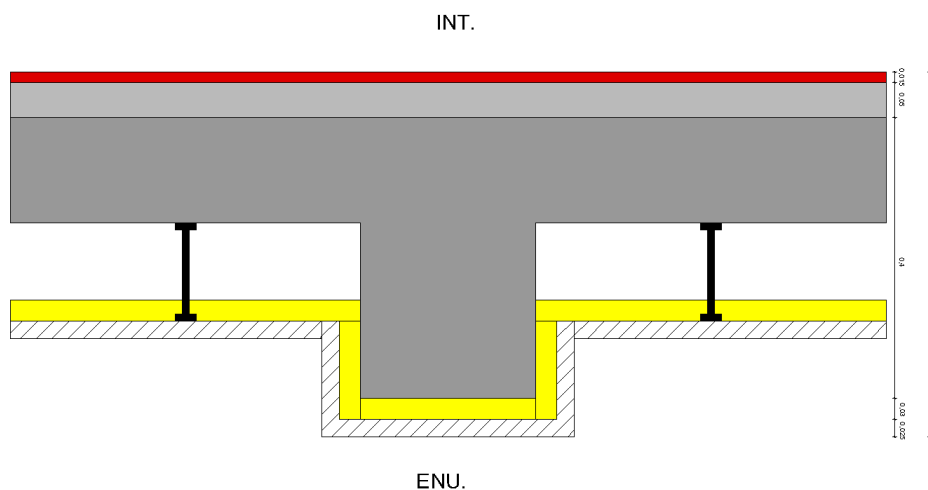


**Figura 5.16 – Ponte térmica plana de portas interiores em caixilharia de madeira que contactam com espaços não úteis (caixa de escadas que liga a cave ao r/chão) – PENU1ptp1**

**Quadro 5.15 – Caracterização da ponte térmica plana de portas interiores em caixilhia de madeira que contactam com espaços não úteis (caixa de escadas que liga a cave ao r/chão) – PENU1ptp1**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m <sup>2</sup> )
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC	
1 Madeira	0,005	0,23	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC	4
2 Caixa de Ar	0,03	-	0,18	pag I.11 ITE50 LNEC	
3 Madeira	0,005	0,23	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC	4
Rse = Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC	
Espessura Total	0,04				mt(kg/m <sup>2</sup> )
Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>2,07</b>		8
					Msi = mt
					<b>Msi = 8 kg/m<sup>2</sup></b>

Sem Requisitos

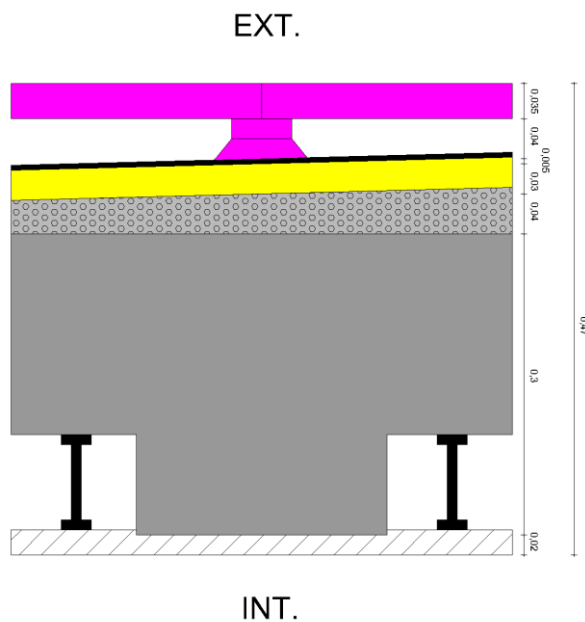


**Figura 5.17 – Ponte térmica plana de vigas em pavimento interior sobre a cave – PavENU1ptp1**

**Quadro 5.16 – Caracterização da ponte térmica plana de vigas em pavimento interior sobre a cave – PavENU1ptp1**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse = Rsi			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50 LNEC	20	0
2 Isolante Térmico	0,03	0,037	0,81	pag I.3 ITE50 LNEC		
3 Viga em Betão Armado	0,40	2,30	0,17	pag I.5 ITE50 LNEC	960	960
4 Betonilha	0,05	1,30	0,04	pag I.7 ITE50 LNEC	90	90
5 Pavimento Cerâmico	0,015	1,30	0,01	pag I.10 ITE50 LNEC	35	35
Rsi - fluxo descendente			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,52				mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,68</b>		1105	1085
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$U_{max} = 1,26$  (W/m<sup>2</sup>.°C)



**Figura 5.18 – Ponte térmica plana de vigas em cobertura exterior plana sobre o r/chão – CobE1ptp1**

**Quadro 5.17 – Caracterização da ponte térmica plana de vigas em cobertura exterior plana sobre o r/chão – CobE1ptp1**

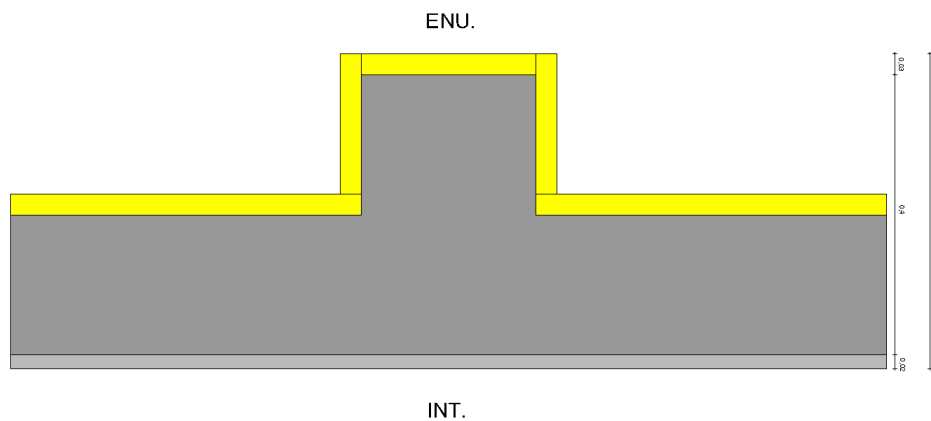
Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rsi			0,10	pag I.11 ITE50		
1 Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50	16	16
2 Viga em Betão Armado	0,30	2,30	0,13	pag I.5 ITE50	720	720
3 Isolante Térmico	0,03	0,037	0,81	pag I.3 ITE50		
4 Impermeabilização	0,005	0,23	0,02	pag I.9 ITE50	5	0
5 Espaço de Ar Fortemente Ventilado	0,04	-	-		0	0
6 Lajetas de Betão assentes sobre Apoios Pontuais	0,035	1,65	-	pag I.5 ITE50	70	0
Rse = Rsi - fluxo ascendente			0,10	pag I.11 ITE50		
Espeçura Total	0,435					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,79</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
811	736
Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

U <sub>max</sub> = 1,25 (W/m <sup>2</sup> .°C)
--



**Figura 5.19 – Ponte térmica plana de vigas em cobertura interior plana sob o desvão de cobertura – CobENU1ptp1**



**Quadro 5.18 – Caracterização da ponte térmica plana de vigas em cobertura interior plana sob o desvão de cobertura – CobENU1ptp1**

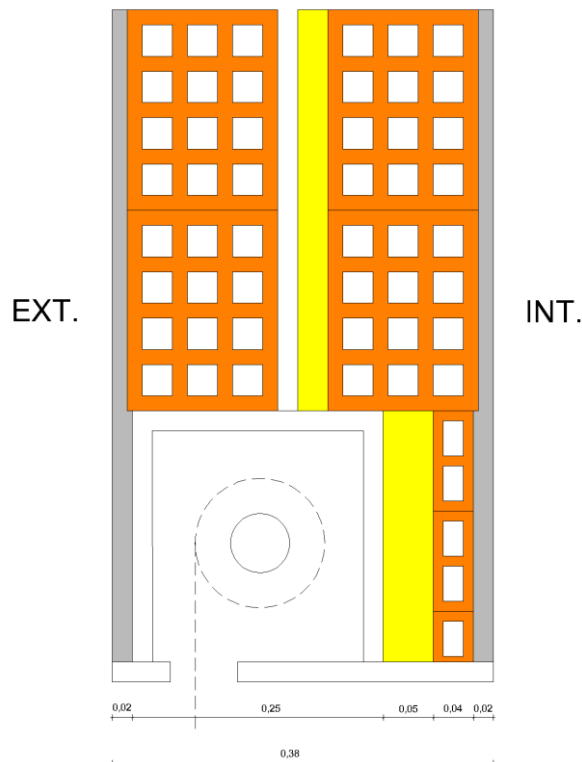
Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rsi			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,02	1,30	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC	40	40
2 Viga em Betão Armado	0,40	2,30	0,17	pag I.5 ITE50 LNEC	960	960
3 Isolante Térmico	0,03	0,037	0,81	pag I.3 ITE50 LNEC		
Rse = Rsi - fluxo ascendente			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,45					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,83</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
1000	1000
Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$U_{max} = 1,25$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
---

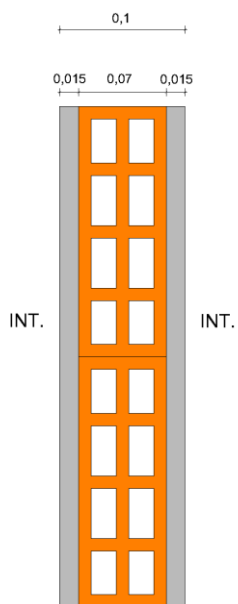


**Figura 5.20 – Ponte térmica plana de caixa de estore – PE1ptp2**

**Quadro 5.19 – Caracterização da ponte térmica plana de caixa de estore [28] – PE1ptp2**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,02	1,30	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC	40	40
2 Tijolo Furado 4	0,04		0,10	pag I.12 ITE50 LNEC	40	40
3 Isolante Térmico	0,05	0,037	1,35	pag I.3 ITE50 LNEC		
Rse = Rsi - dentro da caixa de estore			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
EspeSSura Total	0,38				mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,58</b>		80	80
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 80 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 1,02 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$



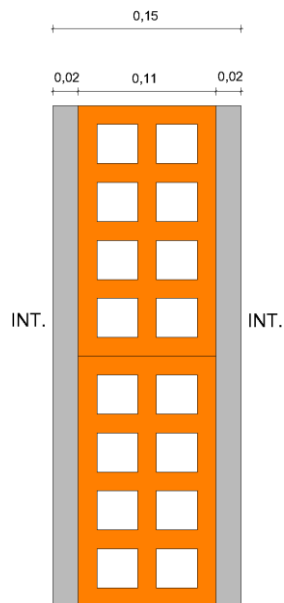
**Figura 5.21 – Parede divisória interior com 10 cm de espessura**

**Quadro 5.20 – Caracterização da parede divisória interior com 10 cm de espessura**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m <sup>2</sup> )
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30
2 Tijolo Furado 7	0,07	-	0,19	pag I.12 ITE50 LNEC	70
3 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30
<b>Espeçura Total</b>	<b>0,10</b>				<b>130</b>

sem requisitos	<b>Msi = 130 kg/m<sup>2</sup></b>
----------------	-----------------------------------



**Figura 5.22 – Parede divisória interior com 15 cm de espessura**

**Quadro 5.21 – Caracterização da parede divisória interior com 15 cm de espessura**

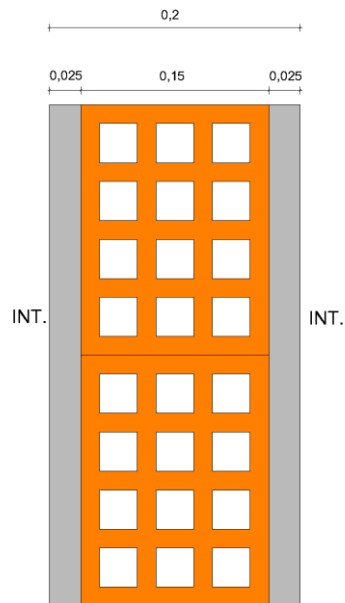
Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )	Referência	mt(kg/m2)
1 Reboco	0,02	1,30	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC	40
2 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110
3 Reboco	0,02	1,30	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC	40
<b>Espeçsura Total</b>	<b>0,15</b>				

mt(kg/m2)	190
Msi = mt ≤ 300 kg/m2	
<b>Msi = 190 kg/m2</b>	

sem requisitos
----------------



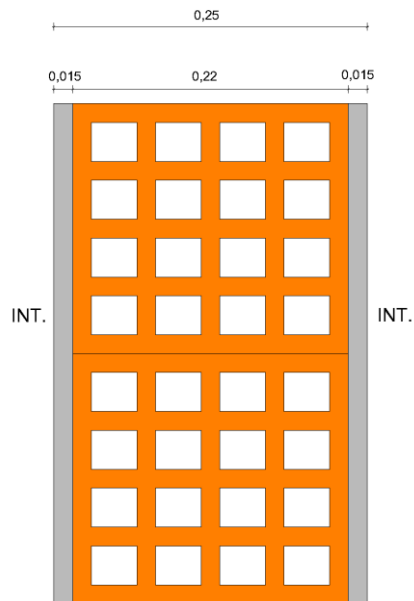
**Figura 5.23 – Parede divisória interior com 20 cm de espessura**

**Quadro 5.22 – Caracterização da parede divisória interior com 20 cm de espessura**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)
1 Reboco	0,025	1,30	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC	50
2 Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150
3 Reboco	0,025	1,30	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC	50
<b>Espeçura Total</b>	<b>0,20</b>				<b>250</b>

sem requisitos	<b>Msi = 250 kg/m2</b>
----------------	------------------------



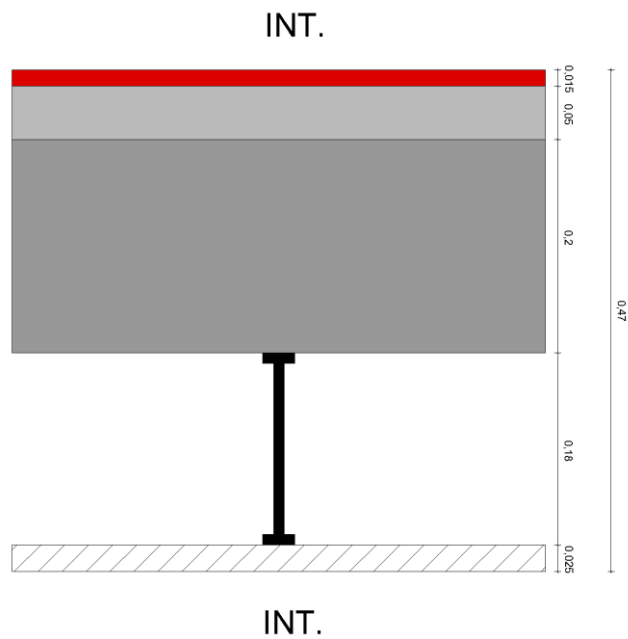
**Figura 5.24 – Parede divisória interior com 25 cm de espessura**

**Quadro 5.23 – Caracterização da parede divisória interior com 25 cm de espessura**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m <sup>2</sup> )
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30
2 Tijolo Furado 22	0,22	-	0,52	pag I.12 ITE50 LNEC	220
3 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30
<b>Espeçura Total</b>	<b>0,25</b>				<b>280</b>

sem requisitos	Msi = mt ≤ 300 kg/m <sup>2</sup>
	<b>Msi = 280 kg/m<sup>2</sup></b>



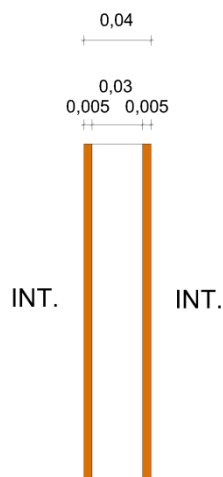
**Figura 5.25 – Pavimento interior no 1.º andar de separação de espaços úteis**

**Quadro 5.24 – Caracterização do pavimento interior no 1.º andar de separação de espaços úteis**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m <sup>2</sup> )
1 Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50 LNEC	20
2 Caixa de Ar	0,18	-	-		
3 Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340
4 Betonilha	0,05	1,30	0,04	pag I.7 ITE50 LNEC	90
5 Pavimento Cerâmico	0,015	1,30	0,01	pag I.10 ITE50 LNEC	35
<b>Espessura Total</b>	<b>0,47</b>				<b>485</b>

sem requisitos	Msi = mt ≤ 300 kg/m <sup>2</sup>
	<b>Msi = 300 kg/m<sup>2</sup></b>



**Figura 5.26 – Porta interior em caixilharia de madeira**

**Quadro 5.25 – Caracterização da porta interior em caixilharia de madeira**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m <sup>2</sup> )
1 Madeira	0,005	0,23	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC	4
2 Caixa de Ar	0,03	-	0,18	pag I.11 ITE50 LNEC	
3 Madeira	0,005	0,23	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC	4
<b>Espessura Total</b>	<b>0,04</b>				<b>8</b>

Sem Requisitos	Msi = mt
	<b>Msi = 8 kg/m<sup>2</sup></b>

## 5.6.2 – Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados V2 a V6 e V8 a V12 apresentam as seguintes características:

- Vão envidraçado vertical com caixilharia em alumínio sem corte térmico.
- Caixilho com quadrícula.
- Caixilharia de classe 2 relativamente à sua permeabilidade ao ar.
- Tipo de vão envidraçado – Simples.
- Número de vidros – Vidro duplo incolor (6 mm + 14 mm + 5 mm).
- Tipo de Janela – Giratória.
- Espessura da lâmina de ar – 14 mm.
- Coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado, considerando um dispositivo de oclusão noturna com baixa permeabilidade ao ar -  $U_{\text{wdn}} = 2,7 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , de acordo com a pág. III.4 do ITE50.
- Existência de caixa de estore em todos os vãos envidraçados.
- Proteção Solar Exterior – Persiana com réguas plásticas de cor clara.
- Proteção Solar Interior – Cortina muito transparente de cor clara.
- Fator solar do vidro –  $g_{\perp v} = 0,75$ , de acordo com a Tabela IV.4.1 do RCCTE.
- Fator solar do envidraçado com a proteção solar ativada a 100% -  $g_{\perp 100\%} = 0,04$ , de acordo com o Quadro V.4 do RCCTE.
- Fator solar do envidraçado no inverno, considerando a existência de uma cortina interior muito transparente de cor clara -  $g_{\perp \text{inverno}} = 0,63$ , de acordo com o Quadro V.4 do RCCTE.
- Fator solar do envidraçado no verão, com a proteção solar ativada a 70% -  $g_{\perp \text{verão}} = (0,30 \times g_{\perp v}) + (0,70 \times g_{\perp 100\%}) = (0,30 \times 0,75) + (0,70 \times 0,04) = 0,25$ .

Os vãos envidraçados V1 e V7 apresentam as seguintes características:

- Vão envidraçado vertical com caixilharia em alumínio sem corte térmico.
- Caixilho com quadrícula.
- Caixilharia de classe 2 relativamente à sua permeabilidade ao ar.
- Tipo de vão envidraçado – Simples.
- Número de vidros – Vidro duplo incolor (6 mm + 14 mm + 5 mm).
- Tipo de Janela – Fixa.
- Espessura da lâmina de ar – 14 mm.



- Coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado, considerando como dispositivo de oclusão nocturna, uma cortina interior opaca -  $U_{\text{wdn}} = 3,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$ , de acordo com a pág. III.4 do ITE50.
- Proteção Solar Exterior – Sem proteção exterior.
- Proteção Solar Interior – Cortina opaca de cor clara.
- Fator solar do vidro –  $g_{\perp v} = 0,75$ , de acordo com a Tabela IV.4.1 do RCCTE.
- Fator solar do envidraçado com a proteção solar ativada a 100% -  $g_{\perp 100\%} = 0,37$ , de acordo com o Quadro V.4 do RCCTE.
- Fator solar do envidraçado no inverno, considerando a existência de uma cortina interior muito transparente de cor clara -  $g_{\perp \text{inverno}} = 0,63$ , de acordo com o Quadro V.4 do RCCTE.
- Fator solar do envidraçado no verão, com a proteção solar ativada a 70% -  $g_{\perp \text{verão}} = (0,30 \times g_{\perp v}) + (0,70 \times g_{\perp 100\%}) = (0,30 \times 0,75) + (0,70 \times 0,37) = 0,48$ .

### 5.6.3 – Ventilação

Por razões de higiene e conforto dos ocupantes, é necessário que o edifício seja ventilado em permanência por um caudal mínimo de ar.

Durante toda a estação de aquecimento, a energia necessária para compensar estas perdas é calculada pela seguinte expressão (Anexo IV do RCCTE):

$$Q_v = 0,024 \times (0,34 \times R_{ph} \times A_p \times P_d) \times GD \text{ (kWh/ano)} \quad (48)$$

em que:

$A_p$  - Área útil de pavimento [ $\text{m}^2$ ]

$P_d$  - Pé-direito médio [m]

$R_{ph}$  - Número de renovações horárias do ar interior (taxa de renovação nominal) [ $\text{h}^{-1}$ ]

GD - Graus-dias [ $\text{°C} \cdot \text{dias}$ ]

$$Q_v = 0,024 \times (0,34 \times R_{ph} \times 148,65 \times 2,64) \times 1390 \text{ (kWh/ano)}$$

Tendo em conta que o edifício em estudo se situa em Évora, na periferia de uma zona urbana e a sua altura acima do solo é inferior a 10 m, conclui-se que a classe de exposição ao vento das fachadas do edifício é a classe II, de acordo com o Quadro IV.2 do RCCTE.

Considera-se que não existem dispositivos de admissão de ar nas fachadas do edifício, as caixilharias possuem a classe 2 relativamente à sua permeabilidade ao ar, existem caixas de estore na maioria dos vãos envidraçados, as portas do edifício são bem vedadas através da aplicação de borrachas em todo o seu perímetro e a área de vãos envidraçados (20,42 m<sup>2</sup>) é inferior a 15% da área útil de pavimento (0,15 X 148,65 = 22,30 m<sup>2</sup>). O valor de R<sub>ph</sub> a considerar neste caso é 0,89 h<sup>-1</sup>, de acordo com o Quadro IV.1 do RCCTE.

$$Q_v = 0,024 \times (0,34 \times 0,89 \times 148,65 \times 2,64) \times 1390 = 3961,50 \text{ (kWh/ano)}$$

#### 5.6.4 – Água quente sanitária

O sistema de apoio, para preparação de água quente sanitária, considerado neste caso, é um termoacumulador elétrico com menos de 50 mm de isolamento térmico e eficiência de 0,80. A rede de tubagem de distribuição de AQS não é isolada com pelo menos 10 mm de isolamento térmico, logo o valor da eficiência deverá ser diminuído de 0,10, passando para 0,70.

A contribuição de sistemas de coletores solares para aquecimento de AQS (E<sub>solar</sub>) é calculada utilizando o programa SOLTERM do INETI.

O sistema solar térmico considerado é constituído por cinco coletores planos padrão, com 1,00 m<sup>2</sup> de área cada, perfazendo 5 m<sup>2</sup> no total. Ambos são instalados na cobertura inclinada do edifício orientada a sul e com a inclinação da mesma, ou seja 18°. O depósito de acumulação possui 200l de capacidade, localiza-se no interior da fração e é instalado na posição vertical. O depósito é constituído por material médio condutor de calor.

Considera-se que 5 pessoas ocupam a moradia unifamiliar T4 (só para efeitos de aplicação do RCCTE), segundo o Quadro VI.1 do RCCTE. A temperatura de abastecimento de água ao longo do ano é 15 °C e a temperatura nominal de consumo é 60 °C. Considerou-se também que cada ocupante consome diariamente 40l de AQS.

A energia captada pelo sistema, numa base anual, é de 2409 kWh/ano.

A cobertura tem exposição adequada e não é sombreada por obstáculos significativos no período que inicia diariamente duas horas depois do nascer do Sol e termina duas horas antes do ocaso.

O relatório do SolTerm 5.0 com o cálculo detalhado é apresentado no Anexo 2 (relatório energético 1).

### 5.6.5 – Sistema de climatização

O edifício tem previsto um sistema de climatização, tipo multi-split, com unidades interiores instaladas nos principais espaços, e com eficiências nominais de 4 e 3 (art.18º do RCCTE), respetivamente para o sistema de aquecimento e arrefecimento.

### 5.7 – Quantificação dos requisitos energéticos e verificação do RCCTE

Os índices térmicos fundamentais a quantificar são os valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N<sub>ic</sub>), das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N<sub>vc</sub>), das necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias (N<sub>ac</sub>), bem como das necessidades globais de energia primária (N<sub>tc</sub>).

De acordo com os artigos 5.º, 6.º, 7.º e 8.º a verificação do RCCTE pressupõe:

$$N_{ic} \leq N_i \text{ [kWh/(m}^2\text{.ano)]}$$

$$N_{vc} \leq N_v \text{ [kWh/(m}^2\text{.ano)]}$$

$$N_{ac} \leq N_a \text{ [kWh/(m}^2\text{.ano)]}$$

$$N_{tc} \leq N_t \text{ [kgep/(m}^2\text{.ano)]}$$

Após a realização da primeira verificação de cumprimento do RCCTE, cujas tabelas de cálculo se encontram no Anexo 3, os valores calculados para a fração autónoma em estudo, demonstram que o RCCTE não é cumprido, pois o valor limite das necessidades globais anuais nominais de energia primária é ultrapassado ( $N_{tc} \geq N_t$ ), de acordo com o Quadro 5.26.

**Quadro 5.26 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 1**

<b>N<sub>ic</sub></b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>N<sub>vc</sub></b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>N<sub>ac</sub></b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>N<sub>tc</sub></b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
64,31	8,91	20,51	6,50
<b>N<sub>i</sub></b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>N<sub>v</sub></b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>N<sub>a</sub></b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>N<sub>t</sub></b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
74,39	32,00	39,78	6,33

<b>N<sub>tc</sub> / N<sub>t</sub></b>
1,03 (Classe Energética C)

Para o cálculo das pontes térmicas lineares consideraram-se as seguintes configurações, ilustradas na Tabela IV.3 do RCCTE:

- Isolamento na caixa de ar de paredes duplas, na ligação da fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exteriores:
  - Ligação da fachada com pavimento interior sobre a cave, com 13,48 m de comprimento e  $\Psi = 0,57 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ .
  - Ligação da fachada com pavimento interior sobre a caixa de escadas, que liga a cave aos r/chão, com 2,94 m de comprimento e  $\Psi = 0,52 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ .
  - Ligação da fachada com pavimento exterior, com 4,27 m de comprimento e  $\Psi = 0,67 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ .
- Isolamento na caixa de ar de paredes duplas, na ligação da fachada com pavimentos intermédios:
  - Ligação da fachada com pavimento intermédio, com 3,33 m de comprimento e  $\Psi = 0,52 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ .
  - Ligação da fachada com pavimento intermédio, com 4,42 m de comprimento e  $\Psi_{\text{inf.}} = 0,26 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ .
- Isolamento na caixa de ar de paredes duplas, na ligação da fachada com cobertura inclinada ou terraço:
  - Ligação da fachada com cobertura plana exterior, com 5,96 m de comprimento e  $\Psi = 0,68 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ .
  - Ligação da fachada com desvão de cobertura, com 23,98 m de comprimento e  $\Psi = 0,64 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ .
- Isolamento na caixa de ar de paredes duplas, na ligação da fachada com varanda:
  - Ligação da fachada com varanda, com 7,74 m de comprimento e  $\Psi_{\text{sup.}} = 0,41 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ .
  - Ligação da fachada com varanda, com 3,15 m de comprimento e  $\Psi = 0,82 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ .
- Isolamento na caixa de ar de paredes duplas, na ligação entre duas paredes verticais:

- Ligação entre duas paredes verticais, com 20,80 m de comprimento e  $\Psi = 0,20$  W/m.°C.
- Isolamento na caixa de ar de paredes duplas, na ligação da fachada com caixa de estore:
  - Ligação da fachada com caixa de estore, com 12,55 m de comprimento e  $\Psi = 0,00$  W/m.°C.
- Isolamento na caixa de ar de paredes duplas, na ligação da fachada com padieira, ombreira ou peitoril:
  - Ligação da fachada com padieira, ombreira ou peitoril, com 68,52 m de comprimento e  $\Psi = 0,20$  W/m.°C.
- Ponte térmica linear não tipificada com  $\Psi = 0,50$  W/m.°C, de acordo com a resposta à questão I.11 das Perguntas e Respostas sobre o RCCTE da Adene, versão 2.0 de maio de 2011 [21]:
  - Ligação da fachada com pavimento na zona de vãos envidraçados de sacada e porta exterior, com 8,15 m de comprimento e  $\Psi = 0,50$  W/m.°C.

## **5.8 – Análise de soluções construtivas que visam melhorar a eficiência energética da moradia unifamiliar**

Na primeira verificação de cumprimento do RCCTE para a moradia em estudo, a localização considerada é o concelho de Évora. Contudo esta localização não conduz aos piores valores relativamente aos índices térmicos e classe energética na zona climática  $V_3 I_1$ . Procurou-se então determinar qual a localização mais desfavorável para a moradia em estudo, ou seja, o concelho que permite obter o valor mais elevado da razão  $N_{tc}/N_t$ , como se pode verificar no Quadro 5.27. Os valores de energia captada pelo sistema solar térmico, variam conforme for o concelho considerado. O valor de  $E_{\text{solar}}$  utilizado em cada um dos concelhos, foi calculado com o software SolTerm 5.0.

**Quadro 5.27 – Concelhos de Portugal Continental localizados na zona climática V<sub>3</sub> I<sub>1</sub>**

Concelho	Número de graus-dias (GD) (°C.dias)	Duração da estação de aquecimento (meses)	Energia captada pelo sistema solar térmico (kwh)	Ntc/Nt	Classe energética
Alandroal	1320	6	2413	1,024	C
Alcácer do Sal	1240	5,3	2390	1,035	C
Alcochete	1150	5,3	2370	1,041	C
Alcoutim	1270	5	2472	1,012	C
Aljustrel	1260	5,7	2413	1,026	C
Almeirim	1340	5,7	2332	1,051	C
Almodôvar	1390	5,7	2400	1,030	C
Alpiarça	1360	5,7	2333	1,051	C
Alter do Chão	1340	6	2324	1,052	C
Alvito	1220	5,3	2434	1,021	C
Arraiolos	1380	5,7	2396	1,031	C
Arronches	1460	6,3	2350	1,042	C
Avis	1230	5,7	2362	1,041	C
Azambuja	1360	5,7	2327	1,053	C
Barrancos	1250	5,7	2464	1,010	C
Beja	1290	5,7	2429	1,021	C
Benavente	1180	5,3	2353	1,046	C
Borba	1500	6	2374	1,037	C
Campo Maior	1330	6,3	2376	1,034	C
Cartaxo	1250	5,3	2328	1,054	C
Castro Marim	1100	4,7	2491	1,006	C
Castro Verde	1230	5,7	2425	1,022	C
Coruche	1350	5,7	2351	1,045	C
Crato	1460	6,3	2302	1,057	C
Cuba	1320	5,7	2452	1,014	C
Elvas	1410	6	2422	1,022	C
Entroncamento	1470	6	2296	1,064	C
Estremoz	1460	6	2386	1,033	C
Évora	1390	5,7	2409	1,027	C
Ferreira do Alentejo	1220	5,7	2438	1,018	C
Fronteira	1320	6	2329	1,050	C
Golegã	1380	6	2338	1,051	C
Mértola	1230	5,7	2429	1,020	C
Monforte	1430	6,3	2349	1,042	C
Montemor-o-Novo	1410	5,3	2386	1,037	C
Montijo	1260	5,3	2336	1,052	C
Mora	1270	5,7	2385	1,034	C
Moura	1310	5,7	2457	1,012	C
Mourão	1290	5,7	2444	1,016	C
Ourique	1300	5,7	2406	1,028	C
Palmela	1190	5,3	2359	1,045	C
Ponte de Sor	1440	6	2358	1,041	C
Portel	1400	5,7	2455	1,013	C
Redondo	1400	6	2434	1,018	C
Reguengos de Monsaraz	1310	6	2450	1,013	C
Salvaterra de Magos	1250	5,3	2359	1,045	C
Santarém	1440	5,7	2329	1,052	C
Serpa	1330	5,7	2455	1,013	C
Sousel	1290	6	2358	1,041	C
Vendas Novas	1320	5,3	2398	1,033	C
Viana do Alentejo	1300	5,3	2412	1,028	C
Vidigueira	1300	5,7	2468	1,009	C
Vila Franca de Xira	1220	5,3	2370	1,041	C
Vila Real de Santo António	1060	4,3	2480	1,012	C
Vila Viçosa	1410	6	2412	1,025	C

Após determinar os índices energéticos para todos os concelhos localizados na zona climática V<sub>3</sub> I<sub>1</sub>, conclui-se que os concelhos do Crato, Cartaxo e Entroncamento, são os que conduzem a piores resultados em termos de eficiência energética da moradia em estudo. O quociente entre Ntc e Nt é mais elevado nos concelhos referidos, conduzindo a uma eficiência energética mais baixa. Destes concelhos o mais prejudicial é o do Entroncamento, pois apresenta o valor mais elevado de Ntc/Nt, ou seja 1,064.

É com base nos índices térmicos da segunda verificação do RCCTE, considerando a localização no concelho de Entroncamento, que se vão aplicar medidas de melhoria para a eficiência energética da moradia. Vão ser realizadas alterações ao nível das soluções construtivas aplicadas inicialmente e comparados os resultados obtidos.

**Quadro 5.28 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 2**

<b>Nic</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nvc</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nac</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Ntc</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
68,16	5,25	21,27	6,71
<b>Ni</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nv</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Na</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nt</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
78,41	26	39,78	6,31

<b>Ntc / Nt</b>
1,064 (Classe Energética C)

### **5.8.1 – Aumento da espessura de isolamento térmico nas paredes exteriores em zona corrente**

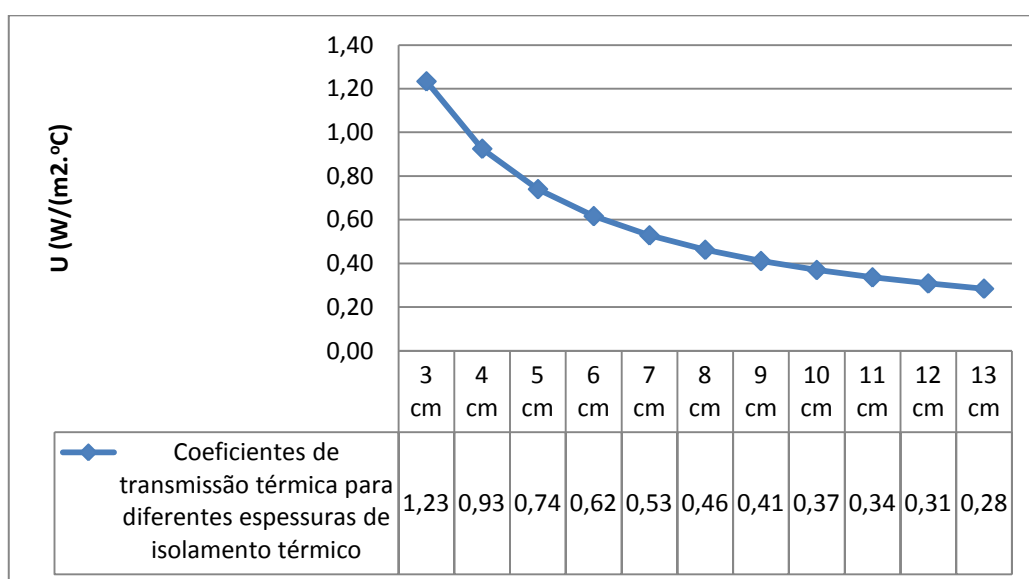
Considera-se nesta análise que o material de isolamento térmico possui uma condutibilidade térmica igual a 0,037 W/m.°C. Como se pode comprovar pelo Gráfico 5.1, quanto maior for a espessura de isolamento térmico menor é o valor do coeficiente de transmissão térmica, contudo a diminuição deste valor é maior quando se passa de 3 cm de isolamento para 4 cm, do que quando se passa de 12 cm para 13 cm. Esta situação deve-se ao facto do valor do coeficiente de transmissão térmica, ser inversamente proporcional ao valor da resistência térmica, ou seja, trata-se de uma função racional do tipo  $y=1/x$ , em que o valor de y se aproxima de 0 quando o valor de x aumenta. O valor de x que neste caso é a resistência térmica, aumenta significativamente quando se aumenta a espessura de isolamento térmico,

contudo para valores elevados de resistência térmica, os aumentos de espessura de isolamento térmico, não conduzem a uma variação tão elevada do valor do coeficiente de transmissão térmica, como no caso de valores menores de resistência térmica.

No Quadro 5.29 apresentam-se os valores dos índices térmicos para diferentes espessuras de isolamento térmico em paredes exteriores. Considera-se que a espessura das paredes exteriores é constante e igual a 38 cm. O aumento da espessura de isolamento é compensado com a diminuição da espessura da caixa de ar, ou da espessura dos tijolos cerâmicos considerados. Para 5 cm, 9 cm e 13 cm de espessura de isolamento térmico, considera-se que a caixa de ar é totalmente preenchida por isolante térmico.

No Anexo 4 encontram-se os Quadros relativos à caracterização das paredes exteriores para as diferentes espessuras de isolamento térmico consideradas.

**Gráfico 5.1 – Coeficientes de transmissão térmica para diferentes espessuras de isolamento térmico**



De referir que os coeficientes de transmissão térmica referidos no Gráfico 5.1, contemplam apenas a existência de isolante térmico com condutibilidade térmica igual a 0,037 W/m.°C, ou seja, o valor de “U” é igual à razão entre 0,037 W/m.°C e a espessura de isolamento térmico.

Como se pode verificar no Gráfico 5.1, o valor de U diminui 0,3 W/m<sup>2</sup>.°C quando se passa de 3 cm de isolamento térmico para 4 cm, já quando se passa de 12 cm para 13 cm o valor de U diminui apenas 0,03 W/m<sup>2</sup>.°C.



**Quadro 5.29 – Índices térmicos para diferentes espessuras de isolamento térmico em paredes exteriores  
(verificação de cumprimento do RCCTE n.º 3)**

Estação de Aquecimento	Espessura de Isolamento Térmico											
	3cm	4cm	5cm	6cm	7cm	8cm	9cm	10cm	11cm	12cm	13cm	
<b>Perdas Térmicas (W/°C)</b>												
Envolvente Exterior:												
Paredes Exteriores	53,30	48,49	46,55	44,39	41,10	38,39	36,14	35,04	33,28	31,77	30,44	
Pavimentos Exteriores	3,91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Coberturas Exteriores	17,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Pontes Térmicas Lineares	61,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Envolvente Interior:												
Paredes em Contacto com Espaços não Úteis	30,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Pavimentos sobre Espaços não Úteis	27,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cobertura Interiores	54,49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Vãos Envidraçados	55,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Renovação de Ar	118,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)</b>	4800,18	4798,93	4798,41	4797,82	4796,89	4796,09	4795,42	4795,08	4794,53	4794,05	4793,62	
<b><u>Ntc (kWh/m2.ano)</u></b>	68,16	67,02	66,57	66,06	65,28	64,65	64,12	63,86	63,44	63,09	62,78	
<b><u>Ni (kWh/m2.ano)</u></b>	78,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Estação de Arrefecimento</b>												
<b>Ganhos Solares Pela Envolvente Opaca Exterior (kWh)</b>	287,02	261,85	251,67	240,36	223,12	208,95	197,17	191,40	182,18	174,25	167,32	
<b>Ganhos Solares Pelos Envidraçados Exteriores (kWh)</b>	687,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Ganhos Internos (kWh)</b>	1740,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b><u>Nvc (kWh/m2.ano)</u></b>	5,25	5,29	5,30	5,32	5,35	5,37	5,39	5,40	5,42	5,43	5,44	
<b><u>Nv (kWh/m2.ano)</u></b>	26,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>AQS</b>												
<b><u>Nac (kWh/m2.ano)</u></b>	21,27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b><u>Na (kWh/m2.ano)</u></b>	39,78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Energia Primária</b>												
<b><u>Ntc (kgep/m2.ano)</u></b>	6,71	6,71	6,70	6,70	6,69	6,69	6,69	6,68	6,68	6,68	6,68	
<b><u>Nt (kgep/m2.ano)</u></b>	6,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Parcela Aquecimento (kgep/m2.ano)	0,49	0,49	0,48	0,48	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	
(% do total)	7,36	7,25	7,20	7,15	7,07	7,01	6,95	6,93	6,88	6,85	6,82	
Parcela Arrefecimento (kgep/m2.ano)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
(% do total)	0,76	0,76	0,76	0,77	0,77	0,78	0,78	0,78	0,78	0,79	0,79	
Parcela AQS (kgep/m2.ano)	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	
(% do total)	91,88	91,99	92,03	92,08	92,16	92,22	92,27	92,29	92,33	92,37	92,40	
Ntc/Nt	1,064	1,063	1,062	1,062	1,061	1,060	1,060	1,059	1,059	1,058	1,058	
Classe Energética	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	

Como seria de esperar quanto maior for a espessura de isolamento térmico aplicado nas paredes exteriores, melhores serão os resultados obtidos. Se forem adotados 13 cm de isolamento térmico nas paredes exteriores, o quociente  $N_{tc}/N_t$  passa de 1,064 para 1,058, relativamente à solução com 3 cm de isolamento. A redução anual do consumo de energia é calculada da seguinte forma [33]:

*Necessidades anuais de energia para climatização e produção de AQS*

$$= \frac{N_{ic}}{\eta_i} \times A_p + \frac{N_{vc}}{\eta_v} \times A_p + N_{ac} \times A_p \quad (49)$$

em que:

$\eta_i$  é a eficiência nominal do equipamento de climatização da estação de aquecimento, ou seja 4.

$\eta_v$  é a eficiência nominal do equipamento de climatização da estação de arrefecimento, ou seja 3.

Se forem considerados 3 cm de isolamento térmico:

$$\frac{68,16}{4} \times 148,65 + \frac{5,25}{3} \times 148,65 + 21,27 \times 148,65 = 5955,11 \text{ kWh}$$

Se forem considerados 13 cm de isolamento térmico:

$$\frac{62,78}{4} \times 148,65 + \frac{5,44}{3} \times 148,65 + 21,27 \times 148,65 = 5764,75 \text{ kWh}$$

Com a utilização de 13 cm de isolamento térmico em vez de 3 cm, é possível reduzir o consumo anual de energia em 190,36 kWh.

Para se garantir o cumprimento do RCCTE, relativamente ao ponto 2 do Anexo IX, é necessário garantir que as pontes térmicas planas em zona de pilares, vigas ou caixas de estore, não possuam um coeficiente de transmissão térmica, superior ao dobro do verificado nos elementos homólogos (verticais ou horizontais) em zona corrente. Desta forma é necessário alterar a constituição da ponte térmica plana de pilares e vigas em paredes exteriores e da ponte térmica plana de caixa de estore.

Tendo em conta que a análise de soluções construtivas vai prosseguir considerando que foram adotados 13 cm de isolamento térmico nas paredes exteriores, o valor máximo do coeficiente

de transmissão térmica das respetivas pontes térmicas, será igual a  $2 \times 0,24$ , ou seja  $0,48$  ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ).

A ponte térmica plana da caixa de estore (PE1ptp2), terá que ser constituída de acordo com o Quadro 5.30.

**Quadro 5.30 – Caracterização da ponte térmica plana de caixa de estore (PE1ptp2), utilizada na verificação de cumprimento do RCCTE n.º 4**

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ ( $W/m \cdot ^\circ C$ )	Resistência $R_t$ ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )	Referência	mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
	Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
1	Reboco	0,01	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	20	20
2	Tijolo Furado 4	0,04		0,10	pag I.12 ITE50 LNEC	40	40
3	isolante Térmico	0,07	0,037	1,89	pag I.3 ITE50 LNEC		
	Rse = Rsi - dentro da caixa de estore			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total		0,38					
Coeficiente de Transmissão Térmica U ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )				<b>0,44</b>			

mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
60	60
Msi = mi ≤ 150 kg/m <sup>2</sup>	
<b>Msi = 60 kg/m<sup>2</sup></b>	

<b>U<sub>max</sub> = 0,48 (<math>W/m^2 \cdot ^\circ C</math>)</b>	
---	--

A ponte térmica plana de pilares e vigas em paredes exteriores com 38 cm de espessura (PE1ptp1), terá que ser constituída de acordo com o Quadro 5.31.

**Quadro 5.31 – Caracterização da ponte térmica plana de pilares e vigas em paredes exteriores (PE1ptp1), utilizada na verificação de cumprimento do RCCTE n.º 4**

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ ( $W/m \cdot ^\circ C$ )	Resistência $R_t$ ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )	Referência	mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
	Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
1	Reboco	0,01	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	20	20
2	Elemento em Betão Armado	0,25	2,30	0,11	pag I.5 ITE50 LNEC	600	600
3	Isolante Térmico	0,07	0,037	1,89	pag I.3 ITE50 LNEC		
4	Tijolo Furado 4	0,04	-	0,10	pag I.12 ITE50 LNEC	40	0
5	Reboco	0,01	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	20	0
	Rse			0,04	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total		0,38					
Coeficiente de Transmissão Térmica U ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )				<b>0,44</b>			

mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
680	620
Msi = mi ≤ 150 kg/m <sup>2</sup>	
<b>Msi = 150 kg/m<sup>2</sup></b>	

<b>U<sub>max</sub> = 0,48 (<math>W/m^2 \cdot ^\circ C</math>)</b>	
---	--

No Quadro 5.32 apresentam-se os valores dos índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 4, na qual já se utilizam os coeficientes de transmissão térmica das pontes térmicas planas, caracterizadas nos Quadros 5.30 e 5.31.

**Quadro 5.32 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 4**

<b>Nic</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nvc</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nac</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Ntc</b> kgep/m <sup>2</sup> .ano
62,27	5,46	21,27	6,67
<b>Ni</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nv</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Na</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nt</b> kgep/m <sup>2</sup> .ano
78,41	26,00	39,78	6,31

<b>Ntc / Nt</b>
1,058 (Classe Energética C)

Com as alterações efetuadas na constituição das pontes térmicas planas atrás referidas, é possível reduzir o consumo anual de energia em 17,97 kWh.

### **5.8.2 – Aumento da espessura de isolamento térmico na cobertura exterior em zona corrente**

No Quadro 5.33 apresentam-se os valores dos índices térmicos, para diferentes espessuras de isolamento térmico na cobertura exterior.

No Anexo 5 encontram-se os Quadros relativos à caracterização da cobertura exterior, para as diferentes espessuras de isolamento térmico consideradas.

**Quadro 5.33 – Índices térmicos para diferentes espessuras de isolamento térmico na cobertura exterior  
(verificação de cumprimento do RCCTE n.º 5)**

Estação de Aquecimento	Espessura de Isolamento Térmico									
	3cm	4cm	5cm	6cm	7cm	8cm	9cm	10cm	11cm	12cm
<b>Perdas Térmicas (<math>W/°C</math>)</b>										
Envolvente Exterior:										
Paredes Exteriores	28,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pavimentos Exteriores	3,91	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coberturas Exteriores	17,30	14,83	13,00	11,60	10,49	9,58	8,84	8,21	7,68	7,29
Pontes Térmicas Lineares	61,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Envolvente Interior:										
Paredes em Contacto com Espaços não Úteis	30,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pavimentos sobre Espaços não Úteis	27,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cobertura Interiores	54,49	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vãos Envidraçados	55,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Renovação de Ar	118,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Ganhos Totais Úteis (<math>kWh/ano</math>)</b>	4792,92	4792,08	4791,45	4790,95	4790,56	4790,23	4789,96	4789,73	4789,53	4789,39
<b><math>N_{ic}</math> (<math>kWh/m^2.ano</math>)</b>	62,27	61,69	61,26	60,93	60,67	60,46	60,28	60,13	60,01	59,92
<b><math>N_i</math> (<math>kWh/m^2.ano</math>)</b>	78,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Estação de Arrefecimento</b>										
Ganhos Solares Pela Envoltura Opaca Exterior ( $kWh$ )	155,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ganhos Solares Pelos Envidraçados Exteriores ( $kWh$ )	687,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ganhos Internos ( $kWh$ )	1740,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b><math>N_{vc}</math> (<math>kWh/m^2.ano</math>)</b>	5,46	5,55	5,62	5,68	5,72	5,75	5,78	5,81	5,83	5,84
<b><math>N_v</math> (<math>kWh/m^2.ano</math>)</b>	26,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>AQS</b>										
<b><math>N_{ac}</math> (<math>kWh/m^2.ano</math>)</b>	21,27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b><math>N_a</math> (<math>kWh/m^2.ano</math>)</b>	39,78	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Energia Primária</b>										
<b><math>N_{tc}</math> (<math>kgep/m^2.ano</math>)</b>	6,67	6,67	6,67	6,67	6,66	6,66	6,66	6,66	6,66	6,66
<b><math>N_t</math> (<math>kgep/m^2.ano</math>)</b>	6,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Parcela Aquecimento ( $kgep/m^2.ano$ )	0,45	0,45	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,43
(% do total)	6,77	6,71	6,66	6,63	6,60	6,58	6,56	6,55	6,53	6,52
Parcela Arrefecimento ( $kgep/m^2.ano$ )	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
(% do total)	0,79	0,80	0,82	0,82	0,83	0,83	0,84	0,84	0,85	0,85
Parcela AQS ( $kgep/m^2.ano$ )	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17
(% do total)	92,44	92,49	92,52	92,55	92,57	92,59	92,60	92,61	92,62	92,63
<b><math>N_{tc}/N_t</math></b>	1,058	1,057	1,057	1,056	1,056	1,056	1,056	1,056	1,056	1,055
Classe Energética	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C

Se forem adotados 3 cm de isolamento térmico na cobertura exterior, as necessidades anuais de energia para climatização e produção de AQS, possuem o seguinte valor:

$$\frac{62,27}{4} \times 148,65 + \frac{5,46}{3} \times 148,65 + 21,27 \times 148,65 = 5746,77 \text{ kWh}$$

Se forem considerados 12 cm de isolamento térmico:

$$\frac{59,92}{4} \times 148,65 + \frac{5,84}{3} \times 148,65 + 21,27 \times 148,65 = 5678,34 \text{ kWh}$$

Com a utilização de 12 cm de isolamento térmico em vez de 3 cm, é possível reduzir o consumo anual de energia em 68,43 kWh.

A análise de soluções construtivas vai prosseguir considerando que foram adotados 12 cm de isolamento térmico na cobertura exterior.

### **5.8.3 – Aumento da espessura de isolamento térmico no pavimento interior sobre a cave em zona corrente**

No Quadro 5.34 apresentam-se os valores dos índices térmicos, para diferentes espessuras de isolamento térmico no pavimento interior sobre a cave.

No Anexo 6 encontram-se os Quadros relativos à caracterização do pavimento interior sobre a cave, para as diferentes espessuras de isolamento térmico consideradas.

Quadro 5.34 – Índices térmicos para diferentes espessuras de isolamento térmico no pavimento interior sobre a cave (verificação de cumprimento do RCCTE n.º 6)

Estação de Aquecimento	Espessura de Isolamento Térmico										
	3cm	4cm	5cm	6cm	7cm	8cm	9cm	10cm	11cm	12cm	13cm
<b>Perdas Térmicas (W/°C)</b>											
Envolvente Exterior:											
Paredes Exteriores	28,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pavimentos Exteriores	3,91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coberturas Exteriores	7,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pontes Térmicas Lineares	61,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Envolvente Interior:											
Paredes em Contacto com Espaços não Úteis	30,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pavimentos sobre Espaços não Úteis	27,62	23,97	21,35	19,21	17,50	16,15	15,00	14,08	13,25	12,57	11,98
Cobertura Interiores	54,49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vãos Envidraçados	55,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Renovação de Ar	118,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)</b>	4789,39	4788,00	4786,96	4786,09	4785,38	4784,81	4784,31	4783,92	4783,55	4783,25	4782,98
<b>Nic (kWh/m2.ano)</b>	59,92	59,06	58,45	57,95	57,54	57,23	56,96	56,74	56,55	56,39	56,25
<b>Ni (kWh/m2.ano)</b>	78,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Estação de Arrefecimento</b>											
Ganhos Solares Pela Envolvente Opaca Exterior (kWh)	155,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ganhos Solares Pelos Envidraçados Exteriores (kWh)	687,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ganhos Internos (kWh)	1740,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Nvc (kWh/m2.ano)</b>	5,84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Nv (kWh/m2.ano)</b>	26,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>AQS</b>											
<b>Nac (kWh/m2.ano)</b>	21,27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Na (kWh/m2.ano)</b>	39,78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Energia Primária</b>											
<b>Ntc (kgep/m2.ano)</b>	6,66	6,65	6,65	6,65	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,63	6,63
<b>Nt (kgep/m2.ano)</b>	6,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Parcela Aquecimento (kgep/m2.ano)	0,43	0,43	0,42	0,42	0,42	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
(% do total)	6,52	6,44	6,37	6,32	6,28	6,25	6,22	6,20	6,18	6,16	6,15
Parcela Arrefecimento (kgep/m2.ano)	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
(% do total)	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Parcela AQS (kgep/m2.ano)	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17
(% do total)	92,63	92,72	92,78	92,83	92,87	92,90	92,93	92,95	92,97	92,99	93,00
Ntc/Nt	1,055	1,054	1,054	1,053	1,053	1,052	1,052	1,052	1,052	1,051	1,051
Classe Energética	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C

Se forem adotados 3 cm de isolamento térmico no pavimento interior sobre a cave, as necessidades anuais de energia para climatização e produção de AQS, possuem o seguinte valor:

$$\frac{59,92}{4} \times 148,65 + \frac{5,84}{3} \times 148,65 + 21,27 \times 148,65 = 5678,34 \text{ kWh}$$

Se forem considerados 13 cm de isolamento térmico:

$$\frac{56,25}{4} \times 148,65 + \frac{5,84}{3} \times 148,65 + 21,27 \times 148,65 = 5542,03 \text{ kWh}$$

Com a utilização de 13 cm de isolamento térmico em vez de 3 cm, é possível reduzir o consumo anual de energia em 136,31 kWh.

A análise de soluções construtivas vai prosseguir considerando que foram adotados 13 cm de isolamento térmico no pavimento interior sobre a cave.

#### **5.8.4 – Aumento da espessura de isolamento térmico na cobertura interior plana sob o desvão de cobertura em zona corrente**

No Quadro 5.35 apresentam-se os valores dos índices térmicos, para diferentes espessuras de isolamento térmico na cobertura interior plana sob o desvão de cobertura.

No Anexo 7 encontram-se os Quadros relativos à caracterização da cobertura interior plana sob o desvão de cobertura, para as diferentes espessuras de isolamento térmico consideradas.



**Quadro 5.35 – Índices térmicos para diferentes espessuras de isolamento térmico na cobertura interior plana sob desvão de cobertura (verificação de cumprimento do RCCTE n.º 7)**

Estação de Aquecimento	Espessura de Isolamento Térmico											
	3cm	4cm	5cm	6cm	7cm	8cm	9cm	10cm	11cm	12cm	13cm	
<b>Perdas Térmicas (W/°C)</b>												
Envolvente Exterior:												
Paredes Exteriores	28,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pavimentos Exteriores	3,91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coberturas Exteriores	7,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pontes Térmicas Lineares	61,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Envolvente Interior:												
Paredes em Contacto com Espaços não Úteis	30,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pavimentos sobre Espaços não Úteis	11,98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cobertura Interiores	54,49	44,93	38,40	33,60	29,97	27,08	24,74	22,83	21,23	19,87	18,70	
Vãos Envidraçados	55,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Renovação de Ar	118,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)</b>	4782,98	4778,44	4775,03	4772,33	4770,19	4768,40	4766,92	4765,67	4764,60	4763,68	4762,87	
<b><u>Nic (kWh/m2.ano)</u></b>	56,25	54,01	52,49	51,37	50,52	49,84	49,30	48,85	48,48	48,17	47,89	
<b><u>Ni (kWh/m2.ano)</u></b>	78,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Estação de Arrefecimento</b>												
<b>Ganhos Solares Pela Envolvente Opaca Exterior (kWh)</b>	155,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Ganhos Solares Pelos Envidraçados Exteriores (kWh)</b>	687,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Ganhos Internos (kWh)</b>	1740,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b><u>Nvc (kWh/m2.ano)</u></b>	5,84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b><u>Nv (kWh/m2.ano)</u></b>	26,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>AQS</b>												
<b><u>Nac (kWh/m2.ano)</u></b>	21,27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b><u>Na (kWh/m2.ano)</u></b>	39,78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Energia Primária</b>												
<b><u>Ntc (kgep/m2.ano)</u></b>	6,63	6,62	6,61	6,60	6,59	6,59	6,58	6,58	6,58	6,57	6,57	
<b><u>Nt (kgep/m2.ano)</u></b>	6,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Parcela Aquecimento (kgep/m2.ano)	0,41	0,39	0,38	0,37	0,37	0,36	0,36	0,35	0,35	0,35	0,35	
(% do total)	6,15	5,92	5,76	5,64	5,56	5,49	5,43	5,38	5,34	5,31	5,28	
Parcela Arrefecimento (kgep/m2.ano)	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	
(% do total)	0,85	0,85	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	
Parcela AQS (kgep/m2.ano)	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	
(% do total)	93,00	93,23	93,38	93,50	93,59	93,66	93,71	93,76	93,80	93,83	93,86	
Ntc/Nt	1,051	1,049	1,047	1,046	1,045	1,044	1,043	1,043	1,042	1,042	1,042	
Classe Energética	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	

Se forem adotados 3 cm de isolamento térmico na cobertura interior plana sob desvão de cobertura, as necessidades anuais de energia para climatização e produção de AQS, possuem o seguinte valor:

$$\frac{56,25}{4} \times 148,65 + \frac{5,84}{3} \times 148,65 + 21,27 \times 148,65 = 5542,03 \text{ kWh}$$

Se forem considerados 13 cm de isolamento térmico:

$$\frac{47,89}{4} \times 148,65 + \frac{5,84}{3} \times 148,65 + 21,27 \times 148,65 = 5231,43 \text{ kWh}$$

Com a utilização de 13 cm de isolamento térmico em vez de 3 cm, é possível reduzir o consumo anual de energia em 310,60 kWh.

A análise de soluções construtivas vai prosseguir considerando que foram adotados 13 cm de isolamento térmico na cobertura interior plana sob desvão de cobertura.

#### **5.8.5 – Aumento da espessura de isolamento térmico nas paredes interiores em contacto com espaços não úteis em zona corrente**

No Quadro 5.36 apresentam-se os valores dos índices térmicos, para diferentes espessuras de isolamento térmico nas paredes interiores em contacto com espaços não úteis. Os espaços não úteis considerados são os edifícios adjacentes.

No Anexo 8 encontram-se os Quadros relativos à caracterização das paredes interiores em contacto com espaços não úteis, para as diferentes espessuras de isolamento térmico consideradas.

**Quadro 5.36 – Índices térmicos para diferentes espessuras de isolamento térmico nas paredes interiores em contacto com espaços não úteis (verificação de cumprimento do RCCTE n.º 8)**

Estação de Aquecimento	Espessura de Isolamento Térmico									
	3cm	4cm	5cm	6cm	7cm	8cm	9cm	10cm	11cm	12cm
<b>Perdas Térmicas (W/°C)</b>										
Envolvente Exterior:										
Paredes Exteriores	28,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pavimentos Exteriores	3,91	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coberturas Exteriores	7,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pontes Térmicas Lineares	61,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Envolvente Interior:										
Paredes em Contacto com Espaços não Úteis	30,37	27,73	26,63	24,15	22,61	21,32	20,78	19,49	18,59	17,85
Pavimentos sobre Espaços não Úteis	11,98	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cobertura Interiores	18,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vãos Envidraçados	55,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Renovação de Ar	118,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)</b>	4762,87	4760,99	4760,20	4758,35	4757,17	4756,17	4755,74	4754,71	4753,99	4753,38
<b><i>Nic (kWh/m2.ano)</i></b>	47,89	47,28	47,02	46,45	46,09	45,79	45,66	45,36	45,16	44,98
<b><i>Ni (kWh/m2.ano)</i></b>	78,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Estação de Arrefecimento</b>										
Ganhos Solares Pela Envolvente Opaca Exterior (kWh)										
	155,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ganhos Solares Pelos Envidraçados Exteriores (kWh)										
	687,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ganhos Internos (kWh)										
	1740,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b><i>Nvc (kWh/m2.ano)</i></b>	5,84	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b><i>Nv (kWh/m2.ano)</i></b>	26,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>AQS</b>										
<b><i>Nac (kWh/m2.ano)</i></b>	21,27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b><i>Na (kWh/m2.ano)</i></b>	39,78	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Energia Primária</b>										
<b><i>Ntc (kgep/m2.ano)</i></b>	6,57	6,57	6,57	6,56	6,56	6,56	6,56	6,55	6,55	6,55
<b><i>Nt (kgep/m2.ano)</i></b>	6,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Parcela Aquecimento (kgep/m2.ano)										
	0,35	0,34	0,34	0,34	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
(% do total)	5,28	5,22	5,19	5,13	5,09	5,06	5,05	5,02	5,00	4,98
Parcela Arrefecimento (kgep/m2.ano)										
	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
(% do total)	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
Parcela AQS (kgep/m2.ano)										
	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17	6,17
(% do total)	93,86	93,92	93,95	94,01	94,04	94,08	94,09	94,12	94,14	94,16
<b>Ntc/Nt</b>	1,042	1,041	1,041	1,040	1,040	1,039	1,039	1,039	1,039	1,038
<b>Classe Energética</b>	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C

Se forem adotados 3 cm de isolamento térmico nas paredes interiores em contacto com espaços não úteis, as necessidades anuais de energia para climatização e produção de AQS, possuem o seguinte valor:

$$\frac{47,89}{4} \times 148,65 + \frac{5,84}{3} \times 148,65 + 21,27 \times 148,65 = 5231,43 \text{ kWh}$$

Se forem considerados 12 cm de isolamento térmico:

$$\frac{44,98}{4} \times 148,65 + \frac{5,84}{3} \times 148,65 + 21,27 \times 148,65 = 5123,32 \text{ kWh}$$

Com a utilização de 12 cm de isolamento térmico em vez de 3 cm, é possível reduzir o consumo anual de energia em 108,11 kWh.

Para se garantir o cumprimento do RCCTE, relativamente ao ponto 2 do Anexo IX, é necessário garantir que as pontes térmicas planas em zona de pilares, vigas ou caixas de estore, não possuam um coeficiente de transmissão térmica, superior ao dobro do verificado nos elementos homólogos (verticais ou horizontais) em zona corrente. Desta forma é necessário alterar a constituição da ponte térmica plana de pilares e vigas em paredes interiores em contacto com espaços não úteis, que neste caso são edifícios adjacentes.

Tendo em conta que a análise de soluções construtivas vai prosseguir, considerando que foram adotados 12 cm de isolamento térmico nas paredes interiores em contacto com os edifícios adjacentes, o valor máximo do coeficiente de transmissão térmica da respetiva ponte térmica, será igual a  $2 \times 0,24$ , ou seja  $0,48 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)}$ .

A ponte térmica plana de pilares e vigas em paredes interiores que contactam com os edifícios adjacentes, com 38 cm de espessura (PENU2ptp1), terá que ser constituída de acordo com o Quadro 5.37.

**Quadro 5.37 – Caracterização da ponte térmica plana de pilares e vigas em paredes que contactam com os edifícios adjacentes (PENU2ptp1), utilizada na verificação de cumprimento do RCCTE n.º 9**

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
	Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
1	Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
2	Elemento em Betão Armado	0,25	2,30	0,11	pag I.5 ITE50 LNEC	600	600
3	Isolante Térmico	0,06	0,037	1,62	pag I.3 ITE50 LNEC		
4	Tijolo Furado 4	0,04	-	0,10	pag I.12 ITE50 LNEC	40	0
5	Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
	Rse=Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total		0,38				mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,47</b>		700	630
						Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
						<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$U_{max} = 0,48$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
---

No Quadro 5.38 apresentam-se os valores dos índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 9, na qual já se utilizam os coeficientes de transmissão térmica da ponte térmica plana, caracterizada no Quadro 5.37.

**Quadro 5.38 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 9**

<b>Nic</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nvc</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nac</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Ntc</b> kgep/m <sup>2</sup> .ano
44,74	5,84	21,27	6,55
<b>Ni</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nv</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Na</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nt</b> kgep/m <sup>2</sup> .ano
78,41	26,00	39,78	6,31

<b>Ntc / Nt</b>
1,038 (Classe Energética C)

Com as alterações efetuadas na constituição da ponte térmica planas atrás referida, é possível reduzir o consumo anual de energia em 9,03 kWh.

### 5.8.6 – Diminuição das perdas associadas à renovação de ar

A classe de caixilharia considerada inicialmente nos vãos envidraçados da moradia unifamiliar, foi a classe 2 e a taxa de renovação nominal de 0,89. Se forem consideradas caixilhariças de classe 3, então a taxa de renovação nominal passa a 0,84 e as perdas térmicas associadas à renovação de ar diminuem 6,67 W/°C. Esta medida permite a diminuição das necessidades anuais de energia para aquecimento e o aumento das necessidades anuais de energia para arrefecimento, como se pode comprovar pelo Quadro 5.39. Em termos globais com a alteração da classe da caixilharia, o valor das necessidades anuais de energia para climatização e produção de AQS, diminui 44,15 kWh.

**Quadro 5.39 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 10**

<b>Nic</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nvc</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nac</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Ntc</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
43,20	6,11	21,27	6,54
<b>Ni</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nv</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Na</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nt</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
78,41	26,00	39,78	6,31

<b>Ntc / Nt</b>
1,037 (Classe Energética C)

Inicialmente não foram considerados dispositivos de admissão de ar na fachada da moradia. Se os mesmos forem considerados e possuírem aberturas autorreguladas, a taxa de renovação nominal passa de 0,84 a 0,74 e as perdas térmicas associadas à renovação de ar diminuem 13,34 W/°C, relativamente à verificação de cumprimento do RCCTE n.º 10. A introdução desta medida permite diminuir o valor das necessidades anuais de energia para climatização e produção de AQS em 86,50 kWh. Os índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 11, são apresentados no Quadro 5.40.

**Quadro 5.40 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 11**

<b>Nic</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nvc</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nac</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Ntc</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
40,12	6,67	21,27	6,52
<b>Ni</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nv</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Na</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nt</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
78,41	26,00	39,78	6,31

<b>Ntc / Nt</b>
1,034 (Classe Energética C)

Uma das formas de diminuir ainda mais o valor das perdas térmicas associadas à renovação de ar, é garantir o cumprimento da NP 1037-1. É necessário que o responsável pela aplicação do RCCTE, demonstre de forma clara e inequívoca o cumprimento desta Norma Portuguesa.

A Norma tem por objetivo definir as regras a que devem obedecer os sistemas de ventilação natural dos edifícios de habitação, de modo a que os mesmos cumpram a sua função nos seus múltiplos aspetos, como seja o funcionamento dos aparelhos a gás e a qualidade do ar interior.

Se for cumprida a NP 1037-1, o valor de Rph a adotar é de 0,6 h<sup>-1</sup> e as perdas térmicas associadas à renovação de ar diminuem 18,68 W/°C, relativamente à verificação de cumprimento do RCCTE n.º 11. Esta medida permite a redução do consumo anual de energia em 115,84 kWh.

Em todos os edifícios que cumprirem esta Norma, é possível garantir que o valor de Rph é 0,60 h<sup>-1</sup>, qualquer que seja a respetiva classe de exposição ao vento das fachadas e classe de caixilharias. Se não for cumprida a NP 1037-1 então quanto maior for a classe de exposição, maior será o valor de Rph a considerar.

Os índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 12, são apresentados no Quadro 5.41.

**Quadro 5.41 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 12**

<b>Nic</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nvc</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nac</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Ntc</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
35,84	7,54	21,27	6,50
<b>Ni</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nv</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Na</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nt</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
78,41	26,00	39,78	6,31

<b>Ntc / Nt</b>
1,030 (Classe Energética C)

### 5.8.7 – Diminuição das necessidades de energia para preparação de água quente sanitária

Considerou-se inicialmente que o sistema de apoio para produção de águas quentes sanitárias, é um termoacumulador elétrico com menos de 50 mm de isolamento térmico e eficiência de 0,80. No entanto se forem considerados pelo menos 100 mm de isolamento térmico, o rendimento do sistema passa de 0,80 para 0,95. A aplicação desta medida permite diminuir o valor das necessidades anuais de energia para climatização e produção de AQS em 963,25 kWh. Permite também cumprir o RCCTE, pois o valor limite das necessidades globais anuais nominais de energia primária é respeitado ( $Ntc \leq Nt$ ).

Os índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 13, são apresentados no Quadro 5.42.

**Quadro 5.42 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 13**

<b>Nic</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nvc</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nac</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Ntc</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
35,84	7,54	14,79	4,62
<b>Ni</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nv</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Na</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nt</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
78,41	26,00	39,78	6,31

<b>Ntc / Nt</b>
0,733 (Classe Energética B)



No caso de se optar por um esquentador a gás, de exaustão ventilada e eficiência de 0,75 a 30% de carga nominal, do tipo Vulcano WTD-KME Sensor Ventilado [24], o valor das necessidades anuais de energia para climatização e produção de AQS aumenta 1383,04 kWh, relativamente à utilização de um termoacumulador elétrico com pelo menos 100 mm de isolamento térmico. No entanto a utilização do esquentador a gás permite obter a classe energética A, dado que o fator de conversão  $F_{pu}$  entre energia útil e energia primária, é 0,086 kgep/kWh no caso de se utilizar gás e 0,290 kgep/kWh no caso de se utilizar eletricidade. Ou seja o valor de Ntc é mais baixo se for utilizado um esquentador a gás, em detrimento de um termoacumulador elétrico com pelo menos 100 mm de isolamento térmico.

Os índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 14, são apresentados no Quadro 5.43.

**Quadro 5.43 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 14**

<b>Nic</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nvc</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nac</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Ntc</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
35,84	7,54	24,10	2,41
<b>Ni</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nv</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Na</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nt</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
78,41	26,00	39,78	6,31

<b>Ntc / Nt</b>
0,381 (Classe Energética A)

A aplicação desta medida permite diminuir o índice Ntc/Nt em 0,352, relativamente à verificação de cumprimento do RCCTE n.º 13. É portanto uma medida que melhora consideravelmente a eficiência energética da moradia em estudo.

A aplicação de mais de 10 mm de isolamento térmico em toda a rede de distribuição de água quente, também permite melhorar significativamente a eficiência energética da moradia. É possível reduzir o índice Nac em 5,28 kWh/m<sup>2</sup>.ano, relativamente à verificação de cumprimento do RCCTE n.º 14. Anualmente é possível reduzir o valor das necessidades de energia para climatização e produção de AQS em 783,68 kWh.

Os índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 15, são apresentados no Quadro 5.44.

**Quadro 5.44 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 15**

<b>Nic</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nvc</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nac</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Ntc</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
35,84	7,54	18,82	1,95
<b>Ni</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nv</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Na</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nt</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
78,41	26,00	39,78	6,31

<b>Ntc / Nt</b>
0,309 (Classe Energética A)

A energia captada pelo sistema de coletores solares planos com inclinação de 18°, é de 2296 kWh/ano, no entanto se for considerada a inclinação de 38°, o valor é de 2425 kWh/ano. A inclinação de 38° foi calculada pelo software SolTerm 5.0, como sendo a inclinação ótima para o sistema solar térmico, ou seja, a que permite captar mais energia solar. O relatório do SolTerm 5.0 com o cálculo detalhado é apresentado no Anexo 2 (relatório energético 2).

Com a alteração da inclinação dos painéis solares, é possível reduzir o valor das necessidades anuais de energia para climatização e produção de AQS em 129,03 kWh.

Os índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 16, são apresentados no Quadro 5.45.

As soluções construtivas que visam melhorar a eficiência energética da moradia unifamiliar, tem sido aplicadas gradualmente neste subcapítulo. Após realizar a verificação de cumprimento do RCCTE n.º 16, é possível concluir que o valor das necessidades anuais de energia para climatização e produção de AQS é menor em 1580,22 kWh, relativamente à verificação de cumprimento do RCCTE n.º 2. A utilização de esquentador a gás, de isolamento térmico com mais de 10 mm na rede de distribuição de água quente e a inclinação dos painéis solares a 38°, contribuem de forma significativa para a obtenção da classe energética A.

**Quadro 5.45 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 16**

<b>Nic</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nvc</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nac</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Ntc</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
35,84	7,54	17,96	1,88
<b>Ni</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nv</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Na</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nt</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
78,41	26,00	39,78	6,31

<b>Ntc / Nt</b>
0,297 (Classe Energética A)

### 5.8.8 – Melhoria dos sistemas que compõem os vãos envidraçados

A caixilharia metálica considerada no caso de estudo e descrita em 5.6.2, não possui corte térmico. Se todos os vãos envidraçados com caixilharia metálica possuírem corte térmico, então o valor do coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite ( $U_{\text{wdn}}$ ) dos vãos envidraçados V2 a V6 e V8 a V12, considerando um dispositivo de oclusão noturna com baixa permeabilidade ao ar, é igual a 2,5 W/m<sup>2</sup>.°C e o coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite ( $U_{\text{wdn}}$ ) dos vãos envidraçados V1 e V7, considerando como dispositivo de oclusão noturna, uma cortina interior opaca, é igual a 2,9 W/m<sup>2</sup>.°C, de acordo com a pág. III.5 do ITE50. Relativamente à verificação de cumprimento do RCCTE n.º16, o valor do índice térmico Nic é menor e o valor de Nvc mais elevado. Esta medida permite diminuir o valor das necessidades anuais de energia para climatização em 24,95 kWh.

Os índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 17, são apresentados no Quadro 5.46.

Por outro lado se forem utilizados vidros com baixa emissividade (low  $\epsilon$  – emitância de 0,40), o valor do coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite dos vãos envidraçados V2 a V6 e V8 a V12, considerando um dispositivo de oclusão noturna com baixa permeabilidade ao ar, é igual a 2,3 W/m<sup>2</sup>.°C e o coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite ( $U_{\text{wdn}}$ ) dos vãos envidraçados V1 e V7, considerando como dispositivo de oclusão noturna, uma cortina interior opaca, é igual a 2,7 W/m<sup>2</sup>.°C, de acordo com a pág. III.5 do ITE50. Esta medida permite diminuir o valor das necessidades anuais de energia para climatização em 24,60 kWh.

Os índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 18, são apresentados no Quadro 5.47.

**Quadro 5.46 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 17**

<b>Nic</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nvc</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nac</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Ntc</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
34,91	7,74	17,96	1,87
<b>Ni</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nv</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Na</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nt</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
78,41	26,00	39,78	6,31

<b>Ntc / Nt</b>
0,297 (Classe Energética A)

**Quadro 5.47 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 18**

<b>Nic</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nvc</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nac</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Ntc</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
33,99	7,93	17,96	1,87
<b>Ni</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nv</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Na</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nt</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
78,41	26,00	39,78	6,31

<b>Ntc / Nt</b>
0,296 (Classe Energética A)

No caso de se optar por melhorar o tipo de vidro, escolhendo vidro duplo reflectante colorido na massa + incolor (6 mm + 14 mm + 5 mm), o valor do fator solar do vidro  $g_{\perp v}$  é igual a 0,35, de acordo com a Tabela IV.4.1 do RCCTE. O fator solar dos vãos envidraçados V2 a V6 e V8 a V12, com a proteção solar ativada a 100% ( $g_{\perp 100\%}$ ), é obtido diretamente do Quadro V.4 do RCCTE, dado que a proteção exterior é opaca, ou seja, é igual a 0,04 para persianas com réguas plásticas de cor clara. O fator solar dos vãos envidraçados V2 a V6 e V8 a V12 no verão, com a proteção solar ativada a 70%, é calculado da seguinte forma:

$$g_{\perp \text{verão}} = (0,30 \times g_{\perp v}) + (0,70 \times g_{\perp 100\%}) = (0,30 \times 0,35) + (0,70 \times 0,04) = 0,133.$$

O fator solar dos vãos envidraçados V1 e V7, com a proteção solar ativada a 100% ( $g_{\perp 100\%}$ ), é calculado com a equação (33), considerando as proteções solares existentes do lado exterior até ao interior e até à primeira proteção opaca, que neste caso são cortinas interiores opacas

de cor clara, ou seja,  $g_{\perp 100\%} = (0,37 \times 0,35) / 0,75 = 0,173$ . O fator solar dos vãos envidraçados V1 e V7 no verão, com a proteção solar ativada a 70%, é calculado da seguinte forma:

$$g_{\perp \text{verão}} = (0,30 \times g_{\perp v}) + (0,70 \times g_{\perp 100\%}) = (0,30 \times 0,35) + (0,70 \times 0,173) = 0,226.$$

Esta medida ao contrário de todas as já apresentadas, aumenta o valor necessidades anuais de energia para climatização em 130,84 kWh. É uma medida benéfica durante a estação de arrefecimento, e prejudicial durante a estação de aquecimento, pois os ganhos solares através dos vãos envidraçados diminuem.

Os índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 19, são apresentados no Quadro 5.48.

**Quadro 5.48 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 19**

<b>Nic</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nvc</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nac</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Ntc</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
40,17	5,94	17,96	1,89
<b>Ni</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nv</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Na</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nt</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
78,41	26,00	39,78	6,31

<b>Ntc / Nt</b>
0,300 (Classe Energética A)

### 5.8.9 – Utilização de energias renováveis

A utilização de um sistema solar fotovoltaico para produção de energia elétrica, constituído por 6 módulos “Siemens M75S”, totalizando 3,79 m<sup>2</sup> de área, permite a produção de 563 kWh/ano. O relatório do SolTerm 5.0 com o cálculo detalhado é apresentado no Anexo 2 (relatório energético 3). Se esta energia produzida for utilizada na produção de águas quentes sanitárias, o valor do índice térmico Nac diminui consideravelmente. Relativamente à verificação de cumprimento do RCCTE n.º 19, esta medida permite diminuir o valor das necessidades anuais de energia para produção de AQS em 562,94 kWh.

Os índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 20, são apresentados no Quadro 5.49.

**Quadro 5.49 – Índices térmicos da verificação de cumprimento do RCCTE n.º 20**

<b>Nic</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nvc</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nac</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Ntc</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
40,17	5,94	14,17	1,57
<b>Ni</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nv</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Na</b> kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Nt</b> Kgep/m <sup>2</sup> .ano
78,41	26,00	39,78	6,31

<b>Ntc / Nt</b>
0,248 (Classe Energética A+)

Como se pode comprovar pelos resultados obtidos, o contributo do sistema fotovoltaico na produção de AQS, permite obter a classe energética A+. A energia produzida pelo sistema poderia também ser utilizada no arrefecimento ou aquecimento ambiente, contudo a melhoria da eficiência energética a nível global seria menor, como se pode comprovar pela fórmula de cálculo do indicador Ntc:

$$N_{tc} = 0,1(N_{ic}/\eta_i)F_{pui} + 0,1(N_{vc}/\eta_v)F_{puv} + N_{ac}F_{pua} \quad (\text{kgep}/\text{m}^2.\text{ano}) \quad (50)$$

$$N_{tc} = 0,1 \times (40,17/4) \times 0,290 + 0,1 \times (5,94/3) \times 0,290 + 14,17 \times 0,086 = 0,2913 + 0,0574 + 1,2185 = 1,57 \quad (\text{kgep}/\text{m}^2.\text{ano})$$

A contribuição da parcela relativa à produção de AQS para a classificação energética final é bastante elevada.

No Anexo 9 encontram-se as tabelas de cálculo de aplicação do RCCTE, utilizadas na verificação de cumprimento do RCCTE n.º 20.

### 5.8.10 – Resumo das medidas de melhoria

No Quadro 5.50 é apresentado um resumo de todas as medidas de melhoria adotadas no subcapítulo 5.8 e a respetiva contribuição para a redução do consumo energético na moradia unifamiliar em estudo.

**Quadro 5.50 – Resumo das medidas de melhoria adotadas no subcapítulo 5.8 e respetiva contribuição para a redução do consumo energético na moradia unifamiliar em estudo**

Soluções Construtivas Adotadas	N.º da verificação do RCCTE	Nic	Nvc	Nac	Ntc	Ntc/Nt	Classe energética	Consumo energético anual em climatização e Produção de AQS (kWh)	Redução parcial do consumo energético relativamente à solução inicial (%)	Redução acumulada do consumo energético relativamente à solução inicial (%)
Solução Inicial - concelho de Entroncamento	2	68,16	5,25	21,27	6,71	1,064	C	5955,10	-	-
Aumento da espessura de isolamento térmico nas paredes exteriores em zona corrente	3	62,78	5,44	21,27	6,68	1,058	C	5764,75	3,20	3,20
Alteração da constituição das pontes térmicas planas de vigas, pilares e caixas de estore em paredes exteriores	4	62,27	5,46	21,27	6,67	1,058	C	5746,77	0,30	3,50
Aumento da espessura de isolamento térmico na cobertura exterior em zona corrente	5	59,92	5,84	21,27	6,66	1,055	C	5678,34	1,15	4,65
Aumento da espessura de isolamento térmico no pavimento interior sobre a cave em zona corrente	6	56,25	5,84	21,27	6,63	1,051	C	5542,03	2,29	6,94
Aumento da espessura de isolamento térmico na cobertura interior sob o desvão de cobertura em zona corrente	7	47,89	5,84	21,27	6,57	1,042	C	5231,43	5,22	12,15
Aumento da espessura de isolamento térmico nas paredes interiores em contacto com espaços não úteis em zona corrente	8	44,98	5,84	21,27	6,55	1,038	C	5123,32	1,82	13,97
Alteração da constituição das pontes térmicas planas de vigas e pilares em paredes interiores em contacto com espaços não úteis	9	44,74	5,84	21,27	6,55	1,038	C	5114,29	0,15	14,12
Passagem de classe 2 de caixilharia para classe 3	10	43,20	6,11	21,27	6,54	1,037	C	5070,14	0,74	14,86
Aplicação de dispositivos de admissão de ar na fachada da moradia, com aberturas autorreguladas	11	40,12	6,67	21,27	6,52	1,034	C	4983,64	1,45	16,31
Cumprimento da NP 1037-1	12	35,84	7,54	21,27	6,50	1,030	C	4867,80	1,95	18,26

### Continuação do Quadro 5.50

Aplicação de termoacumulador elétrico com pelo menos 100mm de isolamento térmico	13	35,84	7,54	14,79	4,62	0,733	B	3904,55	16,18	34,43
Aplicação de esquentador a gás, de exaustão ventilada e eficiência de 0,75 a 30% da carga nominal	14	35,84	7,54	24,10	2,41	0,381	A	5287,59	-23,22	11,21
Aplicação de mais de 10mm de isolamento térmico em toda a rede de distribuição de água quente	15	35,84	7,54	18,82	1,95	0,309	A	4503,91	13,16	24,37
Alteração da inclinação dos painéis solares de 18º para 38º	16	35,84	7,54	17,96	1,88	0,297	A	4374,88	2,17	26,54
Aplicação de caixilharia com corte térmico	17	34,91	7,74	17,96	1,87	0,297	A	4349,93	0,42	26,95
Aplicação de vidros com baixa emissividade	18	33,99	7,93	17,96	1,87	0,296	A	4325,43	0,41	27,37
Aplicação de vidros duplos (reflectante colorido na massa + incolor)	19	40,17	5,94	17,96	1,89	0,300	A	4456,17	-2,20	25,17
Aplicação de sistema fotovoltaico, fornecendo energia de apoio à produção de AQS	20	40,17	5,94	14,17	1,57	0,248	A+	3893,23	9,45	34,62

### 5.9 – Análise comparativa de diferentes soluções construtivas

Neste subcapítulo são realizadas análises comparativas entre soluções construtivas, a ser aplicadas em determinado elemento da envolvente da moradia unifamiliar em estudo. O objetivo é determinar, em cada uma das análises efetuada, qual é a solução que contribui para uma eficiência energética mais elevada.

Em cada uma das análises comparativas os índices térmicos considerados inicialmente, são os existentes no Quadro 5.49.



### 5.9.1 – Pavimento em contacto com o terreno vs. pavimento em contacto com desvão sanitário

A cave da moradia em estudo possui um coeficiente de redução de perdas de 0,5, podendo ser comparada a um desvão sanitário fracamente ventilado, com relação  $A_i/A_u$  maior que 10.

A solução considerada na moradia, de acordo com o referido no subcapítulo 5.8.3, consiste num pavimento interior em contacto com um espaço não útil (cave), com 13 cm de espessura de isolante térmico, preenchendo parcialmente a caixa de ar, sobre o qual existe uma laje maciça com 15 cm de espessura, uma betonilha com 5 cm de espessura e revestimento cerâmico com 1,5 cm de espessura. O coeficiente de transmissão térmica da solução é  $0,24 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$  e a área total, incluindo as zonas de pontes térmicas planas (vigas), é  $83,64 \text{ m}^2$ . O valor das perdas associadas à envolvente interior, relativamente ao pavimento interior sobre espaços não úteis, é igual a  $10,84 \text{ W/}^\circ\text{C}$ .

Na determinação das perdas térmicas lineares relativas à ligação da fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos, considerou-se que a laje de pavimento possui 21,5 cm de espessura (sobre o isolamento térmico), a parede de fachada possui 38 cm de espessura e que o isolamento térmico se situa no interior da caixa de ar da parede de fachada. Considerou-se também que a ponte térmica linear tem 13,48 m de comprimento. O valor das perdas relativamente a esta ponte térmica linear é igual a  $7,62 \text{ W/}^\circ\text{C}$ .

A ponte térmica linear relativa à ligação da fachada com pavimento, na zona de portas exteriores e vãos envidraçados de sacada, possui 8,15 m de comprimento. Como se trata de uma ponte térmica linear não considerada na Tabela IV.3 do RCCTE, utiliza-se um valor convencional de  $0,5 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$  para o coeficiente de transmissão térmica linear. O valor das perdas relativamente a esta ponte térmica linear é igual a  $4,08 \text{ W/}^\circ\text{C}$ .

Se for considerada a não existência de cave e por sua vez o pavimento do rés do chão contactar diretamente com o solo, os resultados obtidos serão diferentes.

De acordo com a Tabela relativa à Figura IV.3 do RCCTE, ilustrada nas incorreções e omissões relativas ao RCCTE, da Adene [29], o valor de  $\Psi$  a adotar nos pavimentos em contacto com o terreno, que possuem isolamento térmico perimetral com resistência térmica superior a  $0,5 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$  e  $Z$  superior a 0,05 m, é igual a  $1,80 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ . O perímetro enterrado (B) é 21,63 m e o valor das perdas é igual a  $38,93 \text{ W/}^\circ\text{C}$ .

Para o cálculo das pontes térmicas lineares relativamente à ligação da fachada com o pavimento térreo, foi necessário recorrer à Tabela IV.3 do RCCTE, considerando que o

isolamento térmico se situa no interior da caixa de ar das paredes duplas. Tendo em conta que  $0,40 \text{ m} > (Z) > 0 \text{ m}$  e que  $(e_p) = 0,215 \text{ m}$ , então  $\Psi = 0,53 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ . Considerou-se também que a ponte térmica linear possui  $13,48 \text{ m}$  de comprimento. O valor das perdas relativamente a esta ponte térmica linear é igual a  $7,14 \text{ W/}^\circ\text{C}$ .

A ponte térmica linear relativa à ligação da fachada com pavimento, na zona de portas exteriores e vãos envidraçados de sacada, possui  $8,15 \text{ m}$  e  $\Psi = 0,5 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ , conforme referido anteriormente para a situação de pavimento sobre desvão sanitário. O valor das perdas relativamente a esta ponte térmica linear é igual a  $4,08 \text{ W/}^\circ\text{C}$ .

Para a situação de pavimento sobre desvão sanitário, a soma do valor das perdas térmicas relativas a pavimento sobre espaço não útil, ponte térmica linear na ligação da fachada com pavimento sobre local não aquecido e ponte térmica linear relativa à ligação da fachada com pavimento, na zona de portas exteriores e vãos envidraçados de sacada, é igual a  $22,54 \text{ W/}^\circ\text{C}$ .

Para a situação de pavimento em contacto com o solo, a soma do valor das perdas térmicas relativas a pavimento em contacto com o solo, ponte térmica linear na ligação da fachada com pavimento térreo e ponte térmica linear relativa à ligação da fachada com pavimento, na zona de portas exteriores e vãos envidraçados de sacada, é igual a  $50,15 \text{ W/}^\circ\text{C}$ .

Conclui-se portanto que as perdas térmicas em pavimentos sobre desvão sanitário, são inferiores relativamente a pavimentos em contacto com o solo.

A comparação de resultados entre as duas soluções para pavimentos, em análise neste subcapítulo, é apresentada no Quadro 5.51.

Como se pode observar pelo Quadro 5.51, as necessidades nominais de aquecimento (Nic) aumentam  $6,47 \text{ (kWh/m}^2\text{.ano)}$ , se a solução escolhida for o pavimento em contacto com o solo. Mesmo considerando a situação mais desfavorável, que seria um desvão fortemente ventilado, o valor das perdas associadas à envolvente interior, relativamente ao pavimento interior sobre o desvão, seria igual a  $21,68 \text{ W/}^\circ\text{C}$ , ou seja, inferior ao valor correspondente às perdas num pavimento em contacto com o solo.

O valor das perdas em pavimentos em contacto com o solo, ainda seria superior na situação de moradia unifamiliar isolada. No caso de estudo considera-se que a moradia unifamiliar se encontra em banda com edifícios adjacentes, considerados como espaços não úteis com  $\tau < 0,7$ , logo não se contabilizam as perdas térmicas lineares dos elementos em contacto com o terreno, que separam a moradia unifamiliar em estudo dos edifícios adjacentes, de acordo com a Tabela IV.2 do RCCTE.

**Quadro 5.51 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 1**

<b>Comparação de Resultados</b>	Pavimento sobre desvão sanitário (verificação do RCCTE n.º 20)	Pavimento em contacto com o solo (verificação do RCCTE n.º 21)
Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C) (da FCIV1a)	101,37	139,83
Perdas associadas à envolvente interior (W/°C) (da FCIV1b)	47,48	36,64
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	3778,31	3791,76
Nic (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	40,17	46,64
Ni (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	78,41	72,61
Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	1,57	1,61
Nt (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	6,31	6,26
Ntc/Nt	(Ntc/Nt = 0,25)	(Ntc/Nt = 0,26)
Classe energética	A+	A

Nesta primeira análise comparativa conclui-se que é mais vantajoso optar por pavimentos sobre espaços não úteis, quer sejam garagens ou desvãos sanitários, em detrimento de pavimentos em contacto com o solo. De acordo com os índices térmicos apresentados no Quadro 5.51, a adoção da solução de pavimentos em contacto com o solo na moradia em estudo, aumenta o valor das necessidades anuais de energia para climatização em 240,26 kWh.

### **5.9.2 – Cobertura exterior em terraço vs. cobertura exterior inclinada com desvão**

O desvão de cobertura da moradia em estudo possui um coeficiente de redução de perdas de 1, devido ao facto de ser fortemente ventilado.

A solução considerada na moradia, após conclusão do subcapítulo 5.8, consiste numa cobertura interior plana sob um espaço não útil (desvão de cobertura). A cobertura possui 13 cm de espessura de isolamento térmico, que se situa sobre uma laje aligeirada com 20 cm de espessura e revestimento em reboco tradicional com 2 cm de espessura. O coeficiente de transmissão térmica da solução é 0,26 W/m<sup>2</sup>.°C e a área total, incluindo as zonas de pontes térmicas planas (vigas), é igual a 65,02 m<sup>2</sup>. O valor das perdas associadas à envolvente interior, relativamente à cobertura interior plana sob o desvão de cobertura, é igual a 18,70 W/°C.

Na determinação das perdas térmicas lineares relativas à ligação da fachada com a cobertura interior plana sob o desvão de cobertura, considerou-se que a laje de esteira possui 22 cm e que o isolamento térmico se situa no interior da caixa de ar da parede de fachada. Considerou-se também que a ponte térmica possui 23,98 m de comprimento. O valor das perdas relativamente a esta ponte térmica linear é igual a 15,35 W/°C.

Se for considerada a não existência de desvão e por sua vez a cobertura for plana exterior, os resultados obtidos serão diferentes. Considera-se que a cobertura exterior possui o mesmo coeficiente de transmissão térmica que a cobertura sob desvão, ou seja 0,26 W/m<sup>2</sup>.°C e que a espessura é idêntica.

Relativamente às perdas associadas à ponte térmica linear (fachada em contacto com cobertura), o valor é o mesmo que no caso de cobertura interior plana sob o desvão de cobertura, uma vez que se considera a mesma espessura para a laje.

No Quadro 5.52 podem comparar-se os resultados obtidos, considerando a utilização de diferentes tipos de cores da superfície exterior da cobertura.

Pode-se então concluir, que a solução construtiva que permite obter melhores resultados em termos de eficiência energética, é a cobertura com proteção exterior sobre apoios pontuais, originando uma caixa de ar fortemente ventilada sob a proteção, pois é a que conduz a menores necessidades nominais de arrefecimento e na qual não se consideram os ganhos solares pela envolvente opaca. Em segundo lugar fica a cobertura interior sob desvão fortemente ventilado, já as restantes soluções de coberturas exteriores com superfícies que não contemplam caixas de ar fortemente ventiladas, são consideradas as piores soluções, devido sobretudo aos elevados ganhos solares pela envolvente opaca. As superfícies de cor escura conduzem aos piores resultados.

No Quadro 5.53 podem comparar-se os resultados obtidos, considerando a utilização de diferentes tipos desvãos de cobertura em que a “A<sub>i</sub>” (área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil) é inferior a “A<sub>u</sub>” (área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior). É habitual na maioria das moradias unifamiliares que a relação A<sub>v</sub>/A<sub>u</sub> seja inferior a 1.

Quadro 5.52 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 2

Comparação de Resultados	Cobertura interior sob desvão fortemente ventilado	Cobertura com proteção exterior sobre apoios pontuais, originando uma caixa de ar fortemente ventilada sob a proteção	Cobertura exterior (cor clara)	Cobertura exterior (cor média)	Cobertura exterior (cor escura)
	verificação do RCCTE n.º 20	verificação do RCCTE n.º 22	verificação do RCCTE n.º 23	verificação do RCCTE n.º 24	verificação do RCCTE n.º 25
Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C) (da FCIV1a)	101,37	120,08	—	—	—
Perdas associadas à envolvente interior (W/°C) (da FCIV1b)	47,48	28,78	—	—	—
Perdas térmicas totais (verão) (kWh) (da FCV1a)	1466,96	1631,26	—	—	—
Ganhos solares pela envolvente opaca (verão) (kWh) (da FCV1c)	155,37	155,37	389,17	447,62	622,97
Nvc (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	5,94	5,15	6,49	6,84	7,89
Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	1,57	1,56	1,57	1,58	1,59
Nt (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	6,31	—	—	—	—
Ntc/Nt	0,248	0,247	0,249	0,250	0,251
Classe energética	A+	—	—	—	A

Pode-se concluir que quanto menor for o valor de  $\tau$ , menor será o valor das necessidades nominais de energia para aquecimento ( $N_{ic}$ ), contudo o valor limite das necessidades nominais de energia para aquecimento ( $N_i$ ) é inferior também, não permitindo melhorar significativamente os resultados em termos globais. Mesmo no caso de se considerar uma cobertura interior sob desvão não ventilado, os resultados obtidos com a cobertura com proteção exterior sobre apoios pontuais, originando uma caixa de ar fortemente ventilada sob a proteção, continuam a ser os melhores, sendo por isso a solução construtiva mais eficiente em termos energéticos, permitindo reduzir o valor das necessidades anuais de energia para climatização em 38,80 kWh, relativamente à verificação de cumprimento do RCCTE n.º 20.

**Quadro 5.53 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 3**

Comparação de Resultados	Cobertura interior sob desvão fortemente ventilado ( $\tau=1$ )	Cobertura interior sob desvão fracamente ventilado ( $\tau=0,9$ )	Cobertura interior sob desvão não ventilado ( $\tau=0,8$ )
	(verificação do RCCTE n.º 20)	(verificação do RCCTE n.º 26)	(verificação do RCCTE n.º 27)
Perdas associadas à envolvente interior ( $W/^\circ C$ ) (da FCIV1b)	47,48	45,61	43,74
Ganhos úteis na estação de aquecimento ( $kW/ano$ ) (da FCIV1e)	3778,31	3777,17	3776,00
Nic ( $kWh/m^2.ano$ )	40,17	39,74	39,30
Ni ( $kWh/m^2.ano$ )	78,41	77,51	76,61
Ntc ( $kgep/m^2.ano$ )	1,57	1,56	1,56
Nt ( $kgep/m^2.ano$ )	6,31	6,30	6,29
Ntc/Nt	0,248	0,248	0,248
Classe energética	A+	A+	A+

### 5.9.3 – Análises comparativas em vãos envidraçados

A primeira análise comparativa em vãos envidraçados, pretende verificar se é vantajoso optar por caixilharias metálicas com corte térmico. A solução adotada na moradia, após conclusão do subcapítulo 5.8, é a caixilharia metálica com corte térmico, com vidro duplo de baixa emissividade (low  $\epsilon$  – emitância de 0,40). O valor do coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite dos vãos envidraçados V2 a V6 e V8 a V12, considerando um dispositivo de oclusão noturna com baixa permeabilidade ao ar, é igual a  $2,3 W/m^2.^\circ C$  e o coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite ( $U_{wdn}$ ) dos vãos envidraçados V1 e V7, considerando como dispositivo de oclusão noturna, uma cortina interior opaca, é igual a  $2,7 W/m^2.^\circ C$ , de acordo com a pág. III.5 do ITE50. Esta análise tem por base a verificação de cumprimento do RCCTE n.º 20, tal como as análises anteriores.

Considerando que o dispositivo de oclusão noturna de todos os vãos envidraçados, são persianas com réguas plásticas de cor clara com baixa permeabilidade ao ar, os resultados obtidos com e sem corte térmico para os vários tipos de vãos envidraçados, são os referidos no Quadro 5.54.

De referir que os valores relativos aos coeficientes de transmissão térmica dos vãos envidraçados verticais, considerados nesta análise comparativa, encontram-se na publicação do LNEC ITE50 páginas III.4 e III.5.

Podemos concluir que a utilização de caixilharia metálica com corte térmico, contribui para uma melhor eficiência energética, contudo em termos de resultado global não apresenta melhorias significativas. O corte térmico permite obter menores valores de “U” e por sua vez menores perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores.

A utilização de vãos envidraçados fixos, com vidro simples incolor e corte térmico, permite diminuir as necessidades anuais de energia para climatização em 25,46 kWh, relativamente a vãos envidraçados fixos, com vidro simples incolor e sem corte térmico, de acordo com a aplicação da formula (49).

**Quadro 5.54 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 4**

**Caixilharia sem corte térmico**

Comparação de Resultados	Verificação do RCCTE n.º 28	Verificação do RCCTE n.º 29	Verificação do RCCTE n.º 30	Verificação do RCCTE n.º 31	Verificação do RCCTE n.º 32	Verificação do RCCTE n.º 33
Corte térmico	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Número de vidros	1	-	-	-	-	-
Tipo de janela	Fixa	Giratória	De Correr	Fixa	Giratória	De Correr
Espessura de lâmina de ar	-	-	-	-	-	-
$U_{wdn}$	3,8	3,9	4,1	3,8	3,9	4,1
$g_{\perp\text{vidro}}$	0,85	-	-	0,45	-	-
$g_{\perp\text{inverno}}$	0,70	-	-	0,45	-	-
$g_{\perp 100\%}$	0,07	-	-	-	-	-
Tipo de vidro	Incolor 6mm	-	-	Reflectante Colorido na Massa 6mm	-	-
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/°C)	77,58	79,63	83,71	77,58	79,63	83,71
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano)	4964,84	4967,42	4972,38	4135,18	4136,32	4138,49
Nic (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	39,34	39,81	40,75	44,92	45,40	46,36
Perdas térmicas totais (verão) (kWh)	1731,64	1749,58	1785,45	1731,64	1749,58	1785,45
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)	847,91	-	-	513,21	-	-
Nvc (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	7,50	7,40	7,22	5,56	5,48	5,32
Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	1,58	-	-	1,60	-	1,61
Nt (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	6,31	-	-	-	-	-
Ntc/Nt	0,250	0,250	0,251	0,253	0,254	0,255
Classe energética	A+	A	-	-	-	-

## Continuação do Quadro 5.54

### Caixilharia com corte térmico

Comparação de Resultados	Verificação do RCCTE n.º 34			Verificação do RCCTE n.º 35		
	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Corte térmico	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Número de vidros	1	-	-	-	-	-
Tipo de janela	Fixa	Giratória	De Correr	Fixa	Giratória	De Correr
Espessura de lâmina de ar	-	-	-	-	-	-
$U_{\text{wdn}}$	3,6	-	-	-	-	-
$g_{\perp\text{vidro}}$	0,85	-	-	0,45	-	-
$g_{\perp\text{inverno}}$	0,70	-	-	0,45	-	-
$g_{\perp 100\%}$	0,07	-	-	-	-	-
Tipo de vidro	Incolor 6mm	-	-	Reflectante Colorido na Massa 6mm	-	-
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores ( $W/^{\circ}C$ )	73,50	-	-	-	-	-
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano)	4959,45	-	-	4132,82	-	-
Nic ( $kWh/m^2 \cdot \text{ano}$ )	38,41	-	-	43,97	-	-
Perdas térmicas totais (verão) ( $kWh$ )	1695,78	-	-	-	-	-
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores ( $kWh$ )	847,91	-	-	513,21	-	-
$N_{\text{vc}}$ ( $kWh/m^2 \cdot \text{ano}$ )	7,68	-	-	5,72	-	-
$N_{\text{tc}}$ ( $kg_{\text{ep}}/m^2 \cdot \text{ano}$ )	1,57	-	-	1,59	-	-
$N_{\text{t}}$ ( $kg_{\text{ep}}/m^2 \cdot \text{ano}$ )	6,31	-	-	-	-	-
$N_{\text{tc}}/N_{\text{t}}$	0,249	-	-	0,252	-	-
Classe energética	A+	-	-	A	-	-

A utilização de vãos envidraçados giratórios, com vidro simples incolor e corte térmico, permite diminuir as necessidades anuais de energia para climatização em 38,25 kWh, relativamente a vãos envidraçados giratórios, com vidro simples incolor e sem corte térmico.

A utilização de vãos envidraçados de correr, com vidro simples incolor e corte térmico, permite diminuir as necessidades anuais de energia para climatização em 64,07 kWh, relativamente a vãos envidraçados de correr, com vidro simples incolor e sem corte térmico.

Para vãos envidraçados com vidros simples a existência de corte térmico é sempre vantajosa, contudo a melhoria é mais notória em vãos envidraçados de correr.



Por curiosidade, se fossem aplicados vãos envidraçados de correr com corte térmico na moradia, em detrimento de caixilharia sem corte térmico e tendo em conta que 1 kWh de energia elétrica custa atualmente 0,1393 € sem IVA [30], poderiam poupar-se anualmente  $64,07 \text{ kWh} \times 0,1393 \text{ €} = 8,92 \text{ €}$ .

Conclui-se também que se a opção passar por vidros reflectantes coloridos na massa, o fator solar do vidro é bastante inferior ao do vidro incolor e por isso, na estação de aquecimento os ganhos solares brutos são inferiores, contribuindo para o aumento do índice Nic. Por outro lado o índice Nvc é menor, pois os ganhos solares pelos envidraçados exteriores na estação de arrefecimento são menores também. Em termos globais o valor das necessidades nominais anuais de energia para climatização, aumenta com a utilização de vidros reflectantes coloridos na massa, relativamente à utilização de vidros simples incolores. Embora as necessidades anuais de energia para arrefecimento diminuam com a utilização dos vidros reflectantes coloridos na massa, aumentam as necessidades anuais de energia para aquecimento, prejudicando a eficiência energética da moradia. Portanto a solução a adotar deverá contemplar a escolha de vidros com um fator solar mais elevado.

No caso de serem utilizados vidros duplos em vãos envidraçados de correr, os resultados obtidos podem ser observados no Quadro 5.55.

A utilização de vãos envidraçados de correr, com vidro duplo incolor e corte térmico, permite diminuir as necessidades anuais de energia para climatização em 49,61 kWh, relativamente a vãos envidraçados de correr, com vidro simples incolor e sem corte térmico.

No caso de vidros duplos (reflectante colorido na massa + incolor) a melhoria é similar, contudo é prejudicial a utilização deste tipo de vidro duplo relativamente ao vidro duplo incolor. A utilização de vãos envidraçados de correr, com vidro duplo incolor e corte térmico, permite diminuir as necessidades anuais de energia para climatização em 135,33 kWh, relativamente a vãos envidraçados de correr, com vidro duplo (reflectante colorido na massa + incolor) com corte térmico.

A utilização de vidros especiais é benéfica na estação de arrefecimento, contribuindo para a diminuição dos ganhos solares pelos vãos envidraçados, contudo é prejudicial na estação de aquecimento.

Pode também concluir-se que a existência de corte térmico em vãos envidraçados, permite obter melhores resultados em termos de eficiência energética da moradia, quer em vidros

simples ou duplos, relativamente à não existência de corte térmico. Contudo a melhoria é mais notória em caixilharias com vidros simples.

É vantajoso optar por vidros duplos em detrimento de vidros simples. A utilização de vidros duplos permite reduzir o valor das necessidades anuais de energia para climatização, relativamente à utilização de vidros simples. A verificação de cumprimento do RCCTE n.º 38 é a que conduz aos melhores resultados em termos de eficiência energética, pois são considerados vidros duplos incolores e caixilharia com corte térmico.

**Quadro 5.55 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 5**

**Caixilharia sem corte térmico**

Comparação de Resultados	Verificação do RCCTE n.º 36	Verificação do RCCTE n.º 37
Corte térmico	Não	Não
Número de vidros	2	2
Tipo de janela	De Correr	De Correr
Espessura de lâmina de ar	16 low ε	16 low ε
$U_{wdn}$	2,7	2,7
$g_{\perp\text{vidro}}$	0,75	0,35
$g_{\perp\text{inverno}}$	0,63	0,35
$g_{\perp 100\%}$	0,04	0,04
Tipo de vidro	Duplo incolor 6+16+5 mm	Reflectante colorido na massa + incolor 6+16+5 mm
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/°C)	55,13	-
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano)	4709,52	3782,63
Nic (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	35,73	41,97
Perdas térmicas totais (verão) (kWh)	1534,37	-
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)	663,27	348,68
Nvc (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	7,42	5,55
Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	1,55	1,58
Nt (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	6,31	6,31
Ntc/Nt	0,246	0,250
Classe energética	A+	A+

## Continuação do Quadro 5.55

### Caixilharia com corte térmico

Comparação de Resultados	Verificação do RCCTE n.º 38	Verificação do RCCTE n.º 39
Corte térmico	Sim	Sim
Número de vidros	2	2
Tipo de janela	De Correr	De Correr
Espessura de lâmina de ar	16 low $\epsilon$	16 low $\epsilon$
$U_{\text{wdn}}$	2,3	2,3
$g_{\perp\text{vidro}}$	0,75	0,35
$g_{\perp\text{inverno}}$	0,63	0,35
$g_{\perp 100\%}$	0,04	0,04
Tipo de vidro	Duplo incolor 6+16+5 mm	Reflectante colorido na massa + incolor 6+16+5 mm
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores ( $W/^{\circ}C$ )	46,96	-
Ganhos úteis na estação de aquecimento ( $kW/\text{ano}$ )	4697,20	3778,01
Nic ( $kWh/m^2.\text{ano}$ )	33,87	40,06
Perdas térmicas totais (verão) ( $kWh$ )	1462,63	-
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores ( $kWh$ )	663,27	348,68
$N_{\text{vc}}$ ( $kWh/m^2.\text{ano}$ )	7,80	5,90
$N_{\text{tc}}$ ( $kgEP/m^2.\text{ano}$ )	1,54	1,57
$N_{\text{t}}$ ( $kgEP/m^2.\text{ano}$ )	6,31	6,31
$N_{\text{tc}}/N_{\text{t}}$	0,244	0,248
Classe energética	A+	A+

#### 5.9.4 – Moradia isolada vs. moradia em banda

Nesta análise comparativa procura-se determinar quais as diferenças em termos de eficiência energética, se for considerado que a moradia unifamiliar em estudo não se encontra em banda com outras moradias similares, mas sim isolada. Esta análise tem por base a verificação de cumprimento do RCCTE n.º 20, tal como as análises anteriores.

As paredes interiores da moradia, em contacto com edifícios adjacentes com  $\tau = 0,6$ , orientadas a Este e Oeste, passam a ser consideradas elementos de envolvente exterior.

O valor do coeficiente de transmissão térmica da parede em zona corrente, passa de 0,237 para 0,242 W/m<sup>2</sup>.°C, pois deixa de existir resistência térmica superficial interior e passa a existir somente resistência térmica superficial exterior. O valor do coeficiente de transmissão térmica da ponte térmica plana em zona de vigas e pilares, passa de 0,473 para 0,494 W/m<sup>2</sup>.°C.

No caso de se considerar a existência de edifícios adjacentes com  $\tau = 0,6 < 0,7$ , não são consideradas as pontes térmicas lineares nos elementos de separação das frações autónomas. Se for considerado que a moradia em estudo se encontra isolada, é necessário considerar a existência de mais algumas pontes térmicas lineares, para além das já consideradas na verificação de cumprimento do RCCTE n.º 20:

- Isolamento na caixa de ar de paredes duplas, na ligação da fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exteriores:
  - Ligação da fachada com pavimento interior sobre a cave, com 19,41 m de comprimento e  $\Psi = 0,57$  W/m.°C.
  - Ligação da fachada com pavimento exterior, com 1,16 m de comprimento e  $\Psi = 0,67$  W/m.°C.
- Isolamento na caixa de ar de paredes duplas, na ligação da fachada com pavimentos intermédios:
  - Ligação da fachada com pavimento intermédio, com 13,59 m de comprimento e  $\Psi = 0,52$  W/m.°C.
- Isolamento na caixa de ar de paredes duplas, na ligação da fachada com cobertura inclinada ou terraço:
  - Ligação da fachada com cobertura plana exterior, com 5,47 m de comprimento e  $\Psi = 0,68$  W/m.°C.
  - Ligação da fachada com desvão de cobertura, com 15,15 m de comprimento e  $\Psi = 0,64$  W/m.°C.
- Isolamento na caixa de ar de paredes duplas, na ligação entre duas paredes verticais:
  - Ligação entre duas paredes verticais, com 10,40 m de comprimento e  $\Psi = 0,20$  W/m.°C.

No Quadro 5.56 podem comparar-se os resultados obtidos, considerando que a moradia se encontra isolada ou em banda com outros edifícios.

**Quadro 5.56 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 6**

Comparação de Resultados	Verificação do RCCTE n.º 20	Verificação do RCCTE n.º 40
Tipo de moradia	Em Banda	Isolada
Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C)	101,37	159,17
Perdas associadas à envolvente interior (W/°C)	47,48	33,70
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano)	3778,31	3797,49
Nic (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	40,17	50,49
Ni (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	78,41	83,39
Perdas térmicas totais (verão) (kWh)	1466,96	1673,97
Ganhos solares pela envolvente opaca (verão) (kWh)	155,37	325,05
Nvc (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	5,94	5,91
Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	1,57	1,64
Nt (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	6,31	6,35
Ntc/Nt	0,25	0,26
Classe energética	A+	A

Como se pode comprovar através do Quadro 5.56, a moradia em banda apresenta menores perdas associadas à envolvente exterior, menores perdas térmicas totais na estação de arrefecimento e menores ganhos solares pela envolvente opaca na estação de arrefecimento. As necessidades nominais de energia para aquecimento são reduzidas em 10,32 kWh/m<sup>2</sup>.ano e as necessidades nominais de energia para arrefecimento aumentam 0,03 kWh/m<sup>2</sup>.ano, relativamente à moradia isolada. As necessidades nominais globais de energia primária são reduzidas em 0,07 kgep/m<sup>2</sup>.ano, o que contribui para a redução do quociente Ntc/Nt em 0,01.

Pode então concluir-se que a moradia em estudo é mais eficiente em termos energéticos, se for construída em banda com outras moradias similares. Se for considerada a moradia isolada, o valor das necessidades anuais de energia para climatização é superior em 382,22 kWh, relativamente à verificação de cumprimento do RCCTE n.º 20, em que se considera a moradia em banda.

### 5.9.5 – Análises comparativas de ângulos de sombreamento

Considerou-se inicialmente neste estudo que o ângulo de sombreamento do horizonte é 20°. Se não existirem obstruções no horizonte relativamente à moradia unifamiliar em estudo, o fator de sombreamento do horizonte é igual a 1. Se o ângulo de sombreamento for 45°, então o fator de sombreamento possui o valor mais baixo. No Quadro 5.57 comparam-se os resultados obtidos para os três graus de sombreamento do horizonte em análise.

Quadro 5.57 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 7

Comparação de Resultados	Verificação do RCCTE n.º 41	Verificação do RCCTE n.º 20	Verificação do RCCTE n.º 42
Ângulo de sombreamento do horizonte (Fh)	0°	20°	45°
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano)	3891,71	3778,31	3349,42
Nic (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	39,41	40,17	43,06
Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	1,56	1,57	1,59
Nt (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	6,31	6,31	6,31
Ntc/Nt	0,247	0,248	0,252
Classe energética	A+	A+	A

O fator de sombreamento do horizonte só é considerado na estação de aquecimento, pelo que quanto menor for o ângulo de sombreamento, menores serão as necessidades nominais de energia para aquecimento. Quanto maior for a área efetiva total equivalente na orientação sul, maior será a melhoria obtida com a redução do ângulo de sombreamento. Neste caso a diferença entre um ângulo de sombreamento de 0° e um de 45°, traduz-se anualmente em 135,57 kWh, relativamente às necessidades anuais de energia para climatização.

No caso de existirem palas horizontais e/ou verticais nos vãos envidraçados, os ganhos solares são inferiores para a estação de aquecimento e arrefecimento, o que provoca o aumento das necessidades nominais de energia para aquecimento e a diminuição das necessidades nominais de energia para arrefecimento. Seguidamente procura-se concluir em termos globais se é favorável a existência de palas horizontais e verticais. Para isso considera-se um vão envidraçado equivalente ao V12 da moradia em estudo, com 2,20 m<sup>2</sup> de área. Para garantir que o fator de obstrução é inferior a 0,90, considera-se a existência de duas palas verticais, que fazem um ângulo de 45° medido do ponto médio do vão envidraçado. O vidro considerado

é duplo (reflectante colorido na massa + incolor), com  $g_{\perp\text{inverno}} = 0,35$ ,  $g_{\perp\text{verão}} = 0,133$  e  $g_{\perp 100\%} = 0,04$ . O ângulo de sombreamento do horizonte é  $20^\circ$ .

No Quadro 5.58 são apresentados os resultados, relativamente à eficiência energética da moradia em estudo, para diferentes valores de ângulo da pala horizontal, no vão envidraçado V12, na orientação Este/Oeste.

**Quadro 5.58 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 8**

Comparação de Resultados	Verificação do RCCTE n.º 43						
	$0^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	$30^\circ$	$40^\circ$	$50^\circ$	$60^\circ$
Orientação do vão envidraçado (ESTE/OESTE)							
Ângulo da pala horizontal	$0^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	$30^\circ$	$40^\circ$	$50^\circ$	$60^\circ$
Área efetiva – inverno ( $m^2$ )	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11
Radiação efetiva total equivalente num envidraçado a sul ( $kWh/m^2.mês$ )	108	-	-	-	-	-	-
Duração da estação de aquecimento (meses)	6	-	-	-	-	-	-
Ganhos solares brutos do envidraçado ( $kWh/ano$ )	103,68	97,20	90,72	84,24	77,76	71,28	71,28
Nic ( $kWh/m^2.ano$ )	40,25	40,29	40,32	40,36	40,40	40,44	40,44
Área efetiva – verão ( $m^2$ )	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento ( $kWh/m^2$ )	450	-	-	-	-	-	-
Ganhos solares pelo vão envidraçado ( $kWh/ano$ )	59,95	54,96	49,96	44,96	40,57	36,57	32,97
Nvc ( $kWh/m^2.ano$ )	5,94	5,91	5,88	5,85	5,83	5,80	5,78
Nic+Nvc ( $kWh/m^2.ano$ )	46,195	46,199	46,205	46,209	46,226	46,239	46,218

No Quadro 5.59 são apresentados os resultados, relativamente à eficiência energética da moradia em estudo, para diferentes valores de ângulo da pala horizontal, no vão envidraçado V12, na orientação Sul.

**Quadro 5.59 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 9**

Comparação de Resultados

Orientação do vão envidraçado (SUL)	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
Ângulo da pala horizontal	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
Área efetiva – inverno (m <sup>2</sup> )	0,29	0,26	0,24	0,21	0,18	0,16	0,13
Radiação efetiva total equivalente num envidraçado a sul (kWh/m <sup>2</sup> .mês)	108	-	-	-	-	-	-
Duração da estação de aquecimento (meses)	6	-	-	-	-	-	-
Ganhos Solares brutos do envidraçado (kWh/ano)	187,92	168,48	155,52	136,08	116,64	103,68	84,24
Nic (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	39,71	39,81	39,92	40,03	40,14	40,25	40,37
Área efetiva – verão (m <sup>2</sup> )	0,10	0,09	0,08	0,06	0,06	0,05	0,05
Intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	400	-	-	-	-	-	-
Ganhos solares pelo vão envidraçado (kWh/ano)	39,86	34,95	30,03	25,11	22,99	21,53	20,73
Nvc (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	5,82	5,79	5,76	5,74	5,72	5,71	5,71
Nic+Nvc (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	45,528	45,607	45,685	45,763	45,862	45,969	46,083

No que diz respeito a palas horizontais, podemos concluir com base nos resultados obtidos, que é benéfico que o vão envidraçado esteja orientado a Sul. Se não existirem palas horizontais e o vão envidraçado estiver orientado a Sul, as necessidades nominais de energia



para aquecimento são inferiores em  $0,54 \text{ kWh/m}^2\text{.ano}$ , relativamente à orientação Este e Oeste. As necessidades nominais de energia para arrefecimento são inferiores em  $0,12 \text{ kWh/m}^2\text{.ano}$ , relativamente à orientação Este e Oeste.

Se o ângulo da pala horizontal for de  $60^\circ$  e o vão envidraçado estiver orientado a Sul, as necessidades nominais de energia para aquecimento são inferiores em  $0,07 \text{ kWh/m}^2\text{.ano}$ , relativamente à orientação Este e Oeste. As necessidades nominais de energia para arrefecimento são inferiores em  $0,07 \text{ kWh/m}^2\text{.ano}$ , relativamente à orientação Este e Oeste.

Conclui-se que para a orientação Sul, quanto maior for o ângulo da pala horizontal, maiores serão as necessidades nominais de energia para aquecimento somadas com as necessidades nominais de energia para arrefecimento. No caso da orientação Este e Oeste, o valor resultante da soma de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$  não sofre alterações significativas, independentemente do ângulo da pala.

A solução mais eficiente é a aplicação de vãos envidraçados orientados a sul, sem pala horizontal, pois embora a mesma conduza a necessidades nominais de energia superiores para a estação de arrefecimento, maximiza os ganhos solares do envidraçado na estação de aquecimento, conduzindo ao valor mais baixo da soma entre os índices  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$ .

### **5.9.6 – Análise comparativa da orientação da moradia**

Considerou-se ao longo do presente caso de estudo, que os alçados que possuem vãos envidraçados, estão orientados a Norte e Sul, enquanto que na orientação Este e Oeste não existem vãos envidraçados.

Se forem alteradas as orientações dos vãos envidraçados e paredes de envolvente exterior, os resultados obtidos a nível de eficiência energética, serão diferentes, conforme se pode verificar pelo Quadro 5.60 (considera-se na análise que os alçados vão rodando no sentido anti-horário).

Como se pode comprovar pelos resultados obtidos, a orientação considerada inicialmente no presente caso de estudo, é a solução mais eficiente em termos energéticos, pois é a que possui maior área envidraçada orientada a Sul. Se as orientações preferenciais forem Este e Oeste, as necessidade nominais de energia são superiores.

Conclui-se portanto que a orientação a Sul da maior parte da área envidraçada da moradia, favore-se a eficiência energética do edifício, minimizando o valor dos indicadores  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$ .

**Quadro 5.60 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 10**

Comparação de Resultados	Verificação do RCCTE n.º 20			
	Sul	Este	Norte	Oeste
Orientação do alçado inicialmente orientado a Sul				
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano)	3778,31	3418,20	3478,43	3557,85
Nic (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	40,17	42,60	42,19	41,66
Ganhos solares pela envolvente opaca (verão) (kWh)	155,37	224,22	188,18	234,71
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)	358,56	447,88	310,67	464,87
Nvc (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	5,94	6,88	5,85	7,05
Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	1,57	1,59	1,58	1,59
Nt (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	6,31	6,31	6,31	6,31
Ntc/Nt	0,248	0,253	0,251	0,252
Classe energética	A+	A	A	A

### 5.9.7 – Vãos envidraçados orientados a Sul vs. paredes exteriores orientadas a Sul

Nesta análise comparativa procura-se verificar se é vantajoso aumentar a área envidraçada orientada a sul, em detrimento de paredes de envolvente exterior. Para isso trocou-se 1 m<sup>2</sup> de parede exterior por 1 m<sup>2</sup> de vão envidraçado exterior sem palas verticais ou horizontais e sem obstruções do horizonte. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 5.61.

Como se pode comprovar pelos resultados é benéfico aumentar a área envidraçada orientada a Sul. No caso de se adotarem vãos envidraçados com vidro duplo reflectante colorido na massa + incolor, as necessidades nominais de energia para aquecimento diminuem 0,21 kWh/ano.m<sup>2</sup> (por metro quadrado de vão envidraçado), relativamente à verificação de cumprimento do RCCTE n.º 20. Já as necessidades nominais de energia para arrefecimento aumentam 0,02 kWh/ano.m<sup>2</sup> (por metro quadrado de vão envidraçado), contudo em termos

globais, o valor das necessidades anuais de energia para climatização, é menor relativamente à verificação de cumprimento do RCCTE n.º 20 (1 m<sup>2</sup> de parede exterior).

**Quadro 5.61 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 11**

Comparação de Resultados	Verificação do RCCTE n.º 20	Verificação do RCCTE n.º 44	Verificação do RCCTE n.º 45
Elemento de envolvente exterior (1m <sup>2</sup> )	Parede exterior U = 0,24 cor clara	Vão envidraçado caixilharia metálica U = 2,3 reflectante colorido na massa + incolor 6+16+5 g <sub>⊥</sub> inverno = 0,35 g <sub>⊥</sub> verão = 0,04	Vão envidraçado caixilharia metálica U = 2,3 duplo incolor 6+16+5 mm g <sub>⊥</sub> inverno = 0,63 g <sub>⊥</sub> verão = 0,04
Área de envidraçados (m <sup>2</sup> )	20,42	21,42	-
Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C)	101,37	101,14	-
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/°C)	47,45	49,75	-
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano)	3778,31	3883,51	3966,26
Nic (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	40,17	39,96	39,40
Perdas térmicas totais (verão) (kWh)	1466,96	1485,09	-
Ganhos solares pela envolvente opaca (verão) (kWh)	155,37	153,86	-
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh)	358,56	380,11	399,55
Nvc (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	5,94	5,96	6,08
Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	1,57	1,57	1,56
Nt (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	6,31	6,31	6,31
Ntc/Nt	0,2484	0,2482	0,2477
Classe energética	A+	A+	A+

No caso de se adotarem vãos envidraçados com vidro duplo incolor, as necessidades nominais de energia para aquecimento diminuem 0,77 kWh/ano.m<sup>2</sup> (por metro quadrado de vão envidraçado), relativamente à verificação de cumprimento do RCCTE n.º 20. Já as necessidades nominais de energia para arrefecimento aumentam em 0,14 kWh/ano.m<sup>2</sup> (por metro quadrado de vão envidraçado), contudo em termos globais, o valor das necessidades anuais de energia para climatização, é menor relativamente à verificação de cumprimento do RCCTE n.º 20 (1 m<sup>2</sup> de parede exterior) e verificação de cumprimento do RCCTE n.º 44 (1 m<sup>2</sup> de vão envidraçado, com vidro duplo reflectante colorido na massa + incolor).

Se o aumento da área envidraçada for efetuado nas orientações Oeste ou Este, o valor das necessidades anuais de energia para climatização, é superior relativamente à existência de paredes exteriores.

No caso do edifício de habitação unifamiliar em estudo se localizar em zona climática V<sub>3</sub> Sul, continua a ser benéfico aumentar a área envidraçada orientada a Sul em detrimento de área de parede exterior.

De referir que o aumento de área envidraçada considerado nesta análise, consiste em 1 m<sup>2</sup>, ou seja, 8,65% da área envidraçada orientada a Sul.

### 5.9.8 – Superfície exterior de cor clara vs. superfície com caixa de ar fortemente ventilada

Na presente análise comparativa procura-se verificar qual é a melhor solução de revestimento exterior da envolvente exterior opaca vertical: Superfície exterior de cor clara ou caixa de ar fortemente ventilada.

Considera-se que a fachada ventilada possui revestimento exterior independente do suporte (prumos e travessas de suporte), em placas de pedra. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 5.62.

**Quadro 5.62 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 12**

Comparação de Resultados	Verificação do RCCTE n.º 20	Verificação do RCCTE n.º 46
Cor da superfície exterior dos elementos de envolvente exterior	Cor clara	Caixa de ar fortemente ventilada
Ganhos solares pela envolvente opaca (verão) (kWh)	155,37	32,91
Nvc (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	5,94	5,22
Ntc (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	1,57	1,56
Nt (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	6,31	6,31
Ntc/Nt	0,248	0,247
Classe energética	A+	A+

A aplicação de fachadas ventiladas permite diminuir significativamente as necessidades nominais de energia para arrefecimento. É possível diminuir em 0,72 kWh/m<sup>2</sup>.ano o valor de

Nvc, o que se traduz na redução das necessidades anuais de energia para climatização em 35,23 kWh, relativamente à solução de revestimento de cor clara.

Conclui-se portanto que é vantajoso adotar a solução de fachadas fortemente ventiladas na envolvente exterior de moradias unifamiliares.

### **5.9.9 – Análise comparativa da posição de isolamento térmico em paredes exteriores**

Na presente análise comparativa verificam-se quais as diferenças existentes entre paredes exteriores com isolamento térmico pelo exterior, na caixa de ar e pelo interior.

Tendo em conta que o valor do coeficiente de transmissão térmica é considerado constante, a alteração de posição do isolamento térmico apenas vai influenciar a inércia térmica da moradia em estudo. Tendo em conta que só é considerada como massa superficial útil de qualquer elemento, a massa existente deste o isolante térmico até à superfície interior do mesmo, pode facilmente deduzir-se que a existência de isolamento térmico pelo interior de paredes exteriores, pode contribuir , juntamente com o isolamento pelo interior de outros elementos de envolvente, para uma classe de inércia térmica média ou fraca.

A massa superficial útil da moradia em estudo é 100498,69 Kg e a massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento é 676,08 Kg/m<sup>2</sup>. Segundo o Quadro VII.6 do RCCTE a classe de inércia térmica é forte. Para que a classe de inércia térmica fosse média a massa superficial util média de todos os elementos teria que ser inferior a  $(148,65 \text{ m}^2 \times 400 \text{ kg/m}^2 / 578,33 \text{ m}^2) = 102,81 \text{ kg/m}^2$ , de acordo com a fórmula (26) e superior a  $(148,65 \text{ m}^2 \times 150 \text{ kg/m}^2 / 578,33 \text{ m}^2) = 38,55 \text{ kg/m}^2$ .

No Quadro 5.63 são comparados os resultados para diferentes classes de inércia térmica.

Como se pode verificar pelos resultados obtidos, a classe de inércia térmica que permite obter melhores resultados em termos de eficiência energética da moradia em estudo, é a classe forte. Esta classe permite obter um fator de utilização dos ganhos solares mais elevado na estação de aquecimento e menor na estação de arrefecimento, contribuindo para a diminuição das necessidades nominais de energia para aquecimento e arrefecimento.

A diferença entre classes de inércia térmica é mais notória quando a relação entre os ganhos e as perdas ( $\gamma$ ) é igual a 0,80, como se pode comprovar pelo Gráfico IV.1 do RCCTE.

Inicialmente no presente caso de estudo, foi considerado que as paredes exteriores possuem isolamento térmico na caixa de ar, e a classe de inércia térmica é forte. Se a opção passar por isolamento térmico no exterior, as melhorias não são ao nível da classe de inércia térmica, mas sim das perdas térmicas em pontes térmicas lineares.

**Quadro 5.63 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 13**

Comparação de Resultados	Verificação do RCCTE n.º 20		
	Forte	Média	Fraca
Classe de inércia térmica			
$\gamma$ (inverno)	0,392	0,392	0,392
Fator de utilização dos ganhos solares $\eta$ (inverno)	0,988	0,945	0,878
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kWh/ano)	3778,31	3613,08	3359,26
$N_{ic}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	40,17	41,28	42,99
$\gamma$ (verão)	1,54	1,54	1,54
Fator de utilização dos ganhos solares $\eta$ (verão)	0,61	0,56	0,50
Necessidades brutas de arrefecimento (kWh)	882,31	1000,88	1125,75
$N_{vc}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	5,94	6,73	7,57
$N_{tc}$ (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	1,57	1,58	1,60
$N_t$ (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	6,31	6,31	6,31
$N_{tc}/N_t$	0,248	0,251	0,254
Classe energética	A+	A	A

No Quadro 5.64 são comparadas as perdas através de pontes térmicas lineares, para o caso de se considerarem paredes exteriores com isolamento térmico na caixa de ar, pelo exterior e pelo interior. Considera-se que a parede exterior com isolamento térmico pelo exterior é constituída do exterior para o interior por 1,5 cm de reboco tradicional, 13 cm de isolamento térmico, 22 cm de alvenaria em tijolo cerâmico furado e 1,5 cm de reboco tradicional. A parede exterior com isolamento térmico pelo interior é constituída do exterior para o interior por 1,5 cm de reboco tradicional, 22 cm de alvenaria em tijolo cerâmico furado, 13 cm de isolamento térmico e 1,5 cm de reboco tradicional.

**Quadro 5.64 – Análise comparativa de soluções construtivas n.º 14**

Comparação de Resultados	Verificação do RCCTE n.º 47	Verificação do RCCTE n.º 20	Verificação do RCCTE n.º 48
Localização do isolamento térmico	Exterior	Caixa de ar	Interior
Ligação de fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exterior, com isolamento sobre a laje $\Psi$ (W/m.°C)	0,54	0,67	0,27
Comprimento (m)	4,27	-	-
Perda térmica (W/°C)	2,28	2,84	1,13
Ligação de fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exterior, com isolamento sob a laje $\Psi$ (W/m.°C)	0,49	0,57	0,68
Comprimento (m)	13,48	-	-
Perda térmica (W/°C)	6,54	7,62	9,17
Ligação de fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exterior, com isolamento sob a laje $\Psi$ (W/m.°C)	0,49	0,52	0,58
Comprimento (m)	2,94	-	-
Perda térmica (W/°C)	1,42	1,51	1,70
Ligação da fachada com pavimentos intermédios $\Psi$ (W/m.°C)	0,20	0,52	0,83
Comprimento (m)	3,33	-	-
Perda térmica (W/°C)	0,67	1,71	2,76
Ligação da fachada com pavimentos intermédios $\Psi$ (W/m.°C)	0,10	0,26	0,42
Comprimento (m)	4,42	-	-
Perda térmica (W/°C)	0,44	1,14	1,83
Ligação da fachada com cobertura inclinada $\Psi$ (W/m.°C)	0,47	0,64	0,79
Comprimento (m)	23,98	-	-
Perda térmica (W/°C)	11,27	15,35	18,94
Ligação da fachada com terraço $\Psi$ (W/m.°C)	0,49	0,68	0,83
Comprimento (m)	5,96	-	-
Perda térmica (W/°C)	2,92	4,05	4,95
Ligação da fachada com varanda $\Psi$ (W/m.°C)	0,92	0,82	0,92
Comprimento (m)	3,15	-	-
Perda térmica (W/°C)	2,88	2,56	2,88

#### Continuação do Quadro 5.64

Ligação da fachada com varanda			
$\Psi$ (W/m. $^{\circ}$ C)	0,46	0,41	0,46
Comprimento (m)	7,74	-	-
Perda térmica (W/ $^{\circ}$ C)	3,54	3,15	3,54
Ligação entre duas paredes verticais			
$\Psi$ (W/m. $^{\circ}$ C)	0,15	0,20	0,25
Comprimento (m)	20,80	-	-
Perda térmica (W/ $^{\circ}$ C)	3,12	4,16	5,20
Ligação da fachada com padieira, ombreira ou peitoril			
$\Psi$ (W/m. $^{\circ}$ C)	0,20	0,20	0,20
Comprimento (m)	68,52	-	-
Perda térmica (W/ $^{\circ}$ C)	13,70	-	-
Ligação da fachada com pavimento (porta exterior e vãos envidraçados de sacada) – não tipificada			
$\Psi$ (W/m. $^{\circ}$ C)	0,50	0,50	0,50
Comprimento (m)	8,15	-	-
Perda térmica (W/ $^{\circ}$ C)	4,08	-	-
Perdas totais (W/ $^{\circ}$ C)	52,86	61,88	69,89
Necessidades brutas de aquecimento relativamente às pontes térmicas lineares (kWh/ano)	1864,90	2183,13	2465,72
Nic (kWh/m $^2$ .ano)	38,07	40,17	42,04
Nvc (kWh/m $^2$ .ano)	5,94	-	-
Ntc (kgep/m $^2$ .ano)	1,55	1,57	1,58
Nt (kgep/m $^2$ .ano)	6,31	6,31	6,31
Ntc/Nt	0,246	0,248	0,251
Classe energética	A+	A+	A

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que o isolamento pelo exterior de paredes exteriores é a solução mais eficiente em termos energéticos, permitindo diminuir as necessidades anuais de energia para climatização em 78,04 kWh, relativamente à solução de isolamento na caixa de ar e 147,57 kWh por ano, relativamente à solução de isolamento pelo interior.

A solução de isolamento pelo interior de paredes exteriores é a solução menos eficiente em termos globais, pois para além de maximizar as perdas térmicas lineares, pode em alguns casos conduzir a uma classe de inércia térmica média ou fraca. Contudo é a mais eficiente relativamente às perdas térmicas lineares, na ligação da fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exterior, com isolamento sobre a laje.



A solução de isolamento térmico no interior da caixa de ar apenas é a mais eficiente, relativamente às perdas térmicas lineares na ligação da fachada com varanda.

A aplicação de isolamento térmico pelo exterior das paredes exteriores, é a solução que permite mais facilmente alcançar uma classe de inércia térmica forte e minimizar as perdas térmicas lineares.



## **CAPÍTULO 6 – ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA SOBRE A ESPESSURA DE ISOLAMENTO TÉRMICO A UTILIZAR EM ELEMENTOS DE ENVOLVENTE DE MORADIAS UNIFAMILIARES**

### **6.1 – Introdução**

A resistência térmica dos elementos construtivos, em zona corrente, é fundamentalmente condicionada pela espessura dos isolantes térmicos leves que fazem parte da sua composição. Por isso, importa avaliar qual a espessura de isolante mais vantajosa do ponto de vista técnico-económico, sendo para tal necessário conhecer o custo global associado, que resulta da composição dos custos iniciais (aplicação de isolante térmico) com os custos de exploração (consumo de energia) [31].

No subcapítulo 5.8 foram apresentados os quadros relativos às verificações de cumprimento do RCCTE, considerando a utilização de diferentes espessuras de isolamento térmico nos elementos de envoltente da moradia em estudo, nomeadamente em paredes exteriores, paredes interiores em contacto com espaços não úteis, coberturas exteriores, coberturas interiores em contacto com espaços não úteis e pavimentos interiores em contacto com espaços não úteis.

No presente capítulo procura-se avaliar os custos de investimento e exploração, associados à aplicação de diferentes espessuras de isolamento térmico, em elementos de envoltente de moradias unifamiliares, de modo a definir a espessura ótima para determinado período de tempo.

Nesta análise considera-se a utilização de placas de poliestireno extrudido (XPS), com condutibilidade térmica de  $0,037 \text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$ .

### **6.2 – Isolamento térmico em paredes exteriores**

A moradia unifamiliar considerada no caso de estudo do capítulo 5, é também a utilizada nesta análise técnico-económica.

Os valores iniciais relativos aos indicadores energéticos considerados na presente análise, são os apresentados no Quadro 5.28 da presente dissertação, considerando a existência de 3 cm de isolamento térmico na caixa de ar de paredes duplas exteriores.

Considera-se também que o preço por metro quadrado das placas de poliestireno extrudido (sem IVA) [32], é o referido no Quadro 6.1.

O isolante térmico considerado em paredes, é poliestireno extrudido (WALLMATE CW).

**Quadro 6.1 – Preço por metro quadrado de placas de isolamento térmico WALLMATE CW**

WALLMATE CW	
Espessura (cm)	Preço (€/m <sup>2</sup> )
3	3,69
4	4,92
5	6,15
6	7,38
7	8,61
8	9,84
9	11,07
10	12,30
11	13,53
12	14,76
13	15,99

Para obter o valor do custo de exploração é necessário somar o custo de exploração durante a estação de aquecimento, o custo de exploração durante a estação de arrefecimento e o custo de exploração para produção de AQS [33].

*custo de exploração =*

$$\frac{N_{ic}}{\eta_i} \times A_p \times custo_{i[\text{€/kWh}]} + \frac{N_{vc}}{\eta_v} \times A_p \times custo_{v[\text{€/kWh}]} + N_{ac} \times A_p \times custo_{aqs[\text{€/kWh}]} \quad (51)$$

em que:

$\eta_i$  é a eficiência nominal do equipamento de climatização da estação de aquecimento, ou seja 4.

$\eta_v$  é a eficiência nominal do equipamento de climatização da estação de arrefecimento, ou seja 3.

$custo_{i[\text{€/kWh}]}$  é o custo da energia utilizada pelo equipamento de climatização da estação de aquecimento, ou seja 0,1393 €/kWh, tendo em conta que a fonte de energia considerada é energia elétrica.

$custo_v[\text{€/kWh}]$  é o custo da energia utilizada pelo equipamento de climatização da estação de arrefecimento, ou seja 0,1393 €/kWh, tendo em conta que a fonte de energia considerada é energia elétrica.

$custo_{aqs}[\text{€/kWh}]$  é o custo da energia utilizada pelo equipamento de apoio de AQS, ou seja 0,1393 €/kWh, tendo em conta que a fonte de energia considerada é energia elétrica.

O custo de exploração inicial, considerando 3 cm de isolamento térmico nas paredes exteriores, é calculado da seguinte forma:

*custo de exploração (3 cm XPS) =*

$$\frac{68,15}{4} \times 148,65 \times 0,1393 + \frac{5,25}{3} \times 148,65 \times 0,1393 + 21,27 \times 148,65 \times 0,1393 = 829,52 \text{ €/ano}$$

De referir que os valores dos índices térmicos utilizados na equação anterior, são os verificados no Quadro 5.29, referente à verificação de cumprimento do RCCTE n.º 3, considerando a aplicação de 3 cm de espessura de isolamento térmico nas paredes exteriores.

O custo de investimento inicial, relativamente à aquisição de placas de isolamento térmico com 3 cm de espessura, corresponde ao produto entre a área de parede exterior existente e o custo do isolante térmico por metro quadrado, ou seja,  $82,73 \text{ m}^2 \times 3,69 \text{ €/m}^2 = 305,27 \text{ €}$ .

Se forem adotados 4 cm de espessura de isolamento térmico, a eficiência energética é melhorada, contudo o custo inicial de investimento é superior. Seguidamente é avaliado o período de retorno do investimento inicial para as várias medidas de melhoria adotadas.

Os valores dos índices térmicos utilizados na equação seguinte, são os verificados no Quadro 5.29, referente à verificação de cumprimento do RCCTE n.º 3, considerando a aplicação de 4 cm de espessura de isolamento térmico nas paredes exteriores.

*custo de exploração (4 cm XPS)*

$$= \frac{67,02}{4} \times 148,65 \times 0,1393 + \frac{5,29}{3} \times 148,65 \times 0,1393 + 21,27 \times 148,65 \times 0,1393 = 823,89 \text{ €/ano}$$

O custo de investimento inicial, relativamente à aquisição de placas de isolamento térmico com 4 cm de espessura, corresponde ao produto entre a área de parede exterior existente e o custo do isolante térmico por metro quadrado, ou seja,  $82,73 \text{ m}^2 \times 4,92 \text{ €/m}^2 = 407,03 \text{ €}$ .

Se forem adotados 4 cm de isolamento térmico, a redução da fatura energética anual é de 829,52 € – 823,89 € = 5,63 €, relativamente à solução de 3 cm de isolamento térmico.

O custo do investimento inicial é 407,03 €, ou seja mais 101,76 € relativamente à solução de 3 cm de isolamento térmico.

O período de retorno do investimento em anos, calcula-se da seguinte forma:

$$\frac{\Delta \text{ custo de investimento inicial}}{\Delta \text{ custo de exploração}} \quad (52) \quad = \frac{101,76 \text{ €}}{5,63 \text{ €}} = 18,1 \text{ anos}$$

Se forem adotadas outras espessuras de isolamento térmico o método de cálculo das variações de custos é idêntico, considerando a variação sempre em relação à solução inicial de 3 cm de isolamento.

De forma a manter a espessura total das paredes exteriores, o aumento da espessura do isolamento térmico só é possível se a espessura dos panos interiores e exteriores das paredes exteriores duplas, for diminuída em um ou nos dois panos. Desta forma se forem adotados 6,7,8 ou 9 cm de espessura de isolamento térmico, o pano interior em alvenaria de tijolo cerâmico furado passa a ter 11 cm de espessura em vez de 15 cm. Esta redução de espessura do pano interior permite uma diminuição do custo de investimento inicial das soluções atrás referidas, em 2,08 € por metro quadrado de parede interior [34].

Se forem considerados 10, 11, 12 ou 13 cm de isolamento térmico na caixa de ar das paredes duplas, para além de ser necessário diminuir a espessura do pano interior, é também necessário diminuir a espessura do pano exterior de 15 cm para 11 cm. Com esta redução o custo de investimento inicial das soluções mencionadas diminui em 4,16 € por metro quadrado de parede exterior.

Quanto maior for a espessura de isolamento térmico considerada, menores serão os custos de exploração, compensando o custo de investimento inicial a longo prazo. É possível encontrar a espessura ótima de isolamento térmico para um determinado período de retorno. No Anexo 10 encontram-se os quadros relativos às medidas de melhoria a adotar em elementos da envolvente da moradia, onde é determinada a espessura ótima de isolamento térmico em paredes exteriores, para um período de retorno de 10, 20, 30, 40 e 50 anos.

Conclui-se que a espessura ideal de isolamento térmico a utilizar em paredes exteriores, depende do período de tempo considerado. Se o objetivo é otimizar a espessura para um período de 10 anos, então a solução mais económica é 3 cm, para um período de 20 anos a solução ótima é 6 cm, entre 30 e 40 anos a solução ótima é 10 cm, por último para um período

de 50 anos a solução ótima é 11 cm. Ou seja quanto maior for o período de tempo considerado, maior será a espessura ótima, contudo maior terá que ser o investimento inicial. De referir que se considera uma taxa de inflação de 0% para o custo de energia.

### **6.3 – Isolamento térmico em paredes interiores em contacto com espaços não úteis**

De modo a manter a espessura total das paredes interiores em contacto com espaços não úteis, que neste caso são edifícios adjacentes, o aumento da espessura do isolamento térmico só é possível se a espessura dos panos interiores e exteriores das paredes interiores duplas, for diminuída em um ou nos dois panos. Desta forma se forem adotados 6,7,8 ou 9 cm de espessura de isolamento térmico, o pano interior em alvenaria de tijolo cerâmico furado passa a ter 11 cm de espessura em vez de 15 cm. Esta redução de espessura do pano interior permite uma diminuição do custo de investimento inicial das soluções atrás referidas, em 2,08 € por metro quadrado de parede interior em contacto com espaço não útil.

Se forem considerados 10, 11 ou 12 cm de isolamento térmico na caixa de ar das paredes duplas, para além de ser necessário diminuir a espessura do pano interior, é também necessário diminuir a espessura do pano exterior de 15 cm para 11 cm. Com esta redução o custo de investimento inicial das soluções mencionadas diminui em 4,16 € por metro quadrado de parede interior em contacto com espaço não útil.

Os valores dos índices térmicos utilizados na equação seguinte, são os verificados no Quadro 5.36, referente à verificação de cumprimento do RCCTE n.º 8, considerando a aplicação de 3 cm de espessura de isolamento térmico nas paredes interiores em contacto com espaços não úteis.

*custo de exploração (3 cm XPS) =*

$$\frac{47,89}{4} \times 148,65 \times 0,1393 + \frac{5,84}{3} \times 148,65 \times 0,1393 + 21,27 \times 148,65 \times 0,1393 = 728,66 \text{ €/ano}$$

O custo de investimento inicial, relativamente à aquisição de placas de isolamento térmico com 3 cm de espessura, corresponde ao produto entre a área de parede interior em contacto com espaço não útil existente e o custo do isolamento térmico por metro quadrado, ou seja  $82,74 \text{ m}^2 \times 3,69 \text{ €/m}^2 = 305,31 \text{ €}$ .

No Anexo 10 encontram-se os quadros relativos às medidas de melhoria a adotar em paredes interiores em contacto com espaços não úteis, onde é determinada a espessura ótima de isolamento térmico para um período de 10, 20, 30, 40 e 50 anos.

Conclui-se que a espessura ideal de isolamento térmico a utilizar em paredes interiores em contacto com espaços não úteis, depende do período de tempo considerado. Se o objetivo é otimizar a espessura para um período de 10 anos, então a solução mais económica é 3 cm, entre 20 e 40 anos a solução ótima é 6 cm de isolamento, por último para um período de 50 anos a solução ótima é 10 cm.

#### **6.4 – Isolamento térmico na cobertura plana exterior**

Os valores dos índices térmicos utilizados na equação seguinte, são os verificados no Quadro 5.33, referente à verificação de cumprimento do RCCTE n.º 5, considerando a aplicação de 3 cm de espessura de isolamento térmico na cobertura plana exterior.

*custo de exploração (3cm XPS) =*

$$\frac{62,27}{4} \times 148,65 \times 0,1393 + \frac{5,46}{3} \times 148,65 \times 0,1393 + 21,27 \times 148,65 \times 0,1393 = 800,48 \text{ €/ano}$$

O custo de investimento inicial, relativamente à aquisição de placas de isolamento térmico com 3 cm de espessura, corresponde ao produto entre a área de cobertura exterior e o custo do isolamento térmico por metro quadrado, ou seja  $24,82 \text{ m}^2 \times 3,83 \text{ €/m}^2 = 95,06 \text{ €}$ .

Considera-se também que o preço por metro quadrado das placas de poliestireno extrudido (sem IVA) [32], é o referido no Quadro 6.2.

O isolante térmico considerado em pavimentos e coberturas, é poliestireno extrudido (ROOFMATE SL).

No Anexo 10 encontram-se os quadros relativos às medidas de melhoria a adotar na cobertura exterior, onde é determinada a espessura ótima de isolamento térmico para um período de 10, 20, 30, 40 e 50 anos.

Conclui-se que a espessura ideal de isolamento térmico a utilizar na cobertura exterior, depende do período de tempo considerado. Se o objetivo é otimizar a espessura para um período de 10 anos, a solução mais económica é 3 cm, para 20 anos a espessura ótima é 5



cm, para 30 anos a espessura ótima é 7 cm, para 40 anos a espessura ótima é 8 cm e finalmente para 50 anos a espessura ótima é 9 cm.

**Quadro 6.2 – Preço por metro quadrado de placas de isolamento térmico ROOFMATE SL**

ROOFMATE SL	
Espessura (cm)	Preço (€/m <sup>2</sup> )
3	3,83
4	5,10
5	6,38
6	7,65
7	8,93
8	10,20
9	11,48
10	12,76
11	14,03
12	15,30
13	16,58

## 6.5 – Isolamento térmico no pavimento interior sobre a cave

Os valores dos índices térmicos utilizados na equação seguinte, são os verificados no Quadro 5.34, referente à verificação de cumprimento do RCCTE n.º 6, considerando a aplicação de 3 cm de espessura de isolamento térmico no pavimento interior sobre a cave.

*custo de exploração (3 cm XPS) =*

$$\frac{59,92}{4} \times 148,65 \times 0,1393 + \frac{5,84}{3} \times 148,65 \times 0,1393 + 21,27 \times 148,65 \times 0,1393 = 790,94 \text{ €/ano}$$

O custo de investimento inicial, relativamente à aquisição de placas de isolamento térmico com 3 cm de espessura, corresponde ao produto entre a área de pavimento interior sobre a cave e o custo do isolamento por metro quadrado, ou seja  $79,42 \text{ m}^2 \times 3,83 \text{ €/m}^2 = 304,18 \text{ €}$ .

No Anexo 10 encontram-se os quadros relativos às medidas de melhoria a adoptar no pavimento interior sobre a cave, onde é determinada a espessura ótima de isolamento térmico para um período de 10, 20, 30, 40 e 50 anos.

Conclui-se que a espessura ideal de isolamento térmico a utilizar no pavimento interior sobre a cave, depende do período de tempo considerado. Se o objetivo é otimizar a espessura para um período de 10 a 20 anos, a solução mais económica é 3 cm, para 30 anos a espessura ótima é

4 cm, para 40 anos a espessura ótima é 6 cm e finalmente para 50 anos a espessura ótima é 7 cm.

## 6.6 – Isolamento térmico na cobertura interior sob o desvão de cobertura

Os valores dos índices térmicos utilizados na equação seguinte, são os verificados no Quadro 5.35, referente à verificação de cumprimento do RCCTE n.º 7, considerando a aplicação de 3 cm de espessura de isolamento térmico na cobertura interior sob o desvão de cobertura.

*custo de exploração (3 cm XPS) =*

$$\frac{56,25}{4} \times 148,65 \times 0,1393 + \frac{5,84}{3} \times 148,65 \times 0,1393 + 21,27 \times 148,65 \times 0,1393 = 771,94 \text{ €/ano}$$

O custo de investimento inicial, relativamente à aquisição de placas de isolamento térmico com 3 cm de espessura, corresponde ao produto entre a área de cobertura interior sob o desvão de cobertura e o custo do isolamento por metro quadrado, ou seja  $61,56 \text{ m}^2 \times 3,83 \text{ €/m}^2 = 235,77 \text{ €}$ .

No Anexo 10 encontram-se os quadros relativos às medidas de melhoria a adotar na cobertura interior sob o desvão de cobertura, onde é determinada a espessura ótima de isolamento térmico para um período de 10, 20, 30, 40 e 50 anos.

Conclui-se que a espessura ideal de isolamento térmico a utilizar na cobertura interior sob o desvão de cobertura, depende do período de tempo considerado. Se o objetivo é otimizar a espessura para um período de 10 anos, a solução mais económica é 4 cm, para 20 anos a espessura ótima é 7 cm, para 30 anos a espessura ótima é 9 cm, para 40 anos a espessura ótima é 10 cm e finalmente para 50 anos a espessura ótima é 12 cm.

Em todos os subcapítulos do presente capítulo considerou-se que a energia utilizada pelo equipamento de apoio de produção de águas quentes sanitárias, é a energia elétrica, contudo a utilização de gás natural permitiria diminuir o valor do custo de exploração.

O custo de exploração calculado neste subcapítulo, considerando a aplicação de 3 cm de espessura de isolamento térmico na cobertura interior sob o desvão de cobertura, é inferior se for utilizado gás natural, como fonte de energia do equipamento de apoio de produção de águas quentes sanitárias, em detrimento da energia elétrica. O preço do kWh, considerando a utilização de gás natural, é de 0,0671 €/kWh, sem IVA [35].

O custo de exploração, considerando a mesma eficiência do equipamento de produção de AQS e o gás natural como fonte de energia, é calculado da seguinte forma:

*custo de exploração (3 cm XPS) =*

$$\frac{56,25}{4} \times 148,65 \times 0,1393 + \frac{5,84}{3} \times 148,65 \times 0,1393 + 21,27 \times 148,65 \times 0,0671 = 543,66 \text{ €/ano}$$

A utilização de gás natural em detrimento da energia elétrica, permitiria poupar 771,94 € - 543,66 € = 228,28 € anuais.



## CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE ESTUDOS FUTUROS

Na presente dissertação foi possível analisar várias soluções construtivas, a adotar em moradias unifamiliares localizadas na zona climática  $V_3 I_1$  e determinar as que mais contribuem para uma eficiência energética elevada. No subcapítulo 5.8 foi analisada a aplicação de soluções construtivas na moradia unifamiliar considerada no caso de estudo e no Quadro 5.50 é possível verificar qual foi o contributo de cada uma delas para a melhoria da eficiência energética. Na análise foi considerada a localização mais desfavorável em termos de classificação energética, ou seja o concelho de Entroncamento, de acordo com o Quadro 5.27.

As medidas que mais contribuem para a redução do consumo energético anual, para climatização e produção de AQS, de acordo com o Quadro 5.50, são as seguintes:

- Aumento da espessura de isolamento térmico na cobertura interior sob o desvão de cobertura em zona corrente (melhoria de 5,22% relativamente ao consumo energético anual para a solução inicial, de acordo com o Quadro 5.50).
- Aplicação de termoacumulador elétrico com pelo menos 100 mm de isolamento térmico (melhoria de 16,18% relativamente ao consumo energético anual para a solução inicial, de acordo com o Quadro 5.50).
- Aplicação de mais de 10 mm de isolamento térmico em toda a rede de distribuição de água quente (melhoria de 13,16% relativamente ao consumo energético anual para a solução inicial, de acordo com o Quadro 5.50).
- Aplicação de sistema fotovoltaico, fornecendo energia de apoio à produção de AQS (melhoria de 9,45% relativamente ao consumo energético anual para a solução inicial, de acordo com o Quadro 5.50).

A única medida de melhoria que permite diminuir significativamente o índice térmico  $N_{tc}/N_t$ , tornando a moradia unifamiliar mais eficiente em termos energéticos, mas por outro lado provocar o aumento do consumo energético anual medido em kWh, é a aplicação de esquentador a gás, de exaustão ventilada e eficiência de 0,75 a 30% da carga nominal. Esta situação deve-se ao facto da fonte de energia do sistema de apoio para produção de AQS, ser gás natural e não eletricidade, dado que o fator de conversão  $F_{pu}$  entre energia útil e energia primária, é 0,086 kgep/kWh no caso de se utilizar gás e 0,290 kgep/kWh no caso de se utilizar eletricidade.

De acordo com a equação (51), o custo do consumo energético anual para climatização e produção de AQS, para a solução inicial, utilizada na verificação de cumprimento do RCCTE n.º 2 – Quadro 5.28, é calculado da seguinte forma:

$$\frac{N_{ic}}{\eta_i} \times A_p \times custo_{i[\text{€/kWh}]} + \frac{N_{vc}}{\eta_v} \times A_p \times custo_{v[\text{€/kWh}]} + N_{ac} \times A_p \times custo_{aqs[\text{€/kWh}]} =$$

$$\frac{68,157}{4} \times 148,65 \times 0,1393 + \frac{5,25}{3} \times 148,65 \times 0,1393 + 21,272 \times 148,85 \times 0,1393 = 829,55\text{€}$$

O custo do consumo energético anual para climatização e produção de AQS, para a solução utilizada na verificação de cumprimento do RCCTE n.º 20 – Quadro 5.49, é calculado da seguinte forma:

$$\frac{N_{ic}}{\eta_i} \times A_p \times custo_{i[\text{€/kWh}]} + \frac{N_{vc}}{\eta_v} \times A_p \times custo_{v[\text{€/kWh}]} + N_{ac} \times A_p \times custo_{aqs[\text{€/kWh}]} =$$

$$\frac{40,173}{4} \times 148,65 \times 0,1393 + \frac{5,935}{3} \times 148,65 \times 0,1393 + 14,169 \times 148,85 \times 0,0671 = 390,26\text{€}$$

Após aplicação de todas as soluções construtivas referidas no subcapítulo 5.8, é possível reduzir em 439,29€ o custo com o consumo energético anual para climatização e produção de águas quentes sanitárias.

Relativamente à melhoria da classificação energética, conclui-se que a aplicação de soluções construtivas relacionadas com a redução das necessidades de energia para preparação de AQS, provocam melhorias substanciais em termos de classificação energética. A redução do índice térmico  $N_{ac}$  é fundamental para se atingir a classe energética A+.

No subcapítulo 5.9 procurou-se comparar diferentes soluções construtivas e foi possível chegar a algumas conclusões:

- É aconselhável optar por pavimentos em contacto com desvão sanitário, em detrimento de pavimentos em contacto com o terreno.
- A cobertura com proteção exterior sobre apoios pontuais, originando uma caixa de ar fortemente ventilada sob a proteção, é a solução construtiva que permite obter os melhores resultados em termos de eficiência energética, em comparação com as coberturas exteriores planas com superfícies exteriores de cor clara, média ou escura, dado que não se consideram os ganhos solares pela envolvente opaca, contribuindo para a redução das necessidades nominais de energia para arrefecimento.

- Os vãos envidraçados com vidro duplo incolor de baixa emissividade e caixilharia com corte térmico, permitem a obtenção dos melhores resultados no caso de se optar por caixilharia metálica.
- A moradia unifamiliar do caso de estudo apresenta melhor classificação energética, se for construída em banda com outras moradias similares, em vez de se encontrar isolada.
- Quanto menor for o ângulo de sombreamento do horizonte, menor é a razão  $N_{tc}/N_t$ , portanto mais elevada é a eficiência energética.
- É aconselhável aplicar vãos envidraçados orientados a Sul, sem pala horizontal, pois embora conduza ao aumento do indicador  $N_{vc}$ , minimiza o valor do indicador  $N_{ic}$ , conduzindo a um valor de " $N_{ic}+N_{vc}$ " mais baixo, relativamente a outras soluções. Por outras palavras, são maximizados os ganhos solares através dos vãos envidraçados na estação de aquecimento, contribuindo para a redução das necessidades anuais de energia para aquecimento, mas por outro lado na estação de arrefecimento são também maximizados os ganhos solares através dos vãos envidraçados, contribuindo para o aumento das necessidades anuais de energia para arrefecimento. Contudo o contributo dos ganhos solares na estação de aquecimento, sobrepõe-se ao contributo prejudicial dos ganhos solares na estação de arrefecimento, conduzindo a uma melhoria da eficiência energética.
- A orientação a Sul da maior parte da área envidraçada da moradia, favorece a eficiência energética do edifício, minimizando o indicador  $N_{ic}$ , assim como o valor correspondente à soma de  $N_{ic}$  e  $N_{vc}$ .
- É benéfico, em termos de eficiência energética, optar por vãos envidraçados orientados a sul, em detrimento de paredes exteriores, pelo menos se for considerado um aumento de  $1 \text{ m}^2$ , que no caso de estudo considerado consiste em 8,65% da área envidraçada orientada a sul.
- É vantajoso adotar soluções de fachadas fortemente ventiladas na envolvente exterior de moradias unifamiliares.
- A aplicação de isolamento térmico pelo exterior das paredes exteriores é a solução que permite, mais facilmente, alcançar uma classe de inércia térmica forte e minimizar as perdas térmicas lineares, sendo por isso a solução preferencial relativamente à posição do isolamento térmico em paredes exteriores.

No capítulo 6 foi realizada uma análise técnico-económica sobre a espessura de isolamento térmico, a utilizar em elementos da envolvente da moradia unifamiliar considerada no caso de estudo. A espessura ideal de isolamento térmico a utilizar em elementos da envolvente, depende do período de tempo considerado. Se por exemplo for considerado um período de 30 anos, o valor mais baixo correspondente à soma do custo de investimento com o custo de exploração, é obtido com 10 cm de espessura de isolamento térmico, sendo por isso considerada a espessura ideal em paredes exteriores, para o período de tempo considerado. Para o caso de estudo considerado, em paredes interiores em contacto com espaços não úteis com  $\tau = 0,6$ , na cobertura exterior plana, no pavimento interior sobre a cave com  $\tau = 0,5$  e na cobertura interior sob o desvão de cobertura com  $\tau = 1,0$ , as espessuras ideais de isolamento térmico, são respetivamente 6 cm, 7 cm, 4 cm e 9 cm, para um período de 30 anos.

A espessura ideal de isolamento térmico em elementos da envolvente exterior, é superior à espessura ideal em elementos da envolvente interior. Apenas na cobertura interior a espessura ideal é idêntica à verificada em elementos da envolvente exterior, devido ao facto de se ter considerado que o desvão de cobertura é fortemente ventilado, pelo que o respetivo coeficiente  $\tau$  é igual a 1 e, conseqüentemente, a laje de esteira tem requisitos de envolvente exterior.

Tendo em conta que os elementos das envolventes exterior e interior da moradia estudada, possuem diferentes áreas, são em seguida apresentados os valores relativos à redução das necessidades anuais de energia para climatização e produção de AQS, por metro quadrado de elemento e considerando que se passa de 3 cm para 12 cm de espessura de isolamento térmico em cada um dos elementos:

- Paredes exteriores:  $179,36 \text{ kWh} / 82,73 \text{ m}^2 = 2,17 \text{ kWh/m}^2$
- Paredes interiores:  $108,11 \text{ kWh} / 82,74 \text{ m}^2 = 1,31 \text{ kWh/m}^2$
- Cobertura exterior:  $68,43 \text{ kWh} / 24,82 \text{ m}^2 = 2,76 \text{ kWh/m}^2$
- Cobertura interior:  $300,50 \text{ kWh} / 61,56 \text{ m}^2 = 4,88 \text{ kWh/m}^2$
- Pavimento interior:  $131,15 \text{ kWh} / 79,42 \text{ m}^2 = 1,65 \text{ kWh/m}^2$

É possível concluir que o incremento da espessura de isolante térmico das coberturas exteriores, ou das coberturas interiores em contacto com desvãos fortemente ventilados, permite obter melhorias mais significativas de eficiência energética das moradias, do que quando iguais incrementos são implementados em paredes ou em pavimentos.



Outra das conclusões a tirar com a presente dissertação é que as pontes térmicas lineares, são responsáveis por 40% a 60% das perdas associadas à envolvente exterior de moradias unifamiliares. Daí a importância de se aplicarem soluções construtivas que minimizem o efeito das pontes térmicas. Algumas dessas soluções construtivas são ilustradas no subcapítulo 4.7.

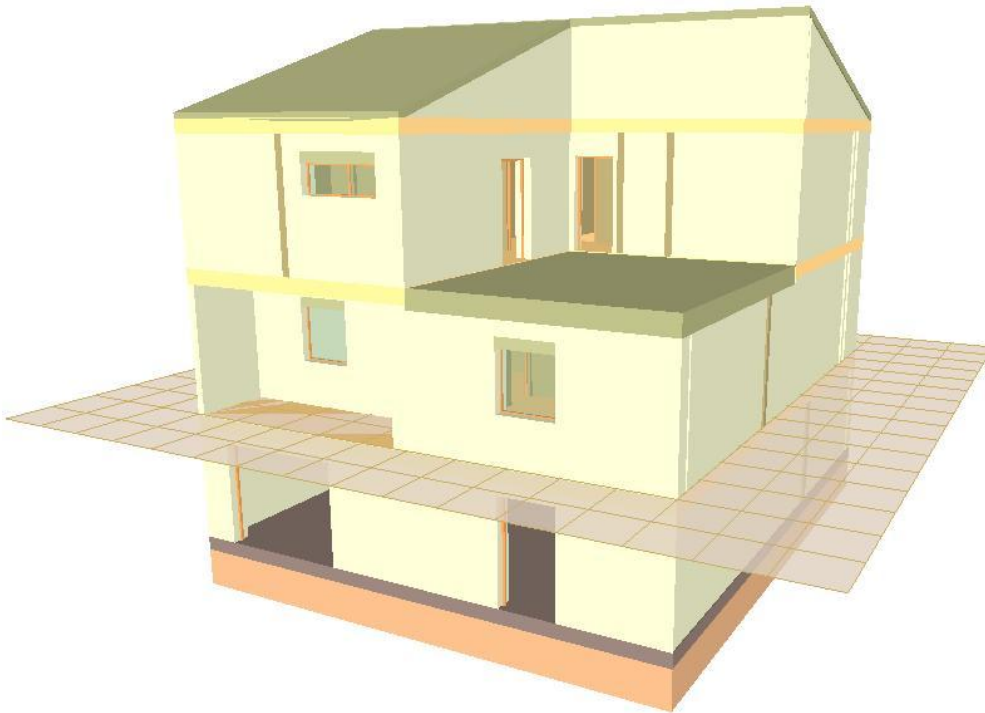
Com este trabalho procurou-se reforçar a ideia de que é possível reduzir os consumos de energia em moradias unifamiliares, assim como nos restantes edifícios habitacionais em geral, se forem aplicadas soluções construtivas que permitam melhorar a eficiência energética e contribuir para um futuro mais sustentável. A escolha de soluções construtivas é um processo de extrema importância, que vai influenciar o desempenho energético de edifícios e pode significar a redução do consumo anual de energia, no caso de serem corretamente escolhidas e aplicadas.

Relativamente a estudos futuros e tendo em conta a complexidade inerente a um estudo de comportamento térmico detalhado, é notória a necessidade crescente de criar formas mais eficazes e rápidas de realizar os estudos, minimizando as hipóteses de erro. Existem no mercado programas informáticos que permitem efetuar estudos de comportamento térmico dos edifícios.

O Cypeterm é um software desenvolvido para Portugal, especificamente para dar resposta ao projeto de verificação das características de comportamento térmico dos edifícios de acordo com o Decreto-Lei n.º 80/2006, Nota Técnica NT-SCE-01 (Despacho n.º 11020/2009) e Perguntas e Respostas sobre o RCCTE [21]. De referir que o Cypeterm é o único software certificado pela norma ISO/IEC 25051:2008 com o selo Certif / SCE [36].

É por isso importante o estudo e desenvolvimento de mais programas de cálculo com base na modelação tridimensional de edifícios de forma gráfica, que permitam a realização de estudos de comportamento térmico de edifícios, cada vez mais rigorosos, realistas, rápidos de realizar e fáceis de compreender.

Outra proposta de estudos futuros consiste no desenvolvimento de novos tipos de isolantes térmicos, com condutibilidades térmicas mais baixas relativamente aos isolantes térmicos existentes atualmente, possibilitando mais facilmente o alcance da classe energética A ou A+ em edifícios de habitação, sem ser necessário aplicar espessuras elevadas nos elementos de envolvente. O desenvolvimento de sistemas para climatização e preparação de AQS, com rendimentos mais elevados, é também de extrema importância para um futuro mais sustentável.



**Figura 7.1 – Vista 3D da moradia unifamiliar do caso de estudo no software Cypeterm**

O futuro são as energias renováveis, conforme referido no subcapítulo 4.10, por isso o contributo da energia solar em edifícios habitacionais deve ser cada vez maior, caminhando no sentido dos edifícios autossustentáveis. O desenvolvimento de outras formas de acumular e utilizar energia solar em edifícios, é outra proposta de estudo futuro.

O desenvolvimento de soluções construtivas mais eficientes, sistemas de climatização e preparação de AQS com rendimentos elevados, programas informáticos mais realistas, eficazes e rápidos na realização de estudos de comportamento térmico de edifícios e um melhor aproveitamento de energias renováveis, constituem propostas de estudos futuros, possibilitando que num futuro próximo a maioria dos edifícios possuam classificação energética A ou A+.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

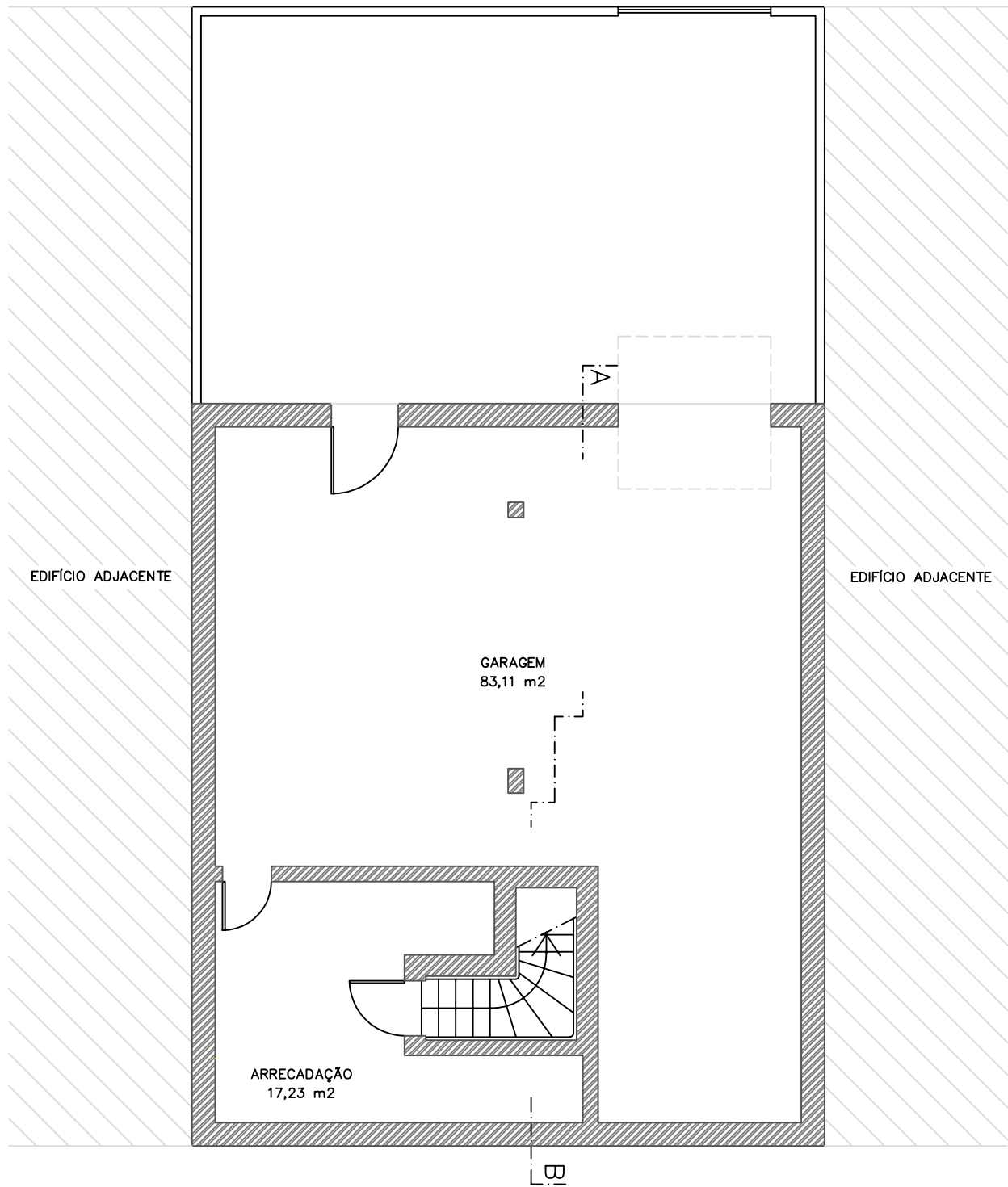
- [1] Fernandes, S. M.; Córias, V. *Reabilitação Energética dos Edifícios*. Engenharia e Vida, junho de 2008.
- [2] Ferreira, A. J. *Cálculo das Necessidades de Aquecimento e de Arrefecimento de acordo com o Decreto-Lei N.º 80/2006*. Engenharia e Vida, outubro de 2007.
- [3] Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de abril. *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*.
- [4] ITeCons. <http://www.itecons.uc.pt/> Página consultada em 17 de janeiro de 2012.
- [5] Despacho n.º 10250/2008 de 8 de abril. *Modelo dos Certificados de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior*.
- [6] Carvalho, L. C. *Verificação das Exigências do Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios pelo Método da Compensação Folhas de Cálculo. Tabelas*. LNEC, Lisboa, 1999.
- [7] Rodrigues, A. M.; Canha da Piedade, A.; Braga, A. M. *Térmica de Edifícios*. Edições Orion, 2009.
- [8] Santos, C. A. Pina dos; Matias, L. *ITE 50 – Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. Versão actualizada 2006*. LNEC, Lisboa, 2008.
- [9] Santos, T. M. *Ficha Técnica - Sistema Weber.Therm. Sistema de isolamento térmico exterior em fachadas (do tipo ETICS)*. Edição Construlink.com.
- [10] Mascarenhas, J. *Contributos para o cumprimento do RCCTE, Detalhes construtivos sem pontes térmicas, Materiais Básicos (6ª parte): o Betão*. Sistemas de Construção Volume IX, Coleção: Técnicas de Construção, Livros Horizonte 2ª edição, Lisboa, novembro de 2008.
- [11] Foamglas. [http://building-int.foamglas.com/en/applications/special\\_insulation\\_systems/](http://building-int.foamglas.com/en/applications/special_insulation_systems/) Página consultada em 27 de fevereiro de 2012.
- [12] Schöck. [http://www.schoeck.co.uk/en\\_gb/downloads](http://www.schoeck.co.uk/en_gb/downloads) Página consultada em 31 de janeiro de 2012.
- [13] Casa Certificada. <http://www.casacertificada.pt/empresas/solucao/vidro-duplo> Página consultada em 23 de fevereiro de 2012.
- [14] Casa Certificada. <http://www.casacertificada.pt/empresas/solucao/sombreamentos-exterior> Página consultada em 24 de fevereiro de 2012.
- [15] EcoArktekt. <http://www.ecoarkitekt.com/eficiencia-energetica/vaos-envidracados/> Página consultada em 24 de fevereiro de 2012.
- [16] Fórum da Casa. <http://forumdacasa.com/discussion/12297/caixilhos-em-madeira/> Página consultada em 24 de fevereiro de 2012.

- [17] Cubistral. <http://www.cubistral.pt/cgi-bin/cubistral/23.html>. Página consultada em 27 de fevereiro de 2012.
- [18] Isaluminios. <http://isaluminio.pai.pt/> Página consultada em 23 de fevereiro de 2012.
- [19] Low Energy House. <http://www.lowenergyhouse.com/low-E-glass.html> Página consultada em 27 de fevereiro de 2012.
- [20] Point Fort Fichet. <http://www.fichet-pointfort.com.pt/rewrite/article/872/produtos/porta-blindada-moradia/> Página consultada em 28 de fevereiro de 2012.
- [21] ADENE. *Perguntas e Respostas sobre o RCCTE, versão 2.0*. maio de 2011.
- [22] Casa Certificada. <http://www.casacertificada.pt/empresas/solucao/permeabilidade-da-envolvente-ao-vapor> Página consultada em 11 de março de 2012.
- [23] Casa Certificada. <http://www.casacertificada.pt/empresas/solucao/sistemas-convencionais-para-aguas-quentes-sanitarias> Página consultada em 11 de março de 2012.
- [24] Vulcano. <http://www.vulcano.pt> Página consultada em 12 de março de 2012.
- [25] Bárria, I. *Energia Solar nos Edifícios*. Engenharia e Vida, abril de 2007.
- [26] Direcção Geral de Energia e Geologia. <http://www.dgge.pt/>, *renováveis - estatísticas rápidas – dezembro 2011* Página consultada em 13 de março de 2012.
- [27] Casa Certificada. <http://www.casacertificada.pt/empresas/area/eficiencia-energtica> Página consultada em 13 de março de 2012.
- [28] ADENE. *Memória Descritiva, Caso Prático – Edifício de Apartamentos*. Módulo de Certificação SCE – RCCTE, Curso de Formação de Peritos Qualificados.
- [29] ADENE. *Incorrecções e omissões relativas ao RCCTE*.
- [30] EDP. <http://www.edpsu.pt/pt/particulares/tarifasehorarios/BTN> Página consultada em 26 de abril de 2012.
- [31] Freitas, V. P. *Implicações construtivas do novo RCCTE na concepção de paredes de alvenaria*. Seminário sobre paredes de alvenaria, 2007.
- [32] Isolar. Tabela de Preços de Abril de 2012. <http://isolar.pt> Página consultada em 30 de abril de 2012.
- [33] ADENE. *Correcção do Caso Prático*. Módulo de Certificação RCCTE, Cursos 60 e 61.
- [34] CYPE, Software para Engenharia e Construção. *Gerador de Preços da Construção*. 2011.
- [35] EDP Gás. <http://www.edpgassu.pt/index.php?id=242> Página consultada em 30 de abril de 2012.
- [36] CYPE, Software para Engenharia e Construção. *Manual de Utilizador do Programa Cypeterm*. 2011.

# **ANEXOS**

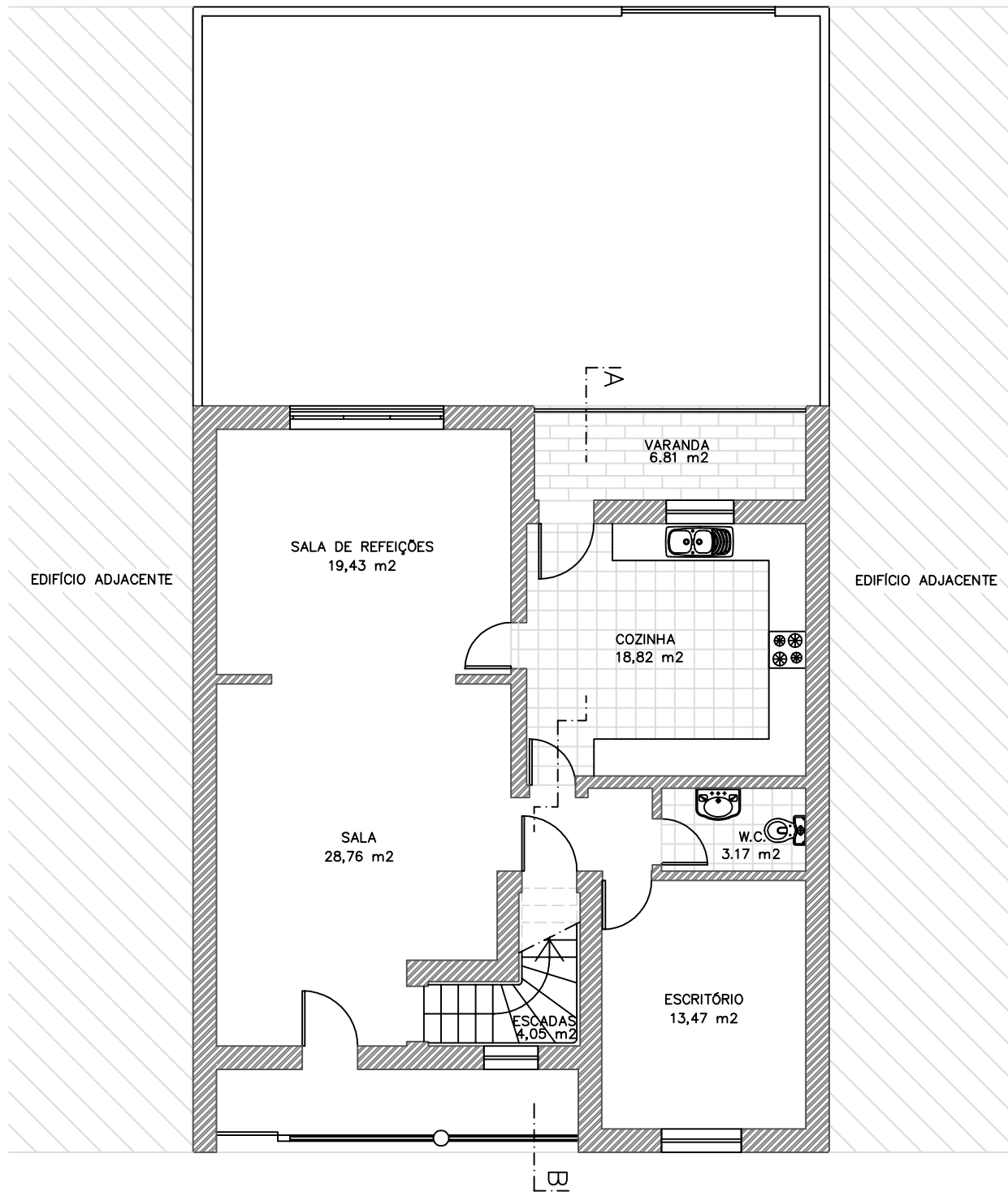


**Anexo 1 : Peças desenhadas relativas ao projeto de  
arquitetura e estabilidade da moradia unifamiliar do caso de  
estudo**

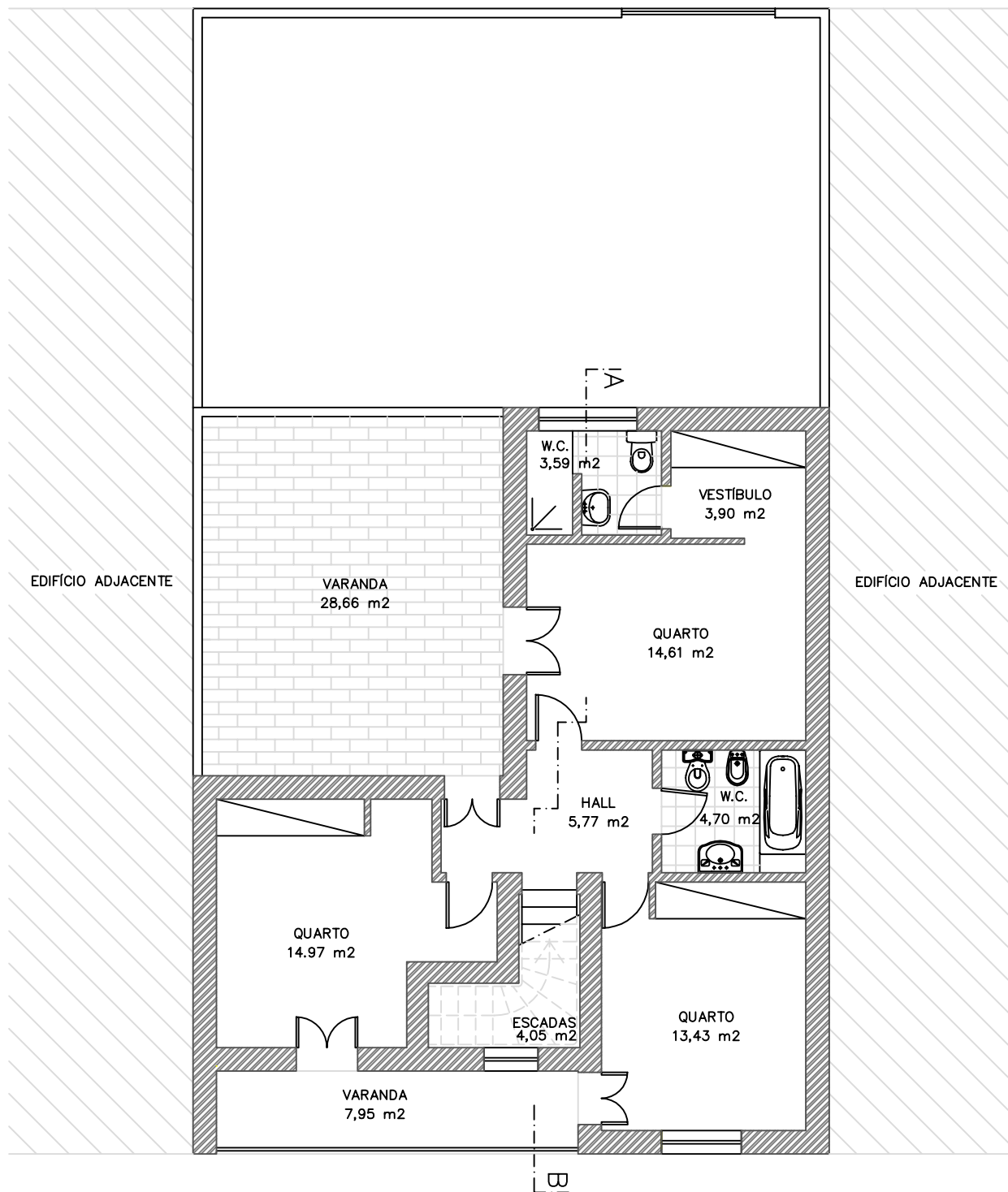


PLANTA DA CAVE (escala 1:100)

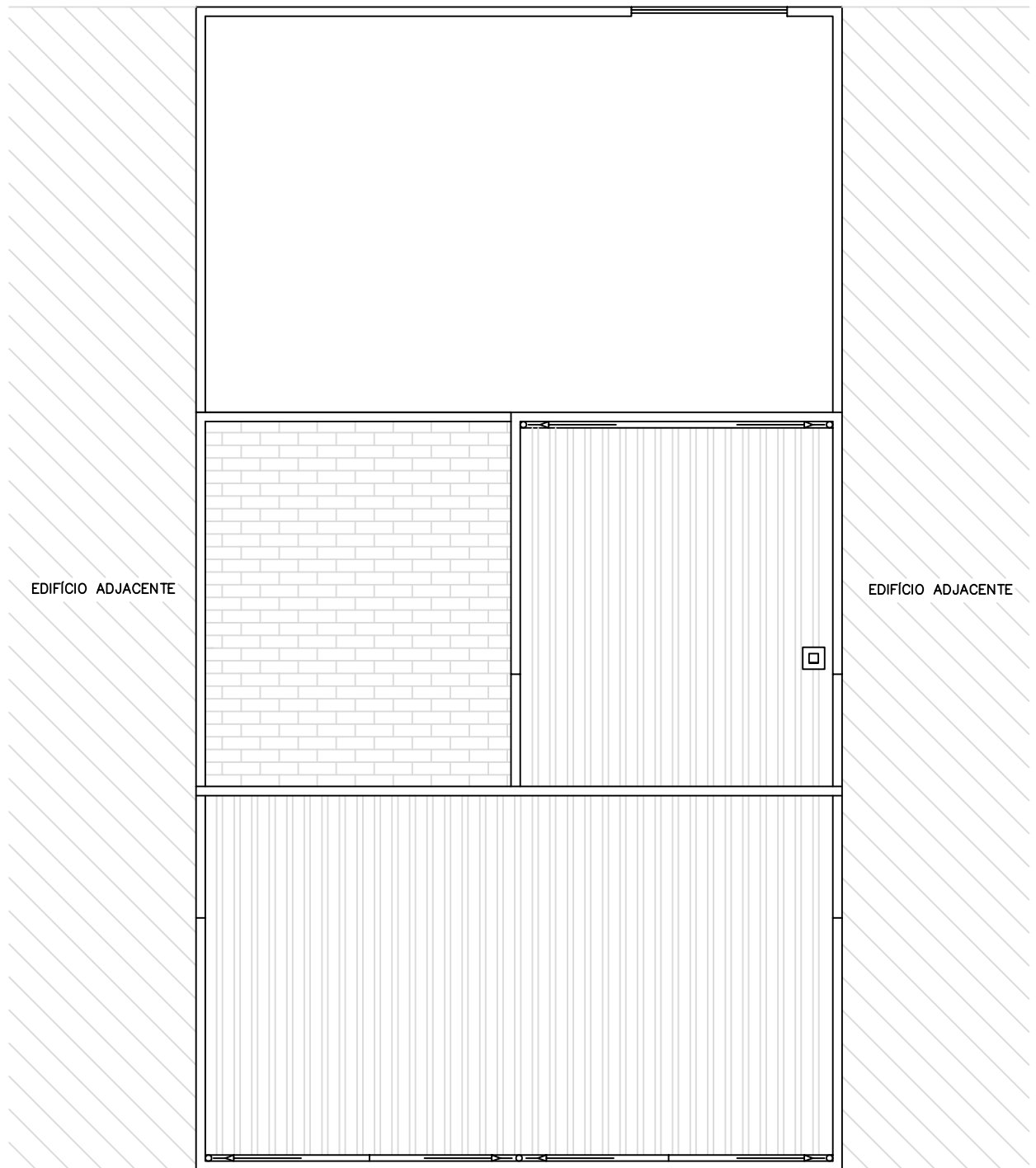




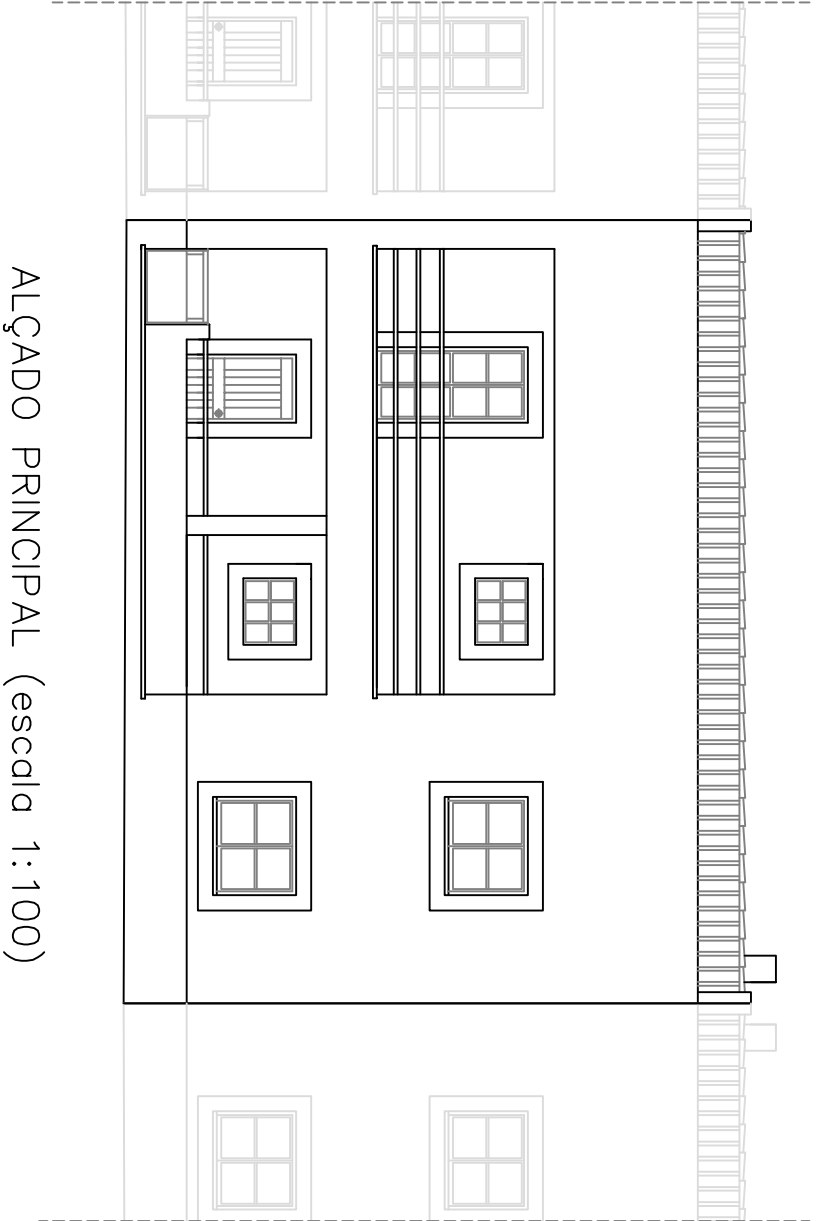
PLANTA DO R/CHÃO (escala 1:100)



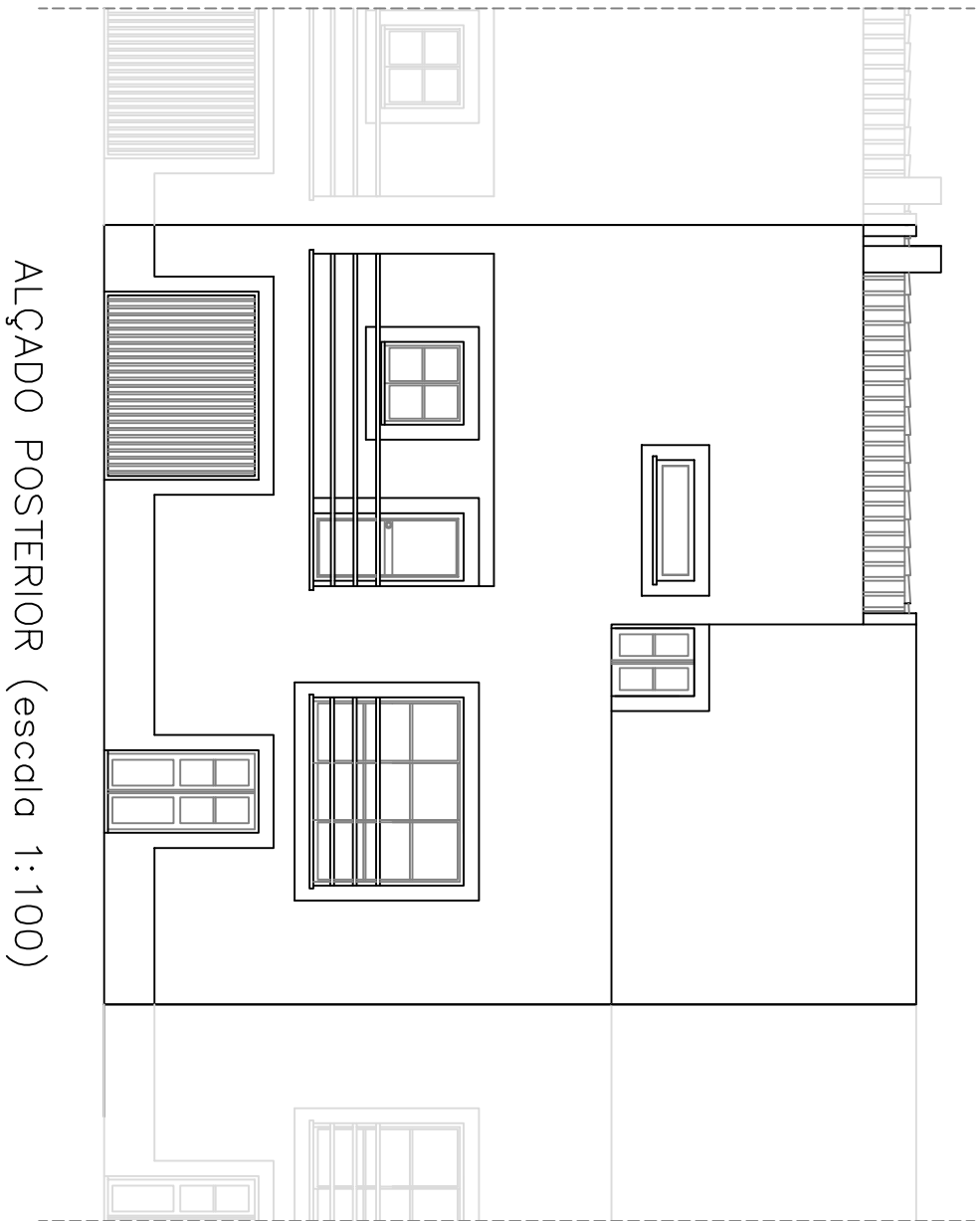
PLANTA DO 1.º ANDAR (escala 1:100)



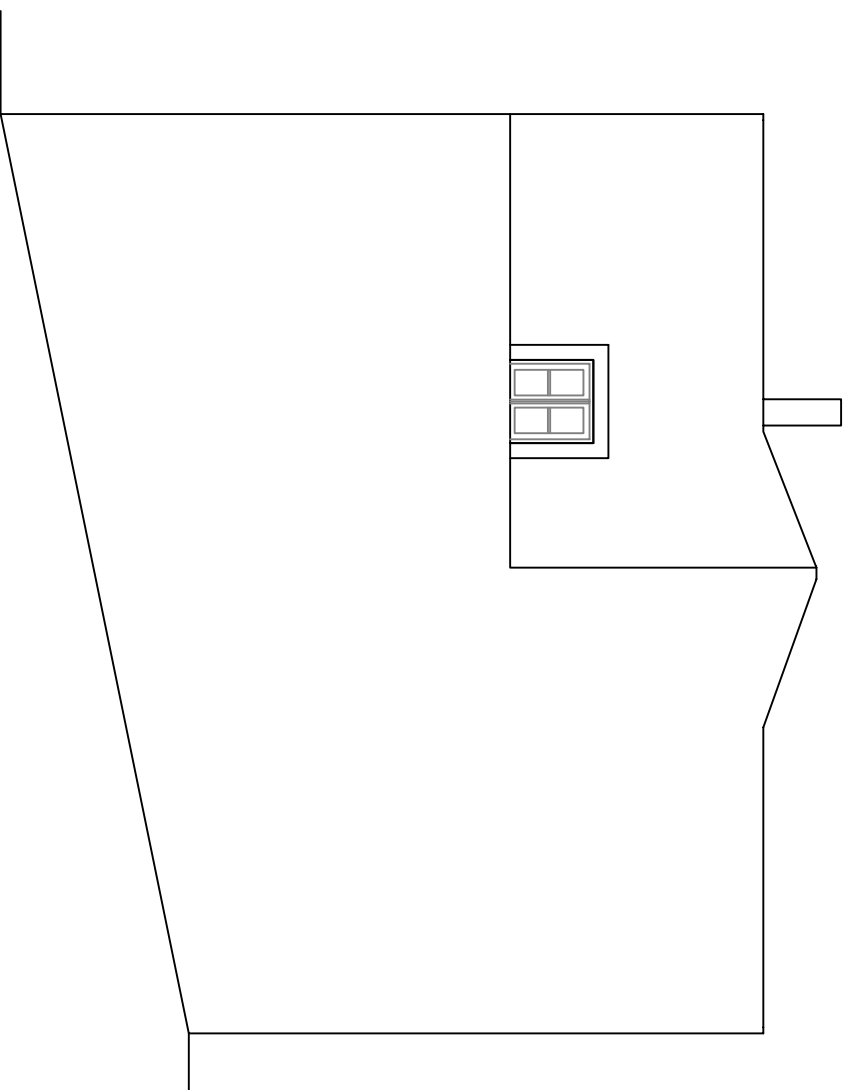
PLANTA DE COBERTURA (escala 1:100)



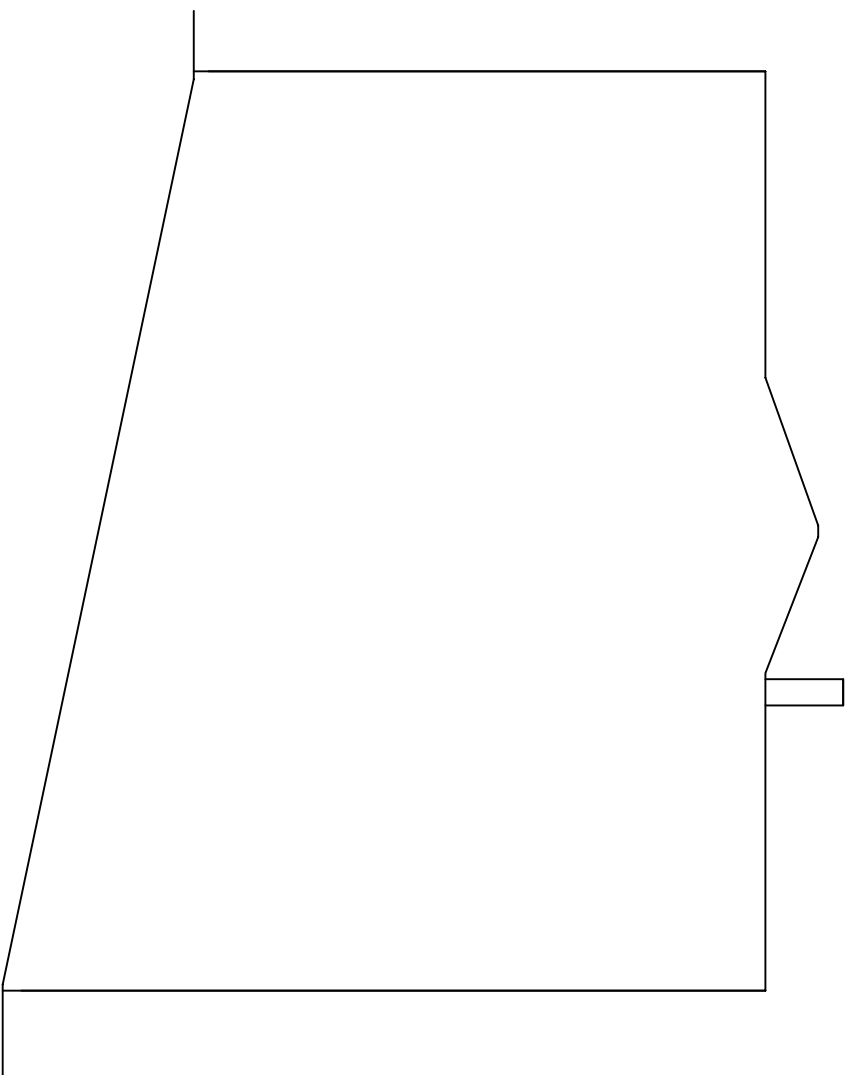
ALÇADO PRINCIPAL (escala 1:100)



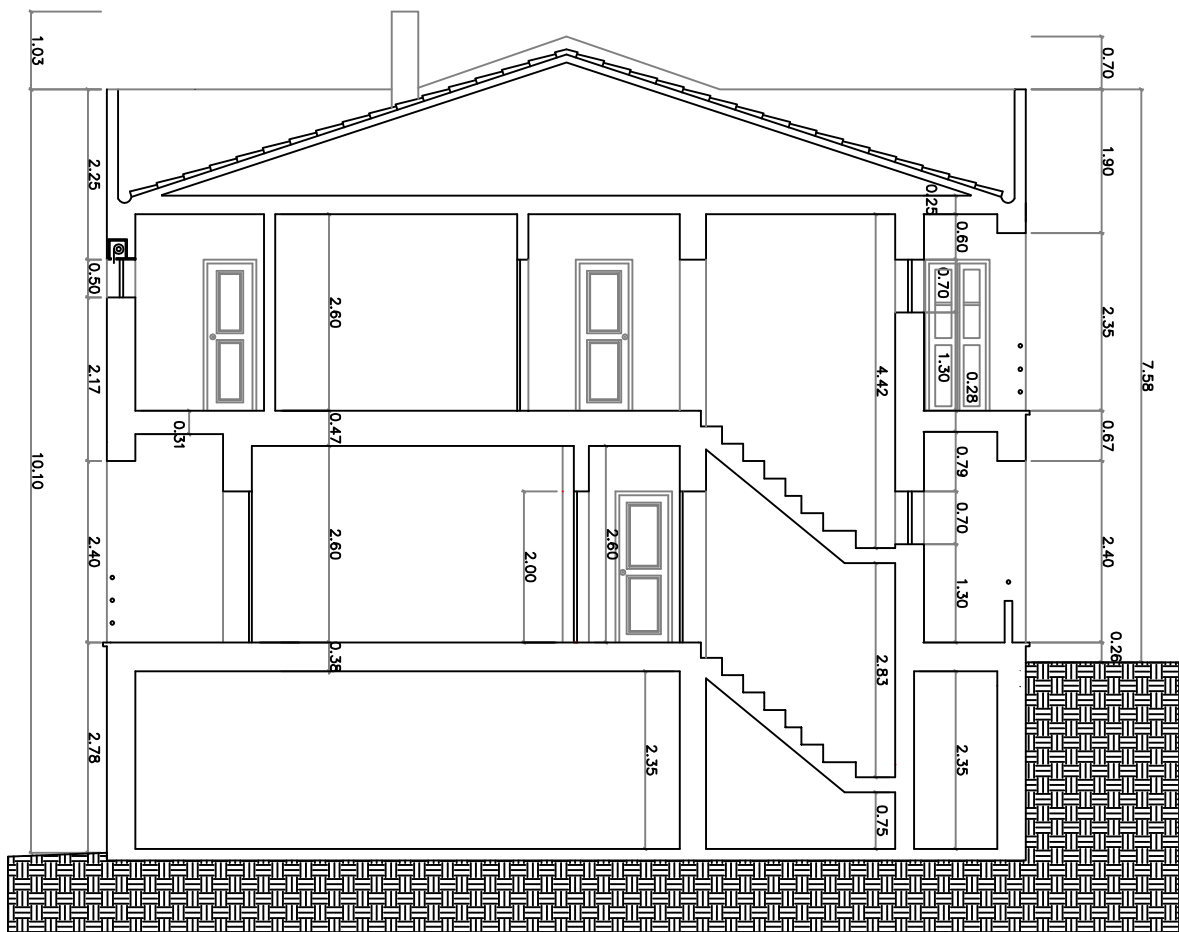
ALÇADO POSTERIOR (escala 1:100)



Alçado Lateral 1 (escala 1:100)

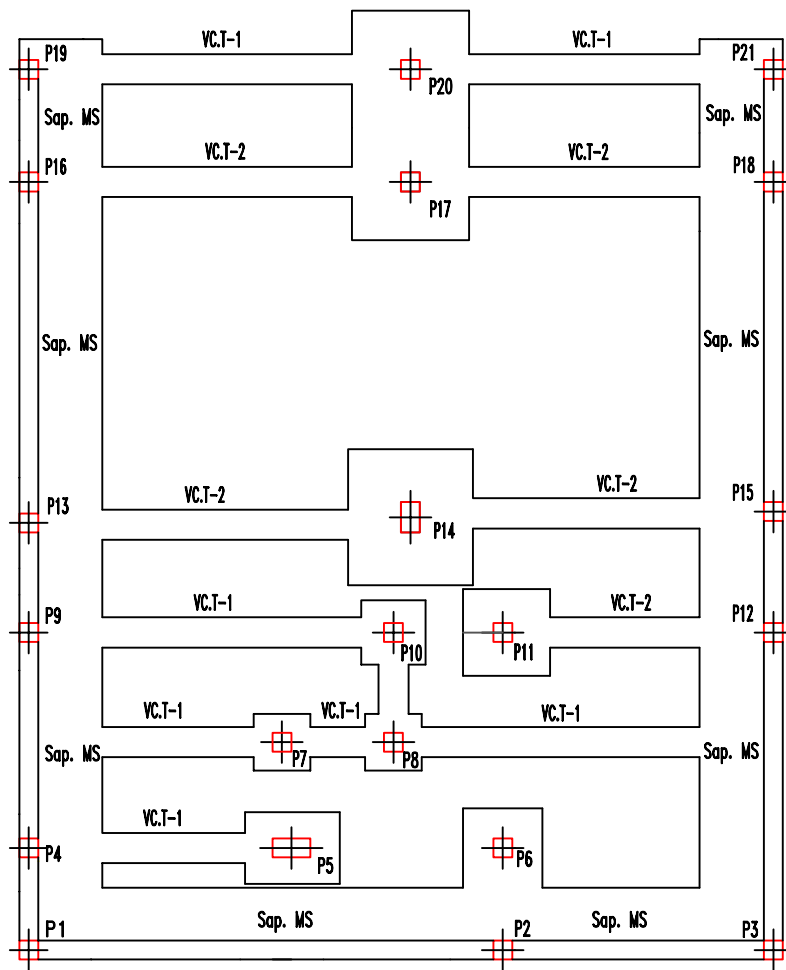


Alçado Lateral 2 (escala 1:100)

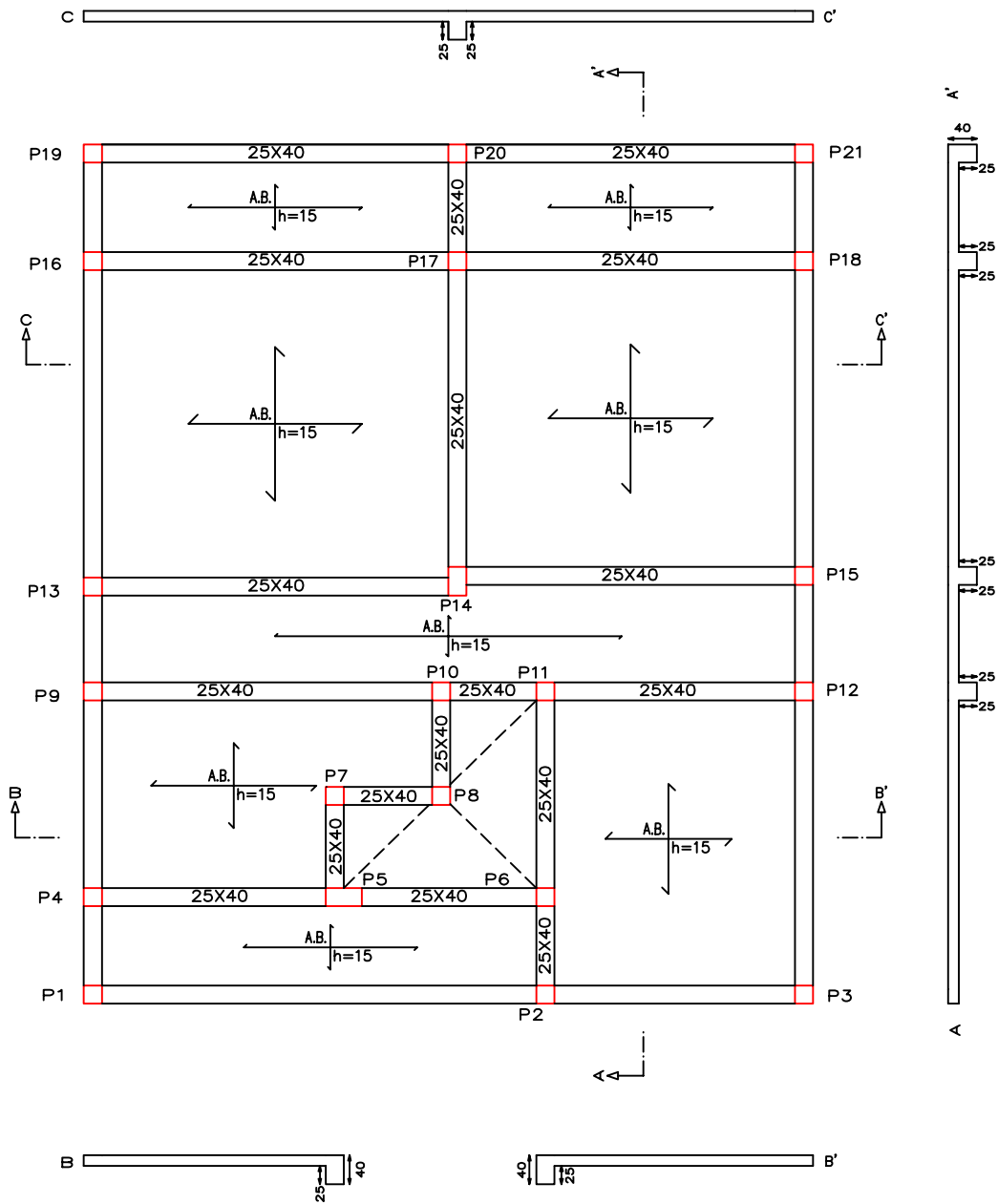


CORTE A:B (escala 1:100)

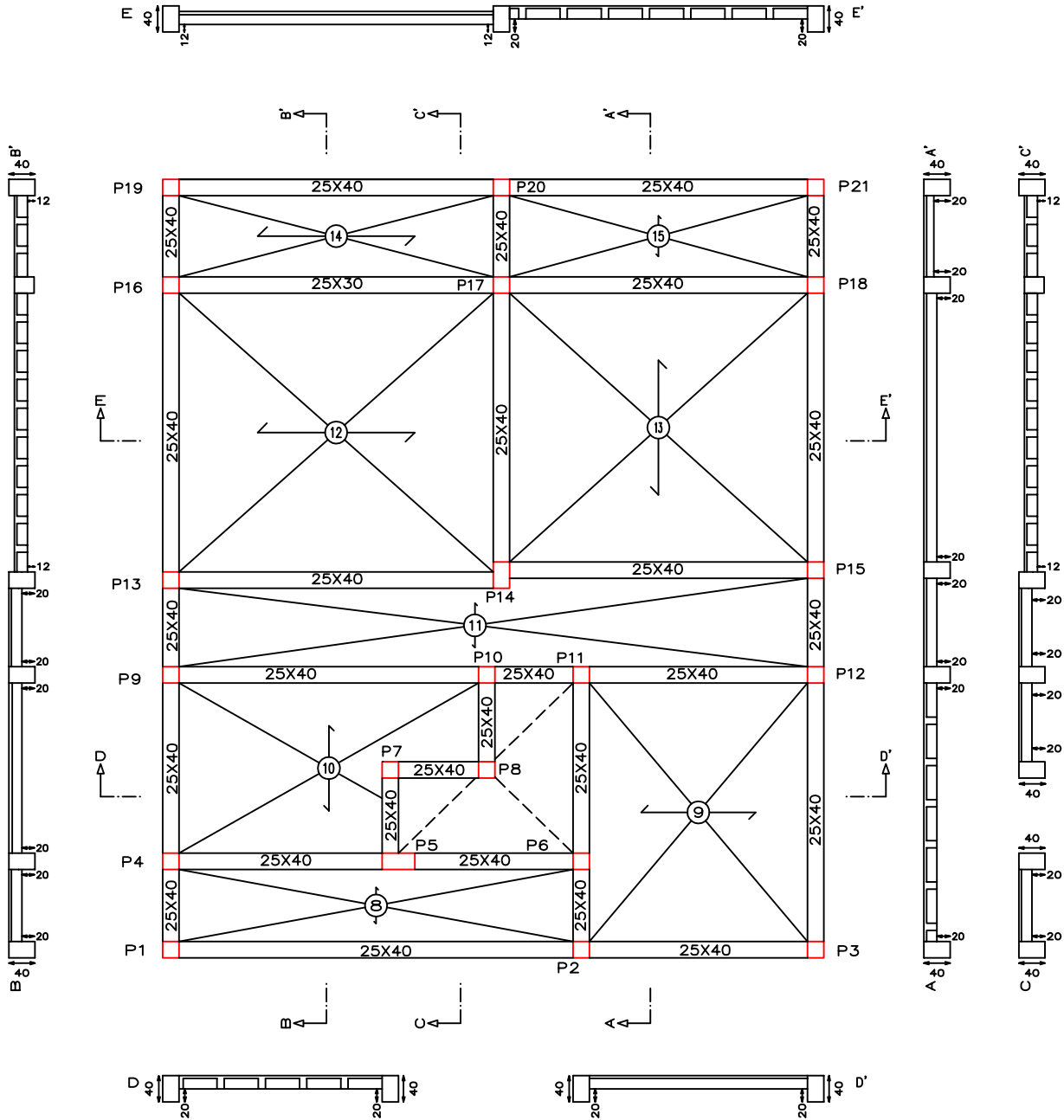




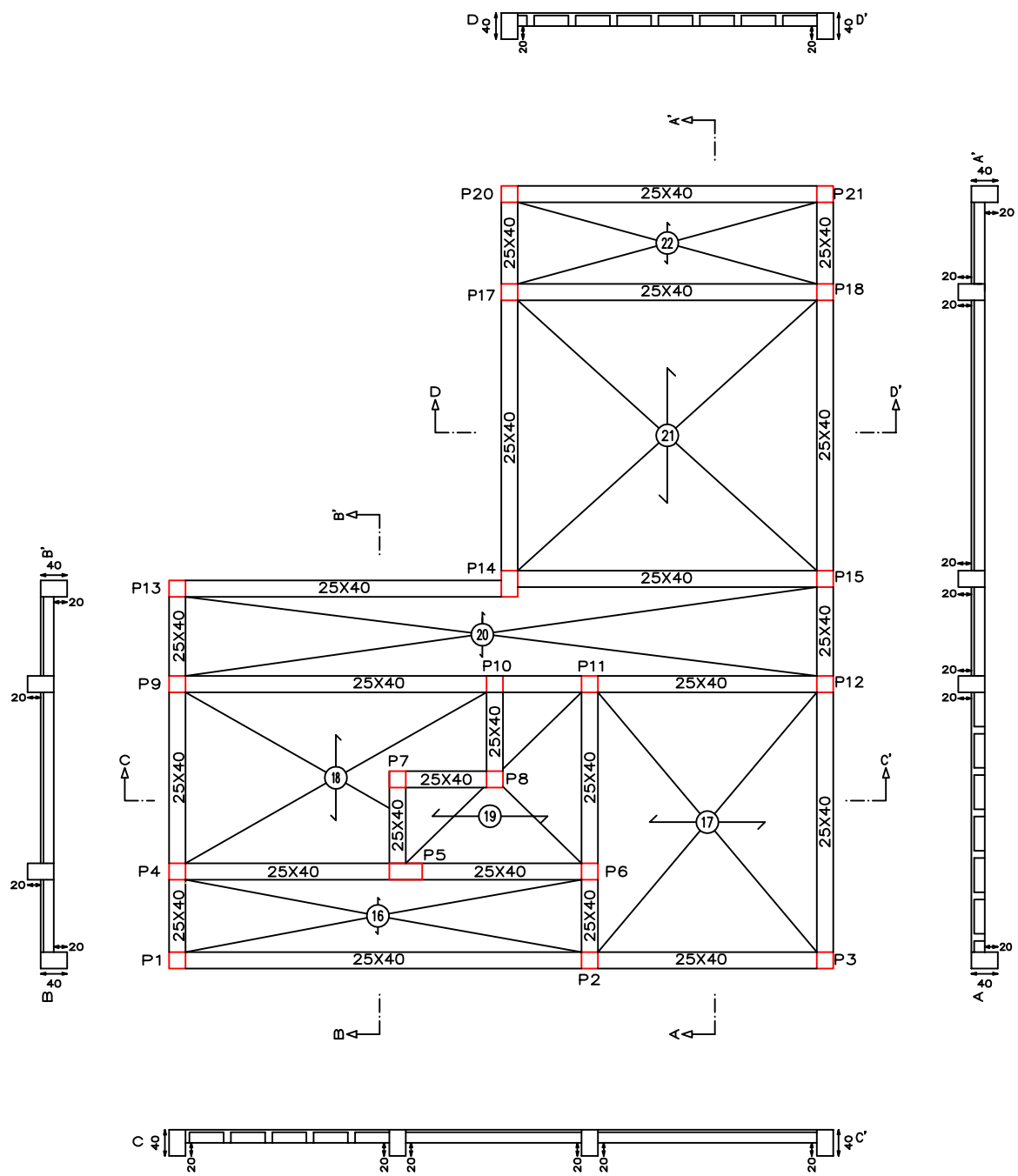
ESTABILIDADE – Fundações (escala 1:100)



ESTABILIDADE – Tecto da cave (escala 1:100)



ESTABILIDADE—Tecto do r/chão (escala 1:100)



ESTABILIDADE – Tecto do 1.º andar (escala 1:100)

**Anexo 2 : Relatórios energéticos do software SOLTERM do  
INETI**

## relatório\_energético1

SolTerm 5.0

()

Estimativa de desempenho de sistema solar térmico

Campo de colectores

Modelo de colector: Padrão 1 m<sup>2</sup>

Tipo: Plano

5 módulos (5,0 m<sup>2</sup>)

Inclinação 18° - Azimute Sul

Coefficientes de perdas térmicas: a<sub>1</sub>= 7,500 W/m<sup>2</sup>/K      a<sub>2</sub>= 0,014 W/m<sup>2</sup>/K<sup>2</sup>

Rendimento óptico: 69,0%

Modificador de ângulo: a

0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°		
1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,96	0,95	0,93		
a	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
	0,90	0,87	0,83	0,77	0,68	0,55	0,33	0,00	0,00	0,00

Permutador

Interno ao depósito, tipo serpentina, com eficácia 55%

Caudal no grupo painel/permutador: 79,2 l/m<sup>2</sup> por hora (=0,11 l/s)

Depósito

Modelo: típico 200 l

Volume: 200 l

Área externa: 2,70 m<sup>2</sup>

Material: médio condutor de calor

Posição vertical

Deflectores interiores

Coefficiente de perdas térmicas: 2,70 W/K

Um conjunto depósito/permutador

Tubagens

Comprimento total: 14,0 m

Percurso no exterior: 3,5 m com protecção mecânica

Diâmetro interno: 26,0 mm

Espessura do tubo metálico: 3,0 mm

Espessura do isolamento: 30,0 mm

Condutividade térmica do metal: 380 W/m/K

Condutividade térmica do isolamento: 0,030 W/m/K

Carga térmica: segunda a sexta

RCCTE 5 ocupantes

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

Jan    Feb    Mar    Abr    Mai    Jun    Jul    Ago    Set    Out    Nov    Dez

		relatório_energético1											
		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Perfis de consumo (1)	hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	01												
	02												
	03												
	04												
	05												
	06												
	07												
	08												
	09												
	10												
	11												
	12												
	13												
	14												
	15												
	16												
	17												
	18	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	19												
	20												
	21												
	22												
	23												
	24												
diário		200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200

-----  
Carga térmica: fim-de-semana  
-----

RCCTE 5 ocupantes

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Perfis de consumo (1)	hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	01												
	02												
	03												
	04												
	05												
	06												
	07												
	08												
	09												
	10												
	11												
	12												
	13												
	14												
	15												
	16												
	17												
	18	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	19												
	20												
	21												
	22												
	23												
	24												

diário 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200

-----  
Localização, posição e envolvente do sistema  
-----

Concelho de Évora

Coordenadas nominais: 38,5°N, 7,9°W

TRY para RCCTE/STE e SOLTERM (fonte: INETI - versão 2004)

Obstruções do horizonte: 0°

Orientação do painel: inclinação 18° - azimute 0°  
-----Balanco energético mensal e anual  
-----

	Rad.Horiz. kwh/m <sup>2</sup>	Rad.Inclin. kwh/m <sup>2</sup>	Desperdiçado kwh	Fornecido kwh	Carga kwh	Apoio kwh
Janeiro	67	94	,	109	324	215
Fevereiro	84	105	,	124	293	169
Março	124	142	,	171	324	153
Abril	159	170	,	207	314	107
Maió	203	207	,	254	324	70
Junho	217	215	,	270	314	44
Julho	238	239	,	303	324	21
Agosto	216	227	,	301	324	24
Setembro	155	174	,	247	314	67
Outubro	111	136	,	191	324	133
Novembro	75	102	,	128	314	186
Dezembro	63	91	,	103	324	221
Anual	1711	1903	,	2409	3820	1411

Fracção solar: 63,1%

Rendimento global anual do sistema: 25%  
colector]Produtividade: 482 kwh/[m<sup>2</sup>

N.B. 'Fornecido' é designado 'E solar' nos Regulamentos Energéticos (DLs 78,79,80/06)



## relatório\_energético2

SolTerm 5.0

()

Estimativa de desempenho de sistema solar térmico

Campo de colectores

Modelo de colector: Padrão 1 m<sup>2</sup>

Tipo: Plano

5 módulos (5,0 m<sup>2</sup>)

Inclinação 38° - Azimute Sul

Coefficientes de perdas térmicas: a<sub>1</sub>= 7,500 W/m<sup>2</sup>/K      a<sub>2</sub>= 0,014 W/m<sup>2</sup>/K<sup>2</sup>

Rendimento óptico: 69,0%

Modificador de ângulo: a

0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°		
1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,96	0,95	0,93		
a	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
	0,90	0,87	0,83	0,77	0,68	0,55	0,33	0,00	0,00	0,00

Permutador

Interno ao depósito, tipo serpentina, com eficácia 55%

Caudal no grupo painel/permutador: 79,2 l/m<sup>2</sup> por hora (=0,11 l/s)

Depósito

Modelo: típico 200 l

Volume: 200 l

Área externa: 2,70 m<sup>2</sup>

Material: médio condutor de calor

Posição vertical

Deflectores interiores

Coefficiente de perdas térmicas: 2,70 W/K

Um conjunto depósito/permutador

Tubagens

Comprimento total: 14,0 m

Percurso no exterior: 3,5 m com protecção mecânica

Diâmetro interno: 26,0 mm

Espessura do tubo metálico: 3,0 mm

Espessura do isolamento: 30,0 mm

Condutividade térmica do metal: 380 W/m/K

Condutividade térmica do isolamento: 0,030 W/m/K

Carga térmica: segunda a sexta

RCCTE 5 ocupantes

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

Jan    Feb    Mar    Abr    Mai    Jun    Jul    Ago    Set    Out    Nov    Dez

		relatório_energético2											
		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Perfis de consumo (1)	hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	01												
	02												
	03												
	04												
	05												
	06												
	07												
	08												
	09												
	10												
	11												
	12												
	13												
	14												
	15												
	16												
	17												
	18	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	19												
	20												
	21												
	22												
	23												
	24												
diário		200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200

-----  
 Carga térmica: fim-de-semana  
 -----

RCCTE 5 ocupantes

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Perfis de consumo (1)	hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	01												
	02												
	03												
	04												
	05												
	06												
	07												
	08												
	09												
	10												
	11												
	12												
	13												
	14												
	15												
	16												
	17												
	18	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	19												
	20												
	21												
	22												
	23												
	24												

diário 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200

-----  
Localização, posição e envolvente do sistema  
-----

## Concelho de Entroncamento

Coordenadas nominais: 39,5°N, 8,5°W

TRY para RCCTE/STE e SOLTERM (fonte: INETI - versão 2004)

Obstruções do horizonte: 0°

Orientação do painel: inclinação 38° - azimute 0°  
-----Balanco energético mensal e anual  
-----

	Rad.Horiz. kwh/m <sup>2</sup>	Rad.Inclin. kwh/m <sup>2</sup>	Desperdiçado kwh	Fornecido kwh	Carga kwh	Apoio kwh
Janeiro	61	105	,	131	324	194
Fevereiro	79	116	,	146	293	147
Março	116	142	,	174	324	150
Abril	153	163	,	201	314	113
Maió	192	183	,	229	324	96
Junho	207	189	,	245	314	69
Julho	228	213	,	282	324	42
Agosto	209	216	,	290	324	35
Setembro	143	167	,	238	314	76
Outubro	105	146	,	207	324	117
Novembro	70	116	,	154	314	160
Dezembro	57	105	,	129	324	196
Anual	1620	1860	,	2425	3820	1395

Fracção solar: 63,5%

Rendimento global anual do sistema: 26%  
colector]Produtividade: 485 kwh/[m<sup>2</sup>

N.B. 'Fornecido' é designado 'E solar' nos Regulamentos Energéticos (DLs 78,79,80/06)

Relatório Entroncamento | 22-04-2012 02:04:47 |

## relatório\_energético3

SolTerm 5.0

()

Resultados de simulação de sistema solar fotovoltaico ligado à rede

Painel

6 módulos Siemens M75S organizados em 3 'strings' com 2 módulos em cada.

Área: 3,79 m<sup>2</sup>

Tensão em circuito aberto: 22, V

Corrente em curto-circuito: 4,8 A

Potência nominal: 0,45 kW

Tensão nominal: 34, V

Perdas de conexão: 5%

Perdas por sujidades: 2%

Perdas por degradação de desempenho (média durante a vida do sistema): 2%

Inversor

Siemens SITOP 2300

Potência nominal 2300, W

Climatologia

Concelho de Entroncamento

Latitude 39,5°N (nominal) - Longitude 8,5°W (nominal)

TRY para RCCTE/STE e SOLTERM

fonte: INETI - versão 2004

Obstruções do horizonte: 20°

Balanco energético mensal e anual

	E(rad) kwh	E(PV) kwh	E(sist) kwh
Janeiro	297	29	27
Fevereiro	379	37	35
Março	498	48	45
Abril	599	57	54
Maio	668	62	59
Junho	689	64	60
Julho	776	70	65
Agosto	791	71	67
Setembro	596	55	51
Outubro	497	47	44
Novembro	360	35	32
Dezembro	269	26	25
Anual	6419	599	563

Rendimento global: 8,8%

Produtividade: 1254,5 wh/wp

E(rad): energia solar incidente no painel fotovoltaico

E(pv): energia eléctrica convertida pelo painel fotovoltaico

E(sist): energia eléctrica fornecida pelo sistema

N.B. 'E(sist)' é designado 'E solar' nos Regulamentos Energéticos (DLs 78,79,80/06)  
Entroncamento fotovoltaico siemens | 22-04-2012 19:55:04 |

**Anexo 3 : Tabelas de cálculo de aplicação do RCCTE  
utilizadas na primeira verificação**

**LEVANTAMENTO DIMENSIONAL E DE SISTEMAS**  
(Cálculo de acordo com o Decreto-Lei n.º 80/2006)

Localização da fracção	Continente
Distância à costa	Superior a 5 km
Concelho	Évora
Local de implantação	Periferia de uma zona urbana ou zona rural
Altitude	270,00 m
Norte (N) ou Sul (S)?	Sul

--	--

--	--

Tipo de edifício	Residencial	Unifamiliar ou Multifamiliar?	Unifamiliar
Tipologia da Fracção	T4		
N.º de Pisos da Fracção	2		
Área útil de pavimento, Ap	148,65 m2		
Pé-direito médio da fracção, Pd	2,64 m		

A ventilação processa-se de igual forma em toda a fracção?	Sim
--	-----

Tipo de ventilação?	Natural				
Cumpre NP 1037-1?	Não				
Qual a classe de caixilharia existente?	Classe 2				
Caixas de estore?	Sim	Na totalidade dos vãos envidraçados?	Não	Qual a área de vãos envidraçados com caixa de estore?	19,18 m2
Existem dispositivos de admissão de ar na fachada?	Não				
As portas exteriores estão bem vedadas?	Sim				


Inércia térmica da fracção	Forte
----------------------------	-------

1º Sistema de aquecimento	Bomba de calor (aquecimento)	Rendimento Conforme o n.º 2 do Art.º 18º?	Sim	Pretende considerar o factor de conversão, Fpui = 0	Não
---------------------------	------------------------------	---	-----	---	-----

Fracção das necessidades nominais de energia útil para aquecimento do edifício satisfeitas por este sistema (%):	100,00%
--	---------

--	--

1º Sistema de arrefecimento	Bomba de calor (arrefecimento)	Rendimento Conforme o n.º 2 do Art.º 18º?	Sim	Pretende considerar o factor de conversão, Fp <sub>uv</sub> = 0	Não
Fracção das necessidades nominais de energia útil para aquecimento do edifício satisfeitas por este sistema (%):			100,00%		

1º Sistema de preparação de AQS		Termoacumulador Electrico com menos de 50mm de isolamento térmico	Rendimento Conforme o n.º 3 do Anexo VI?	Sim	Preende considerar o factor de conversão, F <sub>pua</sub> = 0		Não
Fracção das necessidades de energia útil para preparação de AQS satisfeitas por este sistema (%):				100,00%			
Rede de distribuição de água quente com mais de 10mm de isolamento térmico?		Não					
Contribuição de sistemas de colectores solares para o aquecimento de AQS, E <sub>solar</sub> (Nac)		2409 kWh/ano					
Contribuição de sistemas de colectores solares para o aquecimento ambiente, E <sub>solar</sub> (N <sub>ic</sub> )				Contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis, E <sub>ren</sub> (N <sub>ac</sub> )			

### CARACTERIZAÇÃO DE ESPAÇOS NÃO ÚTEIS

	Espaço não útil 1	Espaço não útil 2	Espaço não útil 3	Espaço não útil 4	Espaço não útil 5	Espaço não útil 6	Espaço não útil 7	Espaço não útil 8	Espaço não útil 9	Espaço não útil 10
Designação	Caixa de escadas que liga a cave ao rés-do-chão	Edifício adjacente	Cave	Desvão de cobertura						
Ai	14,02		83,64	65,02						
Au	1,83		59,43	116,35						
Tipo de espaço (ver Tabela IV.1 do	1,1	3	5,1	7,3						
Coefficiente $\tau$	0,30	0,60	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

TABELA IV.1  
Valores do coeficiente  $\tau$  (secção 2.1)

Tipo de espaço não útil	A <sub>i</sub> / A <sub>u</sub> ( <sup>3</sup> )		
	De 0 a 1	De 1 a 10	Maior que 10
1 — Circulação comum:			
1.1 — Sem abertura directa para o exterior .....	0,6	0,3	0
1.2 — Com abertura permanente para o exterior (por exemplo, para ventilação ou desenfumação):			
a) Área de aberturas permanentes/volume total < 0,05 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> .....	0,8	0,5	0,1
b) Área de aberturas permanentes/volume total ≥ 0,05 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> .....	0,9	0,7	0,3
2 — Espaços comerciais .....	0,8	0,6	0,2
3 — Edifícios adjacentes .....	0,6	0,6	0,6
4 — Armazéns .....	0,95	0,7	0,3
5 — Garagens:			
5.1 — Privada .....	0,8	0,5	0,3
5.2 — Colectiva .....	0,9	0,7	0,4
5.3 — Pública .....	0,95	0,8	0,5
6 — Varandas, marquises e similares ( <sup>2</sup> ) .....	0,8	0,6	0,2
7 — Coberturas sobre desvão não habitado (acessível ou não) ( <sup>3</sup> ):			
7.1 — Desvão não ventilado .....	0,8	0,6	0,4
7.2 — Desvão fracamente ventilado .....	0,9	0,7	0,5
7.3 — Desvão fortemente ventilado .....		1	



ENVIDRAÇADOS DE ENVOLVENTE EXTERIOR

	Env. 1	Env. 2	Env. 3	Env. 4	Env. 5	Env. 6	Env. 7	Env. 8	Env. 9	Env. 10	Env. 11	Env. 12	Env. 13	Env. 14	Env. 15	Env. 16	Env. 17	Env. 18	Env. 19	Env. 20	
Designação	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12									
Orientação	Norte	Norte	Sul	Sul	Sul	Norte	Norte	Norte	Sul	Sul	Este										
Janela à face? (considerar $F_o, F_i \leq 1.0$ )	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não									
Área (m <sup>2</sup> )	0,616	1,365	5	1,8	1,155	2	0,616	1,365	1,8	0,8	1,7	2,2									
Largura	0,88	1,30	2,50	0,90	1,10	1,00	0,88	1,30	0,90	1,60	0,85	1,10									
Altura	0,70	1,05	2,00	2,00	1,05	2,00	0,70	1,05	2,00	0,50	2,00	2,00									
Tipo de vidro	Duplo incolor	Duplo incolor	Duplo incolor	Duplo incolor	Duplo incolor	Duplo incolor	Duplo incolor	Duplo incolor	Duplo incolor	Duplo incolor	Duplo incolor	Duplo incolor									
Fracção envidraçada, $F_g$ (Quadro IV.5)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,70	0,60	0,60									
Factor de selectividade angular (aquecimento), $F_w$ (se diferente de 0,9)	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90									
Ângulos de sombreamento (graus)	Horizonte	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00									
	Pala Horizontal	61,00	0,00	0,00	48,00	59,00	45,00	63,00	0,00	0,00	0,00	90,00	0,00								
	Pala Vertical Esquerda	51,00	0,00	0,00	71,00	30,00	18,00	51,00	0,00	0,00	0,00	0,00	66,00								
	Pala Vertical Direita	16,00	0,00	0,00	22,00	42,00	37,00	16,00	0,00	85,00	0,00	90,00	0,00								
U (W/m <sup>2</sup> .°C)	3,10	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	3,10	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70									
$g_{vidro}$	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75									
	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75									
$g_{inverno}$	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63									
	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63									
$g_{100\%}$	0,37	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,37	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04									

ENVOLVENTE EXTERIOR

	Env. 21	Env. 22	Env. 23	Env. 24	Env. 25	Env. 26	Env. 27	Env. 28	Env. 29	Env. 30	Env. 31	Env. 32	Env. 33	Env. 34	Env. 35	Env. 36	Env. 37	Env. 38	Env. 39	Env. 40	
Designação																					
Orientação																					
Janela à face? (considerar $F_o, F_i \leq 1.0$ )																					
Área (m <sup>2</sup> )																					
Tipo de vidro																					
Fracção envidraçada, $F_g$ (Quadro IV.5)																					
Factor de selectividade angular (aquecimento), $F_w$ (se diferente de 0,9)																					
Ângulos de sombreamento (graus)	Horizonte																				
	Pala Horizontal																				
	Pala Vertical Esquerda																				
	Pala Vertical Direita																				
U (W/m <sup>2</sup> .°C)																					
$g_{vidro}$																					
$g_{inverno}$																					
$g_{100\%}$																					

ENVOLVENTE EXTERIOR

**PAREDES DE ENVOLVENTE EXTERIOR**

	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Parede 5	Parede 6	Parede 7	Parede 8	Parede 9	Parede 10	Parede 11	Parede 12	Parede 13	Parede 14	Parede 15	Parede 16	Parede 17	Parede 18	Parede 19	Parede 20
Designação	PE1	PE1	PE1	PE1	PE1ptp1	PE1ptp1	PE1ptp1	PE1ptp2	PE1ptp2	PE1ptp2	PE1ptp3									
Orientação	Norte	Sul	Este	Oeste	Norte	Sul	Este	Norte	Sul	Este	Norte									
Área (m <sup>2</sup> )	34,00	33,01	12,70	3,02	1,84	1,59	1,79	0,90	1,75	0,49	1,80									
U (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,51	0,51	0,51	0,51	0,77	0,77	0,77	0,58	0,58	0,58	2,86									
Cor da superfície exterior	cor clara	cor clara	cor clara	cor clara	cor clara	cor clara	cor clara	cor clara	cor clara	cor clara	cor escura									

ENVOLVENTE EXTERIOR

	Parede 21	Parede 22	Parede 23	Parede 24	Parede 25	Parede 26	Parede 27	Parede 28	Parede 29	Parede 30	Parede 31	Parede 32	Parede 33	Parede 34	Parede 35	Parede 36	Parede 37	Parede 38	Parede 39	Parede 40
Designação																				
Orientação																				
Área (m <sup>2</sup> )																				
U (W/m <sup>2</sup> .°C)																				
Cor da superfície exterior																				

**COBERTURAS DE ENVOLVENTE EXTERIOR**

	Cobertura 1	Cobertura 2	Cobertura 3	Cobertura 4	Cobertura 5	Cobertura 6	Cobertura 7	Cobertura 8
Designação	CobE1	CobE1ptp1						
Tipo	Terraço (plana)	Terraço (plana)						
Área (m <sup>2</sup> )	24,82	1,17						
U <sub>superfície</sub> (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,66	0,79						
U <sub>resposta</sub> (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,60	0,71						
Cor da superfície exterior	Cx. Ar Fort. Ventil.	Cx. Ar Fort. Ventil.						

**PAVIMENTOS DE ENVOLVENTE EXTERIOR**

	Pavimento 1	Pavimento 2	Pavimento 3	Pavimento 4	Pavimento 5	Pavimento 6	Pavimento 7	Pavimento 8
Designação	PavE1							
Área (m <sup>2</sup> )	4,88							
U <sub>superfície</sub> (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,80							

ENVOLVENTE EXTERIOR

**ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO**

A fracção tem pavimento em contacto com o solo?	Não	

Existem paredes em contacto com o solo?	Não	

EXTERIOR

ENVOLVENTE

**PONTES TÉRMICAS LINEARES**

	Distância do pavimento ao solo	Espessura da laje térrea (m)	Existe isolamento perimetral sob a laje?	Posição do isolamento na parede?		Comprimento da ponte térmica (m)
Ligação de fachada com pavimentos térreos (cota de pavimento superior à cota do terreno exterior)						
Ligação de fachada com pavimentos térreos (cota de pavimento superior à cota do terreno exterior)						
Ligação de fachada com pavimentos térreos (cota de pavimento superior à cota do terreno exterior)						
Ligação de fachada com pavimentos térreos (cota de pavimento superior à cota do terreno exterior)						

ENVOLVENTE EXTERIOR

	Espessura da laje de pavimento (m)	Posição do isolamento da laje?	Espessura da parede de fachada (m)	Posição do isolamento na parede de fachada?	Comprimento da ponte térmica (m)
Ligação de fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exterior	0,215	Sobre a laje	0,38	Repartido ou na caixa de ar	13,48
Ligação de fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exterior	0,165	Sobre a laje	0,38	Repartido ou na caixa de ar	2,937
Ligação de fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exterior	0,215	Sob a laje	0,38	Repartido ou na caixa de ar	4,27
Ligação de fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exterior					

ENVOLVENTE EXTERIOR

	Espessura da laje de pavimento (m)	O espaço útil acima e abaixo do pavimento pertencem à mesma fracção?	Espessura da parede de fachada (m)	Posição do isolamento na parede de fachada?	Comprimento da ponte térmica (m)
Ligação de fachada com pavimentos intermédios	0,265	Sim	0,38	Repartido ou na caixa de ar	3,33
Ligação de fachada com pavimentos intermédios	0,265	Não	0,38	Repartido ou na caixa de ar	4,42
Ligação de fachada com pavimentos intermédios					
Ligação de fachada com pavimentos intermédios					

ERIOR

	Espessura da laje de esteira/cobertura (m)	Posição do isolamento na parede de fachada?	Comprimento da ponte térmica (m)
Ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço	0,24	Repartido ou na caixa de ar	5,96 m
Ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço	0,22	Repartido ou na caixa de ar	23,98
Ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço			
Ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço			

	Espessura da laje de pavimento (m)	O espaço útil acima e abaixo do pavimento pertencem à mesma fracção?	Espessura da parede de fachada (m)	Comprimento da ponte térmica (m)
Ligação de fachada com varanda	0,265	Não	0,38	7,74
Ligação de fachada com varanda	0,265	Sim	0,38	3,145
Ligação de fachada com varanda				
Ligação de fachada com varanda				

ENVOLVENTE EXT

	Espessura da parede de fachada (m)	Posição do isolamento na parede de fachada?	Comprimento da ponte térmica (m)
Ligação entre duas paredes verticais	0,38	Repartido ou na caixa de ar	20,8
Ligação entre duas paredes verticais			
Ligação entre duas paredes verticais			
Ligação entre duas paredes verticais			

	O isolante da caixa de estore garante uma resistência térmica igual ou superior a $0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$	Comprimento da ponte térmica (m)
Ligação de fachada com caixa de estore	Sim	12,55
Ligação de fachada com caixa de estore		
Ligação de fachada com caixa de estore		
Ligação de fachada com caixa de estore		

	E garantido o contacto do isolante térmico da parede com a caixilharia?	Comprimento da ponte térmica (m)
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril	Não	68,52
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril		
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril		
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril		

	Breve descrição da situação	Comprimento da ponte térmica (m)	$\Psi$ a considerar, se diferente de 0,5
Outra situação	Ligação da fachada com pavimento (porta exterior e vãos envidraçados de sacada)	8,15	
Outra situação			
Outra situação			
Outra situação			

**ENVIDRAÇADOS DE ENVOLVENTE INTERIOR**

	Env. Int. 1	Env. Int. 2	Env. Int. 3	Env. Int. 4	Env. Int. 5	Env. Int. 6	Env. Int. 7	Env. Int. 8	Env. Int. 9	Env. Int. 10	Env. Int. 11	Env. Int. 12	Env. Int. 13	Env. Int. 14	Env. Int. 15	Env. Int. 16	Env. Int. 17	Env. Int. 18	Env. Int. 19	Env. Int. 20
Designação																				
Área (m <sup>2</sup> )																				
U (W/m <sup>2</sup> .°C)																				
Espaço não útil adjacente																				

**PAREDES DE ENVOLVENTE INTERIOR**

	Par. Int. 1	Par. Int. 2	Par. Int. 3	Par. Int. 4	Par. Int. 5	Par. Int. 6	Par. Int. 7	Par. Int. 8	Par. Int. 9	Par. Int. 10	Par. Int. 11	Par. Int. 12	Par. Int. 13	Par. Int. 14	Par. Int. 15	Par. Int. 16	Par. Int. 17	Par. Int. 18	Par. Int. 19	Par. Int. 20
Designação	PENU1	PENU2	PENU1ptp1	PENU2ptp1																
Área (m <sup>2</sup> )	12,22	82,74	1,80	7,12																
U (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,52	0,49	2,07	0,72																
Espaço não útil adjacente	Caixa de escadas	Edifício adjacente	Caixa de escadas que liga a cave	Edifício adjacente																

**COBERTURAS DE ENVOLVENTE INTERIOR**

	Cob. Int. 1	Cob. Int. 2	Cob. Int. 3	Cob. Int. 4	Cob. Int. 5	Cob. Int. 6	Cob. Int. 7	Cob. Int. 8
Designação	CobENU1	CobENU1ptp1						
Tipo	Terraço	Terraço (plana)						
Área (m <sup>2</sup> )	61,56	3,46						
U <sub>ascendente</sub> (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,84	0,83						
Espaço não útil adjacente	Desvão de cobertura	Desvão de cobertura						

**PAVIMENTOS DE ENVOLVENTE INTERIOR**

	Pav. Int. 1	Pav. Int. 2	Pav. Int. 3	Pav. Int. 4	Pav. Int. 5	Pav. Int. 6	Pav. Int. 7	Pav. Int. 8
Designação	PavENU1	PavENU2	PavENU1ptp1					
Área (m <sup>2</sup> )	79,42	4,69	4,22					
U <sub>descendente</sub> (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,63	0,81	0,68					
Espaço não útil adjacente	Cave	Caixa de escadas que	Cave					

**ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO**

A fracção tem pavimento em contacto com o solo?	Não		Espaço não útil adjacente

Existem paredes em contacto com o solo?			Espaço não útil adjacente

ENVOLVENTE INTERIOR

ENVOLVENTE INTERIOR

PONTES TÉRMICAS LINEARES

ENVOLVENTE INTERIOR		Espaço não útil adjacente	Distância do pavimento ao solo	Espessura da laje térrea (m)	Existe isolamento perimetral sob a laje?	Posição do isolamento na parede?		Comprimento da ponte térmica (m)
	Ligação de fachada com pavimentos térreos							
	Ligação de fachada com pavimentos térreos							
	Ligação de fachada com pavimentos térreos							
	Ligação de fachada com pavimentos térreos							

ENVOLVENTE INTERIOR		Espaço não útil adjacente	Espessura da laje de pavimento (m)	Posição do isolamento da laje?	Espessura da parede de fachada (m)	Posição do isolamento na parede de fachada?	Comprimento da ponte térmica (m)
	Ligação de fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exterior						
	Ligação de fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exterior						
	Ligação de fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exterior						
	Ligação de fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exterior						

ENVOLVENTE INTERIOR		Espaço não útil adjacente	Espessura da laje de pavimento (m)	O espaço útil acima e abaixo do pavimento pertencem à mesma fracção?	Espessura da parede de fachada (m)	Posição do isolamento na parede de fachada?	Comprimento da ponte térmica (m)
	Ligação de fachada com pavimentos intermédios						
	Ligação de fachada com pavimentos intermédios						
	Ligação de fachada com pavimentos intermédios						
	Ligação de fachada com pavimentos intermédios						

ENVOLVENTE INTERIOR		Espessura da laje de esteira/cobertura (m)	Posição do isolamento na parede de fachada?	Comprimento da ponte térmica (m)	Espaço não útil adjacente
	Ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço				
	Ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço				
	Ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço				
	Ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço				

ENVOLVENTE INTERIOR		Espaço não útil adjacente	Espessura da laje de pavimento (m)	O espaço útil acima e abaixo do pavimento pertencem à mesma fracção?	Espessura da parede de fachada (m)	Comprimento da ponte térmica (m)
	Ligação de fachada com varanda					
	Ligação de fachada com varanda					
	Ligação de fachada com varanda					
	Ligação de fachada com varanda					

ENVOLVENTE INTERIOR

	Espessura da parede de fachada (m)	Posição do isolamento na parede de fachada?	Comprimento da ponte térmica (m)	Espaço não útil adjacente
Ligação entre duas paredes verticais				
Ligação entre duas paredes verticais				
Ligação entre duas paredes verticais				
Ligação entre duas paredes verticais				

	O isolante da caixa de estore garante uma resistência térmica igual ou superior a $0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$	Comprimento da ponte térmica (m)	Espaço não útil adjacente
Ligação de fachada com caixa de estore			
Ligação de fachada com caixa de estore			
Ligação de fachada com caixa de estore			
Ligação de fachada com caixa de estore			

	E garantido o contacto do isolante térmico da parede com a caixilharia?	Comprimento da ponte térmica (m)	Espaço não útil adjacente
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril			
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril			
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril			
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril			

	Breve descrição da situação	Comprimento da ponte térmica (m)	$\Psi$ a considerar, se diferente de 0,5	Espaço não útil adjacente
Outra situação				
Outra situação				
Outra situação				
Outra situação				

RESUMO DE RESULTADOS	
$A_p$ (m <sup>2</sup> )	148,65
$P_d$ (m)	2,64
$A_{env}$ (m <sup>2</sup> )	20,42
Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C) (da FCIV1a)	136,39
Perdas associadas à envolvente interior (W/°C) (da FCIV1b)	112,48
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/°C) (da FCIV1c)	55,62
Perdas associadas à renovação de ar (W/°C) (da FCIV1d)	118,75
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	4559,69
$N_{ic}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	64,31
$N_i$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	74,39
Perdas térmicas totais (Verão) (kWh) (da FCV1a)	1460,53
Ganhos solares pela envolvente opaca (Verão) (kWh) (da FCV1c)	293,31
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	699,25
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1740,99
$N_{ic}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	8,91
$N_v$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	32,00
$N_{ac}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	20,51
Contribuição de $E_{solar}$ (kWh/ano)	2409,00
Contribuição de $E_{ren}$ (kWh/ano)	0,00
Rendimento do 1.º sistema de preparação de AQS	0,70
$N_a$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	39,78
Rendimento do 1.º sistema de aquecimento	4,00
Rendimento do 1.º sistema de arrefecimento	3,00
$N_{ic}$ (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	6,50
$N_t$ (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	6,33
$N_{ic}/N_t$	( $N_{ic}/N_t = 1,03$ )
Classe Energética	C



FICHA 1

REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS  
(RCCTE)

Demonstração da Conformidade Regulamentar para Emissão de Licença de Construção

Câmara Municipal de Évora  
Edifício Morada Unifamiliar  
Localização \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Nº de Fracções Autónomas 1 (ou corpos \_\_\_\_\_)

Para cada Fracção Autónoma\* ou corpo, incluir:

- Ficha 2 - Levantamento Dimensional
- Ficha 3 - Comprovação de Satisfação dos Requisitos Mínimos\*\*
- Fichas FCI e FCV (Anexos IV e V do RCCTE)

<b><u>Técnico Responsável:</u></b>	
Nome	<u>Daniel Filipe Mendes Murteira</u>
Inscrito na:	
	<b>Ordem dos Arquitectos, com o nº</b> _____
	<b>Ordem dos Engenheiros, com o nº</b> _____
	<b>Assoc. Nac. dos Eng.ºs Técnicos com o nº</b> _____
Data	<u>08-05-2012</u>

Anexos:

---

\* Se houver duas ou mais fracções autónomas (FA) exactamente iguais, é suficiente elaborar um único conjunto de Fichas para cada grupo de FA iguais.

\*\* Em alternativa, pode ser submetida uma única Ficha 3, comum para todas as Fracções Autónomas de um mesmo edifício, mesmo que haja mais do que uma FA distinta.



## FICHA 2

## REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS

LEVANTAMENTO DIMENSIONAL  
(PARA UMA ÚNICA FRACÇÃO AUTÓNOMA)  
(ou para um corpo de um edifício)EDIFÍCIO / FA: Moradia unifamiliar localizada em Évora

Área Útil de Pavimento	148,65	m <sup>2</sup>	Pé Direito Médio (ponderado):	2,64	m
------------------------	--------	----------------	-------------------------------	------	---

Elementos Correntes da Envolvente		
	A (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)
<b>PAVIMENTOS</b>		
sobre exterior	4,88	0,80
sobre área não-útil	79,42	0,63
	4,69	0,81
Total	88,99	
<b>PAREDES</b>		
Exteriores (total)	82,73	(ver quadro)
Interiores	12,2	0,52
	82,74	0,49
Total	177,69	
<b>COBERTURAS</b>		
terraço	24,82	0,66
desvão		
não-ventilado		
ventilado	61,56	0,84
inclinadas		
sob área não-útil		
Total	86,38	

Elementos em Contacto com o Solo		
	Comp. (m)	ψ (W/m.°C)
<b>PAVIMENTOS</b>		
<b>PAREDES</b>		

Pontes Térmicas		
	Comp. (m)	ψ (W/m.°C)
<b>FACHADA COM PAVIMENTO:</b>		
térreo		
intermédios	7,75	
sobre locais não aquecidos ou exteriores	20,69	
<b>FACHADA COM:</b>		
cobertura	29,94	
varanda	10,89	
caixa	12,55	
peitoril/padieira	68,52	0,20
<b>LIGAÇÃO ENTRE DUAS PAREDES</b>	20,80	0,20

COEFICIENTE DE ABSORÇÃO - α	
PAREDE	COBERTURA
0,4	0

PAREDES (descrição sumária e valor U)	ÁREAS POR ORIENTAÇÃO (m <sup>2</sup> )								TOTAL
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
PE1 - U=0,51 W/m <sup>2</sup> °C	34,00		12,7		33,01		3,02		82,73
<b>VÃOS ENVIDRAÇADOS</b> (especificar incluindo o tipo de protecção solar e valor Sv)									
Vãos envidraçados V2 a V6, V8 a V12, Uwdn=2,70 W/m <sup>2</sup> .°C;	4,73		3,9		10,555				19,185
Vãos envidraçados V1 e V7, Uwdn=3,10 W/m <sup>2</sup> .°C;	1,232								1,232
ENVIDRAÇADOS HORIZONTAIS _____ m <sup>2</sup>									

FICHA 3

REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS (RCCTE)  
DEMONSTRAÇÃO DE SATISFAÇÃO DOS REQUISITOS MÍNIMOS PARA A ENVOLVENTE DE EDIFÍCIOS

Edifício Morada unifamiliar localizada em Évora  
 Fração Autónoma \_\_\_\_\_  
 Inércia térmica Forte

a) U máximo		<u>Valores Máximos Regulamentares:</u>	
Soluções adoptadas		<b>11</b>	
0,51	Fachadas ext.	1,8	W/m <sup>2</sup> .°C
0,66	Coberturas ext.	1,25	W/m <sup>2</sup> .°C
0,80	Pavim. s/ ext.	1,25	W/m <sup>2</sup> .°C
0,49	Paredes interiores	2	W/m <sup>2</sup> .°C
0,63	Pavim. inter.	1,65	W/m <sup>2</sup> .°C
0,84	Cobert. inter.	1,25	W/m <sup>2</sup> .°C
0,77	Pontes Térm.	1,02	W/m <sup>2</sup> .°C

b) Factores Solares dos Envidraçados		<u>Valores Máximos Regulamentares:</u>	
Soluções adoptadas - Verão			
tipo de protecção solar	<u>Persiana exterior g100% = 0,04</u>	0,5	
tipo de protecção so	<u>Cortina opaca interior g100% = 0,37</u>	0,5	
tipo de protecção solar			

c) Pontes térmicas planas:		<u>Valores Máximos Regulamentares: U</u>	
da Soluções adoptadas			
0,72	W/m <sup>2</sup> .°C	0,98	W/m <sup>2</sup> .°C
0,58	W/m <sup>2</sup> .°C	1,02	W/m <sup>2</sup> .°C
0,77	W/m <sup>2</sup> .°C	1,02	W/m <sup>2</sup> .°C

Juntar pormenores construtivos definidores de todas as situações de potencial ponte térmica:

- caixas de estore (se existirem)
- ligações entre paredes e vigas
- ligações entre paredes e pilares
- ligações entre paredes e lajes de pavimento
- ligações entre paredes e lajes de cobertura
- paredes e pavimentos enterrados
- montagem de caixilharias.

□ Técnico Responsável:

Nome Daniel Filipe Mendes Murteira  
 Data 8 de Maio de 2012  
 Assinatura \_\_\_\_\_

### Introdução de dados

Concelho

Altitude:

	Zona Climática de Inverno	GD (°C.dias)	Duração da Estação de Aquecimento (meses)	Zona Climática de Verão	Norte ou Sul
Dados Climáticos	<b>1</b>	<b>1390</b>	<b>5,70</b>	<b>3</b>	<b>S</b>

Região Sul – toda a área a Sul do rio Tejo e os seguintes concelhos dos distritos de Lisboa e Santarém: Lisboa, Oeiras, Cascais, Amadora, Loures, Odivelas, Vila Franca de Xira, Azambuja, Cartaxo e Santarém





























Volume	392,44	
	x	
Taxa de Renovação nominal	0,89	
	x	
	0,34	
	=	
TOTAL	118,75	(W/C)



Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m²)		<input type="text" value="3,49"/>
		x
Radiação Incidente num envidraçado a Sul (G <sub>sul</sub> ) no <input type="text" value="Continente"/>		
na Zona I <input type="text" value="1"/> (kWh/m².mês) - do Quadro 8 (Anexo III)		<input type="text" value="108"/>
		x
Duração da Estação de Aquecimento (meses)		<input type="text" value="5,70"/>
		=
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)		<input type="text" value="2147,10"/>

Ganhos Internos:

	Tipo de Edifício	
Ganhos internos médios (Quadro IV.3)	<input type="text" value="Residencial"/>	<input type="text" value="4"/> (W/m²)
		x
Duração da Estação de Aquecimento		<input type="text" value="5,7"/> (meses)
		x
Área Útil de pavimento		<input type="text" value="148,65"/> (m²)
		x
		<input type="text" value="0,72"/>
		=
Ganhos Internos Brutos		<input type="text" value="2440,24"/> (kWh/ano)

Ganhos Totais Úteis:

$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$		<input type="text" value="4587,33"/>
		<input type="text" value="14119,15"/>
Inércia do edifício: <input type="text" value="Forte"/>		$\gamma =$ <input type="text" value="0,325"/>
Factor de Utilização dos Ganhos Solares (η)		<input type="text" value="0,994"/>
		x
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos		<input type="text" value="4587,33"/>
		=
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)		<input type="text" value="4559,69"/>

Folha de Cálculo FC IV.1f

Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

**FACTOR DE FORMA**

*Das FC IV.1a e 1c: (Áreas)*

m<sup>2</sup>

Paredes Exteriores	92,88
Coberturas Exteriores	25,99
Pavimentos Exteriores	4,88
Envidraçados Exteriores	20,42

*Da FC IV.1b: (Áreas equivalentes A.  $\tau$ )*

Paredes Interiores	58,12
Coberturas Interiores	65,02
Pavimentos Interiores	43,23
Envidraçados Interiores	

*Área Total:* 310,53

*Volume (da FC IV.1d):* 392,44

**FF** 0,79

Graus-Dia no Local (°C.dia) 1390

Ni = 4,5 + 0,0395 GD para FF ≤ 0,5  
 Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD para 0,5 < FF ≤ 1

Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD] (1,2 - 0,2 FF) para 1 < FF ≤ 1,5  
 Ni = 4,05 + 0,06885 GD para FF > 1,5

Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m<sup>2</sup>.ano) 74,39

## Folha de Cálculo FC IV.2

### Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (da FC IV.1a)	136,39
Envolvente Interior (da FC IV.1b)	112,48
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)	55,62
Renovação de Ar (da FC IV.1d)	118,75
	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	423,24
	x
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1390
	x
	<b>0,024</b>
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	14.119,15
	+
Consumo dos ventiladores (kWh/ano)	
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (da FC IV.1e)	4.559,69
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	9559,45
	/
Área Útil de pavimento (m²)	148,65
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - <b>Nic</b> (kWh/m².ano)	64,31
	<
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - <b>Ni</b> (kWh/m².ano)	74,39

## Folha de Cálculo FCV.1a

### Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">53,30</span>	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3,91</span>	(W/°C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">17,30</span>	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCIV.1c)	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">55,62</span>	(W/°C)
		+	
Perdas associadas à renovação de ar	(FCIV.1d)	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">119,28</span>	(W/°C)
		=	
<b>Perdas específicas totais</b>	(Q1a)	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">249,41</span>	(W/°C)

Zona climática

V	3	S
---	---	---

Temperatura interior de referência 25 (°C)

-

Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento 23 (°C)  
(Quadro III.9)

=

Diferença de temperatura interior-exterior 2 (°C)

x

*Perdas específicas totais* (Q1a) 249,41 (W/°C)

x

2,928

=

**Perdas térmicas totais** (Q1b) 1460,53 (kWh)



Ganhos Solares pela Envolvente Opaca

POR ORIENTAÇÃO

Orientação	-	-	-	-	-	-
Área, A (m <sup>2</sup> )						
	X	X	X	X	X	X
U (W/m <sup>2</sup> °C)						
	X	X	X	X	X	X
Coefficiente de absorção, $\alpha$ (Quadro V.5)						
	=	=	=	=	=	=
$\alpha$ U.A						
	X	X	X	X	X	X
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m <sup>2</sup> ) (Quadro III.9)						
	X	X	X	X	X	X
	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	=	=	=	=	=	=
<b>Ganhos solares pela envolvente opaca exterior</b>						

HORIZONTAL

Horiz.	Horiz.	-	-	-	-	-	-
24,82	1,17						
X	X	X	X	X	X	X	X
0,60	0,71						
X	X	X	X	X	X	X	X
=	=	=	=	=	=	=	=
X	X	X	X	X	X	X	X
820	820						
X	X	X	X	X	X	X	X
0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
=	=	=	=	=	=	=	=
							<b>TOTAL</b>
							<b>293,31</b>

(W/°C)

(kWh)





Folha de Cálculo FCV.1e

Ganhos Internos

Ganhos internos médios ( $W/m^2$ ) ( <i>Quadro IV.3</i> )	4,00
	x
Área útil de pavimento ( $m^2$ )	148,65
	x
	<b>2,928</b>
	=
<b>Ganhos Internos totais</b>	<b>1740,99</b> (kWh)

Folha de Cálculo FCV.1f

Ganhos Totais na estação de Arrefecimento (Verão)

Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores	(FCV.1d)	699,25	(kWh)
		+	
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	(FCV.1c)	293,31	(kWh)
		+	
Ganhos internos	(FCV.1e)	1740,99	(kWh)
		=	
Ganhos térmicos totais		2733,55	(kWh)

## Folha de Cálculo FCV.1g

### Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento ( $N_{vc}$ )

Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	2733,55	(kWh)
	/	
Perdas térmicas totais (FCV.1a)	1460,53	(kWh)
	=	
<b>Y</b>	1,87	
Inércia do edifício	Forte	
	1	
	-	
Factor de utilização dos ganhos solares, $\eta$	0,52	
	=	
	0,48	
	x	
Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	2733,55	(kWh)
	=	
Necessidades brutas de arrefecimento	1323,88	(kWh/ano)
	+	
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)		( $E_v = P_v \cdot 24 \cdot 122 / 1000$ (kWh))
	=	
<b>TOTAL</b>	<b>1323,88</b>	<b>(kWh/ano)</b>
	/	
Área útil de pavimento ( $m^2$ )	148,65	
	=	
Necessidades nominais de arrefecimento - $N_{vc}$	8,91	(kWh/ $m^2$ .ano)
	$\leq$	
Necessidades nominais de arref. máximas - $N_v$	32	(kWh/ $m^2$ .ano)

Cálculo das Necessidades de Energia para Preparação da  
Água Quente Sanitária (Nac)

	<b>40</b>			(litros)
	x			
nº de ocupantes (Quadro VI.1)	5			
	=			
Consumo médio diário de referência de AQS, $M_{AQS}$	200			(litros)
	x			
	<b>4187</b>			
	x			
Aumento de temperatura necessário para preparar as AQS, $\Delta T$	<b>45</b>			(°C)
	x			
Número anual de dias de consumo de AQS, $n_d$ (Quadro VI.2)	365			
	/			
	<b>3600000</b>			
	=			
Energia útil dispendida com sistemas convencionais de preparação de AQS, $Q_a$	3820,64			
	x			
	(			
% das necessidades satisfeita pelo 1.º sistema de preparação de ASQ	1,00			
	/			
Eficiência de conversão do 1.º sistema convencional de preparação de AQS, $ha_1$	0,70			
	)			
	=			
	<b>5458,05</b>			(kWh/ano)
	-			
Contribuição de sistemas de colectores solares para o aquecimento de AQS, Esolar	2409,00			
	-			
Contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis, Eren				
	=			
	<b>3049,05</b>			
	/			
Área útil de pavimento, $A_p$	148,65			(m <sup>2</sup> )
	=			
Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária, <b>Nac</b>	<b>20,51</b>			(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
	≤			
Limite máximo das nec. de Energia para Preparação da AQS, <b>Na</b>	<b>39,78</b>			(kWh/m <sup>2</sup> .ano)

Cálculo das Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária (Ntc)

	0,1	
	x	
Nec. Nominais de Aquecimento - <b>Nic</b>	( 64,31	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Contribuição de sistemas de colectores solares para aquecimento ambiente, E <sub>solar</sub>	-	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
	/	
Área útil de pavimento, Ap	148,65	
	)	
	x	
% das necessidades satisfeita pelo 1.º sistema de aquecimento	100,00%	(%)
	/	
Eficiência de conversão do 1.º sistema de aquecimento, h <sub>i</sub>	400,00%	(%)
	x	
Factor de conversão F <sub>pu</sub> entre energia útil e energia primária	0,290	(kgep/kWh)
	+	
	0,1	
	x	
Nec. Nominais de Arrefecimento - <b>Nvc</b>	8,91	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
	x	
% das necessidades satisfeita pelo 1.º sistema de arrefecimento	100,00%	(%)
	/	
Eficiência de conversão do 1.º sistema de arrefecimento, h <sub>v</sub>	300,00%	(%)
	x	
Factor de conversão F <sub>pu</sub> entre energia útil e energia primária	0,290	(kgep/kWh)
	+	
Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária, <b>Nac</b>	20,51	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
	x	
	(	
% das necessidades satisfeita pelo 1.º sistema de preparação de AQS	100,00%	
	x	
Factor de conversão F <sub>pu</sub> entre energia útil e energia primária para o 1.º sistema	0,290	(kgep/kWh)
	)	
	=	
Cálculo das Nec. Nominais Anuais Globais de Energia Primária, <b>Ntc</b>	6,50	(kgep/m <sup>2</sup> .ano)
	≤	
Limite máximo das nec. Anuais Globais de Energia Primária, <b>Nt</b>	6,33	(kgep/m <sup>2</sup> .ano)

**Anexo 4 : Caracterização das paredes exteriores para as diferentes espessuras de isolamento térmico consideradas**

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
	Rse			0,04	pag I.11 ITE50 LNEC		
1	Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2	Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	0
3	Caixa de Ar	0,01	-	0,15	pag I.11 ITE50 LNEC		
4	Isolante Térmico	0,04	0,037	1,08	pag I.3 ITE50 LNEC		
5	Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	150
6	Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
	Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total		0,38					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,45</b>			

mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
360	180
Msi = mi ≤ 150 kg/m <sup>2</sup>	
<b>Msi = 150 kg/m<sup>2</sup></b>	

<b>Umax = 1,80 (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
---

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
	Rse			0,04	pag I.11 ITE50 LNEC		
1	Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2	Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	0
3	Caixa de Ar	0	-		pag I.11 ITE50 LNEC		
4	Isolante Térmico	0,05	0,037	1,35	pag I.3 ITE50 LNEC		
5	Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	150
6	Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
	Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total		0,38					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,43</b>			

mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
360	180
Msi = mi ≤ 150 kg/m <sup>2</sup>	
<b>Msi = 150 kg/m<sup>2</sup></b>	

<b>Umax = 1,80 (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
---

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
	Rse			0,04	pag I.11 ITE50 LNEC		
1	Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2	Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	0
3	Caixa de Ar	0,03	-	0,18	pag I.11 ITE50 LNEC		
4	Isolante Térmico	0,06	0,037	1,62	pag I.3 ITE50 LNEC		
5	Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	110
6	Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
	Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total		0,38					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,40</b>			

mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
320	140
Msi = mi ≤ 150 kg/m <sup>2</sup>	
<b>Msi = 140 kg/m<sup>2</sup></b>	

<b>Umax = 1,80 (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
---



Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse			0,04	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2 Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	0
3 Caixa de Ar	0,02	-	0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
4 Isolante Térmico	0,07	0,037	1,89	pag I.3 ITE50 LNEC		
5 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	110
6 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,38				mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,36</b>		320	140
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 140 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 1,80 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)}$$

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse			0,04	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2 Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	0
3 Caixa de Ar	0,01	-	0,15	pag I.11 ITE50 LNEC		
4 Isolante Térmico	0,08	0,037	2,16	pag I.3 ITE50 LNEC		
5 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	110
6 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,38				mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,33</b>		320	140
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 140 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 1,80 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)}$$

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse			0,04	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2 Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	0
3 Caixa de Ar	0	-	0	pag I.11 ITE50 LNEC		
4 Isolante Térmico	0,09	0,037	2,43	pag I.3 ITE50 LNEC		
5 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	110
6 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,38				mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,30</b>		320	140
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 140 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 1,80 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)}$$

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse			0,04	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	0
3 Caixa de Ar	0,03	-	0,18	pag I.11 ITE50 LNEC		
4 Isolante Térmico	0,1	0,037	2,70	pag I.3 ITE50 LNEC		
5 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	110
6 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,38					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,29</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
280	140
Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
<b>Msi = 140 kg/m2</b>	

<b>U<sub>max</sub> = 1,80 (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
--

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse			0,04	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	0
3 Caixa de Ar	0,02	-	0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
4 Isolante Térmico	0,11	0,037	2,97	pag I.3 ITE50 LNEC		
5 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	110
6 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,38					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,27</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
280	140
Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
<b>Msi = 140 kg/m2</b>	

<b>U<sub>max</sub> = 1,80 (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
--

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse			0,04	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	0
3 Caixa de Ar	0,01	-	0,15	pag I.11 ITE50 LNEC		
4 Isolante Térmico	0,12	0,037	3,24	pag I.3 ITE50 LNEC		
5 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	110
6 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,38					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,25</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
280	140
Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
<b>Msi = 140 kg/m2</b>	

<b>U<sub>max</sub> = 1,80 (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
--

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m. $^{\circ}$ C)	Resistência Rt (m $^2$ . $^{\circ}$ C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse			0,04	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	0
3 Caixa de Ar	0	-	0	pag I.11 ITE50 LNEC		
4 Isolante Térmico	0,13	0,037	3,51	pag I.3 ITE50 LNEC		
5 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	110
6 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total		0,38			mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m $^2$ . $^{\circ}$ C)			<b>0,24</b>		280	140
					Msi = mi $\leq$ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 140 kg/m2</b>	
<b>Umax = 1,80 (W/m<math>^2</math>.<math>^{\circ}</math>C)</b>						



**Anexo 5 : Caracterização da cobertura exterior para as  
diferentes espessuras de isolamento térmico consideradas**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rsi			0,10	pag I.11 ITE50		
1 Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50	20	20
2 Caixa de Ar	0,095	-	0,16	pag I.11 ITE50	0	0
3 Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
4 Camada de Forma em Betão de Argila Expandida	0,04	0,70	0,06	pag I.5 ITE50	52	52
5 Isolante Térmico	0,03	0,037	0,81	pag I.3 ITE50		
6 Impermeabilização	0,005	0,23	0,02	pag I.9 ITE50	5	0
7 Espaço de Ar Fortemente Ventilado	0,04	-	-		0	0
8 Lajetas de Betão assentes sobre Apoios Pontuais	0,035	1,65	-	pag I.5 ITE50	70	0
Rse = Rsi - fluxo ascendente			0,10	pag I.11 ITE50		
Espeçura Total	0,47					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,66</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
487	412
Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

<b>U<sub>max</sub> = 1,25 (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
--

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rsi			0,10	pag I.11 ITE50		
1 Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50	20	20
2 Caixa de Ar	0,085	-	0,16	pag I.11 ITE50	0	0
3 Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
4 Camada de Forma em Betão de Argila Expandida	0,04	0,70	0,06	pag I.5 ITE50	52	52
5 Isolante Térmico	0,04	0,037	1,08	pag I.3 ITE50		
6 Impermeabilização	0,005	0,23	0,02	pag I.9 ITE50	5	0
7 Espaço de Ar Fortemente Ventilado	0,04	-	-		0	0
8 Lajetas de Betão assentes sobre Apoios Pontuais	0,035	1,65	-	pag I.5 ITE50	70	0
Rse = Rsi - fluxo ascendente			0,10	pag I.11 ITE50		
Espeçura Total	0,47					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,56</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
487	412
Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

<b>U<sub>max</sub> = 1,25 (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
--

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m. $^{\circ}$ C)	Resistência Rt (m $^2$ . $^{\circ}$ C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rsi			0,10	pag I.11 ITE50		
1 Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50	20	20
2 Caixa de Ar	0,075	-	0,16	pag I.11 ITE50	0	0
3 Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
4 Camada de Forma em Betão de Argila Expandida	0,04	0,70	0,06	pag I.5 ITE50	52	52
5 Isolante Térmico	0,05	0,037	1,35	pag I.3 ITE50		
6 Impermeabilização	0,005	0,23	0,02	pag I.9 ITE50	5	0
7 Espaço de Ar Fortemente Ventilado	0,04	-	-		0	0
8 Lajetas de Betão assentes sobre Apoios Pontuais	0,035	1,65	-	pag I.5 ITE50	70	0
Rse = Rsi - fluxo ascendente			0,10	pag I.11 ITE50		
Espeçura Total	0,47					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m $^2$ . $^{\circ}$ C)			<b>0,49</b>		mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
					487	412
					Msi = mi $\leq$ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 1,25 \text{ (W/m}^2\text{.}^{\circ}\text{C)}$$

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m. $^{\circ}$ C)	Resistência Rt (m $^2$ . $^{\circ}$ C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rsi			0,10	pag I.11 ITE50		
1 Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50	20	20
2 Caixa de Ar	0,065	-	0,16	pag I.11 ITE50	0	0
3 Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
4 Camada de Forma em Betão de Argila Expandida	0,04	0,70	0,06	pag I.5 ITE50	52	52
5 Isolante Térmico	0,06	0,037	1,62	pag I.3 ITE50		
6 Impermeabilização	0,005	0,23	0,02	pag I.9 ITE50	5	0
7 Espaço de Ar Fortemente Ventilado	0,04	-	-		0	0
8 Lajetas de Betão assentes sobre Apoios Pontuais	0,035	1,65	-	pag I.5 ITE50	70	0
Rse = Rsi - fluxo ascendente			0,10	pag I.11 ITE50		
Espeçura Total	0,47					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m $^2$ . $^{\circ}$ C)			<b>0,43</b>		mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
					487	412
					Msi = mi $\leq$ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 1,25 \text{ (W/m}^2\text{.}^{\circ}\text{C)}$$

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
	Rsi			0,10	pag I.11 ITE50		
1	Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50	20	20
2	Caixa de Ar	0,055	-	0,16	pag I.11 ITE50	0	0
3	Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
4	Camada de Forma em Betão de Argila Expandida	0,04	0,70	0,06	pag I.5 ITE50	52	52
5	Isolante Térmico	0,07	0,037	1,89	pag I.3 ITE50		
6	Impermeabilização	0,005	0,23	0,02	pag I.9 ITE50	5	0
7	Espaço de Ar Fortemente Ventilado	0,04	-	-		0	0
8	Lajetas de Betão assentes sobre Apoios Pontuais	0,035	1,65	-	pag I.5 ITE50	70	0
Rse = Rsi - fluxo ascendente				0,10	pag I.11 ITE50		
Espessura Total		0,47					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,39</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
487	412

Msi = mi ≤ 150 kg/m2

**Msi = 150 kg/m2**

Umax = 1,25 (W/m<sup>2</sup>.°C)

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
	Rsi			0,10	pag I.11 ITE50		
1	Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50	20	20
2	Caixa de Ar	0,045	-	0,16	pag I.11 ITE50	0	0
3	Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
4	Camada de Forma em Betão de Argila Expandida	0,04	0,70	0,06	pag I.5 ITE50	52	52
5	Isolante Térmico	0,08	0,037	2,16	pag I.3 ITE50		
6	Impermeabilização	0,005	0,23	0,02	pag I.9 ITE50	5	0
7	Espaço de Ar Fortemente Ventilado	0,04	-	-		0	0
8	Lajetas de Betão assentes sobre Apoios Pontuais	0,035	1,65	-	pag I.5 ITE50	70	0
Rse = Rsi - fluxo ascendente				0,10	pag I.11 ITE50		
Espessura Total		0,47					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,35</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
487	412

Msi = mi ≤ 150 kg/m2

**Msi = 150 kg/m2**

Umax = 1,25 (W/m<sup>2</sup>.°C)



Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m. $^{\circ}$ C)	Resistência Rt (m $^2$ . $^{\circ}$ C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
	Rsi			0,10	pag I.11 ITE50		
1	Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50	20	20
2	Caixa de Ar	0,035	-	0,16	pag I.11 ITE50	0	0
3	Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
4	Camada de Forma em Betão de Argila Expandida	0,04	0,70	0,06	pag I.5 ITE50	52	52
5	Isolante Térmico	0,09	0,037	2,43	pag I.3 ITE50		
6	Impermeabilização	0,005	0,23	0,02	pag I.9 ITE50	5	0
7	Espaço de Ar Fortemente Ventilado	0,04	-	-		0	0
8	Lajetas de Betão assentes sobre Apoios Pontuais	0,035	1,65	-	pag I.5 ITE50	70	0
Rse = Rsi - fluxo ascendente				0,10	pag I.11 ITE50		
Espessura Total		0,47					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m $^2$ . $^{\circ}$ C)				<b>0,32</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
487	412

Msi = mi  $\leq$  150 kg/m2

**Msi = 150 kg/m2**

Umax = 1,25 (W/m $^2$ . $^{\circ}$ C)

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m. $^{\circ}$ C)	Resistência Rt (m $^2$ . $^{\circ}$ C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
	Rsi			0,10	pag I.11 ITE50		
1	Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50	20	20
2	Caixa de Ar	0,025	-	0,16	pag I.11 ITE50	0	0
3	Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
4	Camada de Forma em Betão de Argila Expandida	0,04	0,70	0,06	pag I.5 ITE50	52	52
5	Isolante Térmico	0,1	0,037	2,70	pag I.3 ITE50		
6	Impermeabilização	0,005	0,23	0,02	pag I.9 ITE50	5	0
7	Espaço de Ar Fortemente Ventilado	0,04	-	-		0	0
8	Lajetas de Betão assentes sobre Apoios Pontuais	0,035	1,65	-	pag I.5 ITE50	70	0
Rse = Rsi - fluxo ascendente				0,10	pag I.11 ITE50		
Espessura Total		0,47					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m $^2$ . $^{\circ}$ C)				<b>0,29</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
487	412

Msi = mi  $\leq$  150 kg/m2

**Msi = 150 kg/m2**

Umax = 1,25 (W/m $^2$ . $^{\circ}$ C)

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m. $^{\circ}$ C)	Resistência Rt (m $^2$ . $^{\circ}$ C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
	Rsi			0,10	pag I.11 ITE50		
1	Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50	20	20
2	Caixa de Ar	0,015	-	0,16	pag I.11 ITE50	0	0
3	Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
4	Camada de Forma em Betão de Argila Expandida	0,04	0,70	0,06	pag I.5 ITE50	52	52
5	Isolante Térmico	0,11	0,037	2,97	pag I.3 ITE50		
6	Impermeabilização	0,005	0,23	0,02	pag I.9 ITE50	5	0
7	Espaço de Ar Fortemente Ventilado	0,04	-	-		0	0
8	Lajetas de Betão assentes sobre Apoios Pontuais	0,035	1,65	-	pag I.5 ITE50	70	0
Rse = Rsi - fluxo ascendente				0,10	pag I.11 ITE50		
Espessura Total		0,47					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m $^2$ . $^{\circ}$ C)				<b>0,27</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
487	412

Msi = mi  $\leq$  150 kg/m2

**Msi = 150 kg/m2**

Umax = 1,25 (W/m $^2$ . $^{\circ}$ C)

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m. $^{\circ}$ C)	Resistência Rt (m $^2$ . $^{\circ}$ C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
	Rsi			0,10	pag I.11 ITE50		
1	Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50	20	20
2	Caixa de Ar	0,005	-	0,11	pag I.11 ITE50	0	0
3	Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
4	Camada de Forma em Betão de Argila Expandida	0,04	0,70	0,06	pag I.5 ITE50	52	52
5	Isolante Térmico	0,12	0,037	3,24	pag I.3 ITE50		
6	Impermeabilização	0,005	0,23	0,02	pag I.9 ITE50	5	0
7	Espaço de Ar Fortemente Ventilado	0,04	-	-		0	0
8	Lajetas de Betão assentes sobre Apoios Pontuais	0,035	1,65	-	pag I.5 ITE50	70	0
Rse = Rsi - fluxo ascendente				0,10	pag I.11 ITE50		
Espessura Total		0,47					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m $^2$ . $^{\circ}$ C)				<b>0,26</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
487	412

Msi = mi  $\leq$  150 kg/m2

**Msi = 150 kg/m2**

Umax = 1,25 (W/m $^2$ . $^{\circ}$ C)

**Anexo 6 : Caracterização do pavimento interior sobre a cave  
para as diferentes espessuras de isolamento térmico  
consideradas**

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
Rse = Rsi				0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
1	Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50 LNEC	20	0
2	Isolante Térmico	0,03	0,037	0,81	pag I.3 ITE50 LNEC		
3	Caixa de Ar	0,11	-	0,22	pag I.11 ITE50 LNEC	0	0
4	Laje Maciça em Betão	0,15	2,30	0,07	pag I.5 ITE50 LNEC	360	360
5	Betonilha	0,05	1,30	0,04	pag I.7 ITE50 LNEC	90	90
6	Pavimento Cerâmico	0,015	1,30	0,01	pag I.10 ITE50 LNEC	35	35
Rsi - fluxo descendente				0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total		0,38					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,63</b>			

mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
505	485
Msi = mi ≤ 150 kg/m <sup>2</sup>	
<b>Msi = 150 kg/m<sup>2</sup></b>	

<b>Umax = 1,65 (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
---

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
Rse = Rsi				0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
1	Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50 LNEC	20	0
2	Isolante Térmico	0,04	0,037	1,08	pag I.3 ITE50 LNEC		
3	Caixa de Ar	0,1	-	0,22	pag I.11 ITE50 LNEC	0	0
4	Laje Maciça em Betão	0,15	2,30	0,07	pag I.5 ITE50 LNEC	360	360
5	Betonilha	0,05	1,30	0,04	pag I.7 ITE50 LNEC	90	90
6	Pavimento Cerâmico	0,015	1,30	0,01	pag I.10 ITE50 LNEC	35	35
Rsi - fluxo descendente				0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total		0,38					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,54</b>			

mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
505	485
Msi = mi ≤ 150 kg/m <sup>2</sup>	
<b>Msi = 150 kg/m<sup>2</sup></b>	

<b>Umax = 1,65 (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
---

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
Rse = Rsi				0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
1	Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50 LNEC	20	0
2	Isolante Térmico	0,05	0,037	1,35	pag I.3 ITE50 LNEC		
3	Caixa de Ar	0,09	-	0,21	pag I.11 ITE50 LNEC	0	0
4	Laje Maciça em Betão	0,15	2,30	0,07	pag I.5 ITE50 LNEC	360	360
5	Betonilha	0,05	1,30	0,04	pag I.7 ITE50 LNEC	90	90
6	Pavimento Cerâmico	0,015	1,30	0,01	pag I.10 ITE50 LNEC	35	35
Rsi - fluxo descendente				0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total		0,38					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,47</b>			

mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
505	485
Msi = mi ≤ 150 kg/m <sup>2</sup>	
<b>Msi = 150 kg/m<sup>2</sup></b>	

<b>Umax = 1,65 (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
---

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
	Rse = Rsi			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
1	Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50 LNEC	20	0
2	Isolante Térmico	0,06	0,037	1,62	pag I.3 ITE50 LNEC		
3	Caixa de Ar	0,08	-	0,21	pag I.11 ITE50 LNEC	0	0
4	Laje Maciça em Betão	0,15	2,30	0,07	pag I.5 ITE50 LNEC	360	360
5	Betonilha	0,05	1,30	0,04	pag I.7 ITE50 LNEC	90	90
6	Pavimento Cerâmico	0,015	1,30	0,01	pag I.10 ITE50 LNEC	35	35
	Rsi - fluxo descendente			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total		0,38					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,42</b>			

mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
505	485
Msi = mi ≤ 150 kg/m <sup>2</sup>	
<b>Msi = 150 kg/m<sup>2</sup></b>	

**U<sub>max</sub> = 1,65 (W/m<sup>2</sup>.°C)**

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
	Rse = Rsi			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
1	Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50 LNEC	20	0
2	Isolante Térmico	0,07	0,037	1,89	pag I.3 ITE50 LNEC		
3	Caixa de Ar	0,07	-	0,21	pag I.11 ITE50 LNEC	0	0
4	Laje Maciça em Betão	0,15	2,30	0,07	pag I.5 ITE50 LNEC	360	360
5	Betonilha	0,05	1,30	0,04	pag I.7 ITE50 LNEC	90	90
6	Pavimento Cerâmico	0,015	1,30	0,01	pag I.10 ITE50 LNEC	35	35
	Rsi - fluxo descendente			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total		0,38					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,38</b>			

mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
505	485
Msi = mi ≤ 150 kg/m <sup>2</sup>	
<b>Msi = 150 kg/m<sup>2</sup></b>	

**U<sub>max</sub> = 1,65 (W/m<sup>2</sup>.°C)**

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
	Rse = Rsi			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
1	Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50 LNEC	20	0
2	Isolante Térmico	0,08	0,037	2,16	pag I.3 ITE50 LNEC		
3	Caixa de Ar	0,06	-	0,21	pag I.11 ITE50 LNEC	0	0
4	Laje Maciça em Betão	0,15	2,30	0,07	pag I.5 ITE50 LNEC	360	360
5	Betonilha	0,05	1,30	0,04	pag I.7 ITE50 LNEC	90	90
6	Pavimento Cerâmico	0,015	1,30	0,01	pag I.10 ITE50 LNEC	35	35
	Rsi - fluxo descendente			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total		0,38					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,34</b>			

mt(kg/m <sup>2</sup> )	mi(kg/m <sup>2</sup> )
505	485
Msi = mi ≤ 150 kg/m <sup>2</sup>	
<b>Msi = 150 kg/m<sup>2</sup></b>	

**U<sub>max</sub> = 1,65 (W/m<sup>2</sup>.°C)**

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse = Rsi				0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
1	Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50 LNEC	20	0
2	Isolante Térmico	0,09	0,037	2,43	pag I.3 ITE50 LNEC		
3	Caixa de Ar	0,05	-	0,21	pag I.11 ITE50 LNEC	0	0
4	Laje Maciça em Betão	0,15	2,30	0,07	pag I.5 ITE50 LNEC	360	360
5	Betonilha	0,05	1,30	0,04	pag I.7 ITE50 LNEC	90	90
6	Pavimento Cerâmico	0,015	1,30	0,01	pag I.10 ITE50 LNEC	35	35
Rsi - fluxo descendente				0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total		0,38					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,31</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
505	485
Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

<b>Umax = 1,65 (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
---

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse = Rsi				0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
1	Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50 LNEC	20	0
2	Isolante Térmico	0,1	0,037	2,70	pag I.3 ITE50 LNEC		
3	Caixa de Ar	0,04	-	0,19	pag I.11 ITE50 LNEC	0	0
4	Laje Maciça em Betão	0,15	2,30	0,07	pag I.5 ITE50 LNEC	360	360
5	Betonilha	0,05	1,30	0,04	pag I.7 ITE50 LNEC	90	90
6	Pavimento Cerâmico	0,015	1,30	0,01	pag I.10 ITE50 LNEC	35	35
Rsi - fluxo descendente				0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total		0,38					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,29</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
505	485
Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

<b>Umax = 1,65 (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
---

Constituição		Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse = Rsi				0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
1	Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50 LNEC	20	0
2	Isolante Térmico	0,11	0,037	2,97	pag I.3 ITE50 LNEC		
3	Caixa de Ar	0,03	-	0,19	pag I.11 ITE50 LNEC	0	0
4	Laje Maciça em Betão	0,15	2,30	0,07	pag I.5 ITE50 LNEC	360	360
5	Betonilha	0,05	1,30	0,04	pag I.7 ITE50 LNEC	90	90
6	Pavimento Cerâmico	0,015	1,30	0,01	pag I.10 ITE50 LNEC	35	35
Rsi - fluxo descendente				0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total		0,38					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,27</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
505	485
Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

<b>Umax = 1,65 (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
---

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse = Rsi			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50 LNEC	20	0
2 Isolante Térmico	0,12	0,037	3,24	pag I.3 ITE50 LNEC		
3 Caixa de Ar	0,02	-	0,17	pag I.11 ITE50 LNEC	0	0
4 Laje Maciça em Betão	0,15	2,30	0,07	pag I.5 ITE50 LNEC	360	360
5 Betonilha	0,05	1,30	0,04	pag I.7 ITE50 LNEC	90	90
6 Pavimento Cerâmico	0,015	1,30	0,01	pag I.10 ITE50 LNEC	35	35
Rsi - fluxo descendente			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espeçsura Total	0,38				mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,25</b>		505	485
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 1,65 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse = Rsi			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Placas de Gesso Cartonado	0,025	0,25	0,10	pag I.7 ITE50 LNEC	20	0
2 Isolante Térmico	0,13	0,037	3,51	pag I.3 ITE50 LNEC		
3 Caixa de Ar	0,01	-	0,15	pag I.11 ITE50 LNEC	0	0
4 Laje Maciça em Betão	0,15	2,30	0,07	pag I.5 ITE50 LNEC	360	360
5 Betonilha	0,05	1,30	0,04	pag I.7 ITE50 LNEC	90	90
6 Pavimento Cerâmico	0,015	1,30	0,01	pag I.10 ITE50 LNEC	35	35
Rsi - fluxo descendente			0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espeçsura Total	0,38				mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,24</b>		505	485
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 1,65 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$





**Anexo 7 : Caracterização da cobertura interior plana sob o  
desvão de cobertura para as diferentes espessuras de  
isolamento térmico consideradas**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rsi			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,02	1,30	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC	40	40
2 Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
3 Isolante Térmico	0,03	0,037	0,81	pag I.3 ITE50 LNEC		
Rse = Rsi - fluxo ascendente			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,25					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,84</b>		mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
					380	380
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 1,25 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rsi			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,02	1,30	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC	40	40
2 Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
3 Isolante Térmico	0,04	0,037	1,08	pag I.3 ITE50 LNEC		
Rse = Rsi - fluxo ascendente			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,26					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,68</b>		mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
					380	380
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 1,25 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rsi			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,02	1,30	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC	40	40
2 Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
3 Isolante Térmico	0,05	0,037	1,35	pag I.3 ITE50 LNEC		
Rse = Rsi - fluxo ascendente			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,27					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,58</b>		mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
					380	380
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 1,25 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rsi			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,02	1,30	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC	40	40
2 Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
3 Isolante Térmico	0,06	0,037	1,62	pag I.3 ITE50 LNEC		
Rse = Rsi - fluxo ascendente			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,28					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,50</b>		mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
					380	380
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 1,25 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rsi			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,02	1,30	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC	40	40
2 Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
3 Isolante Térmico	0,07	0,037	1,89	pag I.3 ITE50 LNEC		
Rse = Rsi - fluxo ascendente			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,29					
Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,44</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
380	380
Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 1,25 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rsi			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,02	1,30	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC	40	40
2 Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
3 Isolante Térmico	0,08	0,037	2,16	pag I.3 ITE50 LNEC		
Rse = Rsi - fluxo ascendente			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,3					
Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,39</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
380	380
Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 1,25 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rsi			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,02	1,30	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC	40	40
2 Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
3 Isolante Térmico	0,09	0,037	2,43	pag I.3 ITE50 LNEC		
Rse = Rsi - fluxo ascendente			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,31					
Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,36</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
380	380
Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 1,25 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rsi			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,02	1,30	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC	40	40
2 Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
3 Isolante Térmico	0,1	0,037	2,70	pag I.3 ITE50 LNEC		
Rse = Rsi - fluxo ascendente			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,32					
Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,32</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
380	380
Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 1,25 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rsi			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,02	1,30	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC	40	40
2 Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
3 Isolante Térmico	0,11	0,037	2,97	pag I.3 ITE50 LNEC		
Rse = Rsi - fluxo ascendente			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,33					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,30</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
380	380
Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

<b>U<sub>max</sub> = 1,25 (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
--

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rsi			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,02	1,30	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC	40	40
2 Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
3 Isolante Térmico	0,12	0,037	3,24	pag I.3 ITE50 LNEC		
Rse = Rsi - fluxo ascendente			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,34					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,28</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
380	380
Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

<b>U<sub>max</sub> = 1,25 (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
--

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rsi			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,02	1,30	0,02	pag I.7 ITE50 LNEC	40	40
2 Laje Aligeirada	0,20	1,20	0,17		340	340
3 Isolante Térmico	0,13	0,037	3,51	pag I.3 ITE50 LNEC		
Rse = Rsi - fluxo ascendente			0,10	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,35					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,26</b>			

mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
380	380
Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

<b>U<sub>max</sub> = 1,25 (W/m<sup>2</sup>.°C)</b>
--

**Anexo 8 : Caracterização das paredes interiores em contacto  
com espaços não úteis para as diferentes espessuras de  
isolamento térmico consideradas**

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse=Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2 Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	0
3 Caixa de Ar	0,02	-	0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
4 Isolante Térmico	0,03	0,037	0,81	pag I.3 ITE50 LNEC		
5 Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	150
6 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espe <span>ssura</span> Total	0,38					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,49</b>		mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
					360	180
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 2,00 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse=Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2 Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	0
3 Caixa de Ar	0,01	-	0,15	pag I.11 ITE50 LNEC		
4 Isolante Térmico	0,04	0,037	1,08	pag I.3 ITE50 LNEC		
5 Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	150
6 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espe <span>ssura</span> Total	0,38					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,44</b>		mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
					360	180
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 2,00 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse=Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2 Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	0
3 Caixa de Ar	0	-	0	pag I.11 ITE50 LNEC		
4 Isolante Térmico	0,05	0,037	1,35	pag I.3 ITE50 LNEC		
5 Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	150
6 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espe <span>ssura</span> Total	0,38					
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,41</b>		mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
					360	180
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 150 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 2,00 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse=Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2 Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	0
3 Caixa de Ar	0,03	-	0,18	pag I.11 ITE50 LNEC		
4 Isolante Térmico	0,06	0,037	1,62	pag I.3 ITE50 LNEC		
5 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	110
6 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espeçsura Total	0,38				mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,36</b>		320	140
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 140 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 2,00 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse=Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2 Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	0
3 Caixa de Ar	0,02	-	0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
4 Isolante Térmico	0,07	0,037	1,89	pag I.3 ITE50 LNEC		
5 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	110
6 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espeçsura Total	0,38				mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,33</b>		320	140
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 140 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 2,00 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse=Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2 Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	0
3 Caixa de Ar	0,01	-	0,15	pag I.11 ITE50 LNEC		
4 Isolante Térmico	0,08	0,037	2,16	pag I.3 ITE50 LNEC		
5 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	110
6 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espeçsura Total	0,38				mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Coefficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,31</b>		320	140
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 140 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 2,00 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse=Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2 Tijolo Furado 15	0,15	-	0,39	pag I.12 ITE50 LNEC	150	0
3 Caixa de Ar	0	-	0	pag I.11 ITE50 LNEC		
4 Isolante Térmico	0,09	0,037	2,43	pag I.3 ITE50 LNEC		
5 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	110
6 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espeçsura Total	0,38				mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,30</b>	320	140
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 140 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 2,00 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse=Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	0
3 Caixa de Ar	0,03	-	0,18	pag I.11 ITE50 LNEC		
4 Isolante Térmico	0,1	0,037	2,70	pag I.3 ITE50 LNEC		
5 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	110
6 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espeçsura Total	0,38				mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,27</b>	280	140
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 140 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 2,00 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$

Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse=Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	0
3 Caixa de Ar	0,02	-	0,17	pag I.11 ITE50 LNEC		
4 Isolante Térmico	0,11	0,037	2,97	pag I.3 ITE50 LNEC		
5 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	110
6 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espeçsura Total	0,38				mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)				<b>0,25</b>	280	140
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 140 kg/m2</b>	

$$U_{max} = 2,00 \text{ (W/m}^2\text{.}^\circ\text{C)}$$



Constituição	Espessura e (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Resistência $R_t$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Referência	mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Rse=Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
1 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	0
2 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	0
3 Caixa de Ar	0,01	-	0,15	pag I.11 ITE50 LNEC		
4 Isolante Térmico	0,12	0,037	3,24	pag I.3 ITE50 LNEC		
5 Tijolo Furado 11	0,11	-	0,27	pag I.12 ITE50 LNEC	110	110
6 Reboco	0,015	1,30	0,01	pag I.7 ITE50 LNEC	30	30
Rsi			0,13	pag I.11 ITE50 LNEC		
Espessura Total	0,38				mt(kg/m2)	mi(kg/m2)
Coeficiente de Transmissão Térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)			<b>0,24</b>		280	140
					Msi = mi ≤ 150 kg/m2	
					<b>Msi = 140 kg/m2</b>	

U<sub>max</sub> = 2,00 (W/m<sup>2</sup>.°C)



**Anexo 9 : Tabelas de cálculo de aplicação do RCCTE  
utilizadas na verificação de cumprimento do RCCTE n.º 20**

**LEVANTAMENTO DIMENSIONAL E DE SISTEMAS**  
(Cálculo de acordo com o Decreto-Lei n.º 80/2006)

Localização da fracção	Continente
Distância à costa	Superior a 5 km
Concelho	Entroncamento
Local de implantação	Periferia de uma zona urbana ou zona rural
Altitude	270,00 m
Norte (N) ou Sul (S)?	Norte

--	--

--	--

Tipo de edifício	Residencial	Unifamiliar ou Multifamiliar?	Unifamiliar				
Tipologia da Fracção	T4						
N.º de Pisos da Fracção	2						
Área útil de pavimento, Ap	148,65 m2						
Pé-direito médio da fracção, Pd	2,64 m						

A ventilação processa-se de igual forma em toda a fracção?	Sim						
--	-----	--	--	--	--	--	--

Tipo de ventilação?	Natural						
Cumprir NP 1037-1?	Sim						
	Classe 3						
	Sim	Na totalidade dos vãos envidraçados?	Não	Qual a área de vãos envidraçados com caixa de estore?	19,18 m2		
	Sim	Aberturas auto-reguladas?	Sim				
	Sim						


Inércia térmica da fracção	Forte
----------------------------	-------

1º Sistema de aquecimento	Bomba de calor (aquecimento)	Rendimento Conforme o n.º 2 do Art.º 18º?	Sim		Pretende considerar o factor de conversão, Fpui = 0	Não
---------------------------	------------------------------	---	-----	--	---	-----

Fracção das necessidades nominais de energia útil para aquecimento do edifício satisfeitas por este sistema (%):	100,00%
--	---------

--	--	--	--	--	--	--	--

1º Sistema de arrefecimento		Bomba de calor (arrefecimento)	Rendimento Conforme o n.º 2 do Art.º 18º?	Sim	Pretende considerar o factor de conversão, $F_{puv} = 0$
		Fração das necessidades nominais de energia útil para aquecimento do edifício satisfeitas por este sistema (%):		100,00%	Não

1º Sistema de preparação de AQS		Esquentador a gás	Rendimento Conforme o n.º 3 do Anexo VI?	Não	Rendimento =	0,75	Pretende considerar o factor de conversão, F <sub>pua</sub> = 0	Não
Fracção das necessidades de energia útil para preparação de AQS satisfeitas por este sistema (%):				100,00%				
Rede de distribuição de água quente com mais de 10mm de isolamento térmico?		Sim						
Contribuição de sistemas de colectores solares para o aquecimento de AQS, E <sub>solar</sub> (Nac)		2425 kWh/ano						
Contribuição de sistemas de colectores solares para o aquecimento ambiente, E <sub>solar</sub> (N <sub>ac</sub> )		Contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis, E <sub>ren</sub> (N <sub>ac</sub> )		563 kWh/ano				

### CARACTERIZAÇÃO DE ESPAÇOS NÃO ÚTEIS

	Espaço não útil 1	Espaço não útil 2	Espaço não útil 3	Espaço não útil 4	Espaço não útil 5	Espaço não útil 6	Espaço não útil 7	Espaço não útil 8	Espaço não útil 9	Espaço não útil 10
Designação	Caixa de escadas que liga a cave ao rés-do-chão	Edifício adjacente	Cave	Desvão de cobertura						
Ai	14,02		83,64	65,02						
Au	1,83		59,43	116,35						
Tipo de espaço (ver Tabela IV.1 do	1,1	3	5,1	7,3						
Coefficiente $\tau$	0,30	0,60	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

TABELA IV.1  
Valores do coeficiente  $\tau$  (secção 2.1)

Tipo de espaço não útil	A <sub>i</sub> / A <sub>u</sub> ( <sup>3</sup> )		
	De 0 a 1	De 1 a 10	Maior que 10
1 — Circulação comum:			
1.1 — Sem abertura directa para o exterior .....	0,6	0,3	0
1.2 — Com abertura permanente para o exterior (por exemplo, para ventilação ou desenfumação):			
a) Área de aberturas permanentes/volume total < 0,05 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> .....	0,8	0,5	0,1
b) Área de aberturas permanentes/volume total ≥ 0,05 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> .....	0,9	0,7	0,3
2 — Espaços comerciais .....	0,8	0,6	0,2
3 — Edifícios adjacentes .....	0,6	0,6	0,6
4 — Armazéns .....	0,95	0,7	0,3
5 — Garagens:			
5.1 — Privada .....	0,8	0,5	0,3
5.2 — Colectiva .....	0,9	0,7	0,4
5.3 — Pública .....	0,95	0,8	0,5
6 — Varandas, marquises e similares ( <sup>2</sup> ) .....	0,8	0,6	0,2
7 — Coberturas sobre desvão não habitado (acessível ou não) ( <sup>3</sup> ):			
7.1 — Desvão não ventilado .....	0,8	0,6	0,4
7.2 — Desvão fracamente ventilado .....	0,9	0,7	0,5
7.3 — Desvão fortemente ventilado .....		1	



**PAREDES DE ENVOLVENTE EXTERIOR**

	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Parede 5	Parede 6	Parede 7	Parede 8	Parede 9	Parede 10	Parede 11	Parede 12	Parede 13	Parede 14	Parede 15	Parede 16	Parede 17	Parede 18	Parede 19	Parede 20
Designação	PE1	PE1	PE1	PE1	PE1ptp1	PE1ptp1	PE1ptp1	PE1ptp2	PE1ptp2	PE1ptp2	PE1ptp3									
Orientação	Norte	Sul	Este	Oeste	Norte	Sul	Este	Norte	Sul	Este	Norte									
Área (m <sup>2</sup> )	34,00	33,01	12,70	3,02	1,84	1,59	1,79	0,90	1,75	0,49	1,80									
U (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,24	0,24	0,24	0,24	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	2,86									
Cor da superfície exterior	cor clara	cor clara	cor clara	cor clara	cor clara	cor clara	cor clara	cor clara	cor clara	cor clara	cor escura									

ENVOLVENTE EXTERIOR

	Parede 21	Parede 22	Parede 23	Parede 24	Parede 25	Parede 26	Parede 27	Parede 28	Parede 29	Parede 30	Parede 31	Parede 32	Parede 33	Parede 34	Parede 35	Parede 36	Parede 37	Parede 38	Parede 39	Parede 40
Designação																				
Orientação																				
Área (m <sup>2</sup> )																				
U (W/m <sup>2</sup> .°C)																				
Cor da superfície exterior																				

**COBERTURAS DE ENVOLVENTE EXTERIOR**

	Cobertura 1	Cobertura 2	Cobertura 3	Cobertura 4	Cobertura 5	Cobertura 6	Cobertura 7	Cobertura 8
Designação	CobE1	CobE1ptp1						
Tipo	Terraço (plana)	Terraço (plana)						
Área (m <sup>2</sup> )	24,82	1,17						
U <sub>ascendente</sub> (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,26	0,79						
U <sub>descendente</sub> (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,25	0,71						
Cor da superfície exterior	Cx. Ar Fort. Ventil.	Cx. Ar Fort. Ventil.						

**PAVIMENTOS DE ENVOLVENTE EXTERIOR**

	Pavimento 1	Pavimento 2	Pavimento 3	Pavimento 4	Pavimento 5	Pavimento 6	Pavimento 7	Pavimento 8
Designação	PavE1							
Área (m <sup>2</sup> )	4,88							
U <sub>descendente</sub> (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,80							

ENVOLVENTE EXTERIOR

**ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO**

A fracção tem pavimento em contacto com o solo?	Não	

Existem paredes em contacto com o solo?	Não	

EXTERIOR



ENVOLVENTE

**PONTES TÉRMICAS LINEARES**

	Distância do pavimento ao solo	Espessura da laje térrea (m)	Existe isolamento perimetral sob a laje?	Posição do isolamento na parede?		Comprimento da ponte térmica (m)
Ligação de fachada com pavimentos térreos (cota de pavimento superior à cota do terreno exterior)						
Ligação de fachada com pavimentos térreos (cota de pavimento superior à cota do terreno exterior)						
Ligação de fachada com pavimentos térreos (cota de pavimento superior à cota do terreno exterior)						
Ligação de fachada com pavimentos térreos (cota de pavimento superior à cota do terreno exterior)						

ENVOLVENTE EXTERIOR

	Espessura da laje de pavimento (m)	Posição do isolamento da laje?	Espessura da parede de fachada (m)	Posição do isolamento na parede de fachada?	Comprimento da ponte térmica (m)
Ligação de fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exterior	0,215	Sobre a laje	0,38	Repartido ou na caixa de ar	13,48
Ligação de fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exterior	0,165	Sobre a laje	0,38	Repartido ou na caixa de ar	2,937
Ligação de fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exterior	0,215	Sob a laje	0,38	Repartido ou na caixa de ar	4,27
Ligação de fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exterior					

ENVOLVENTE EXTERIOR

	Espessura da laje de pavimento (m)	O espaço útil acima e abaixo do pavimento pertencem à mesma fracção?	Espessura da parede de fachada (m)	Posição do isolamento na parede de fachada?	Comprimento da ponte térmica (m)
Ligação de fachada com pavimentos intermédios	0,265	Sim	0,38	Repartido ou na caixa de ar	3,33
Ligação de fachada com pavimentos intermédios	0,265	Não	0,38	Repartido ou na caixa de ar	4,42
Ligação de fachada com pavimentos intermédios					
Ligação de fachada com pavimentos intermédios					

ERIOR

	Espessura da laje de esteira/cobertura (m)	Posição do isolamento na parede de fachada?	Comprimento da ponte térmica (m)
Ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço	0,24	Repartido ou na caixa de ar	5,96 m
Ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço	0,22	Repartido ou na caixa de ar	23,98
Ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço			
Ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço			

	Espessura da laje de pavimento (m)	O espaço útil acima e abaixo do pavimento pertencem à mesma fracção?	Espessura da parede de fachada (m)	Comprimento da ponte térmica (m)
Ligação de fachada com varanda	0,265	Não	0,38	7,74
Ligação de fachada com varanda	0,265	Sim	0,38	3,145
Ligação de fachada com varanda				
Ligação de fachada com varanda				

ENVOLVENTE EXT

	Espessura da parede de fachada (m)	Posição do isolamento na parede de fachada?	Comprimento da ponte térmica (m)
Ligação entre duas paredes verticais	0,38	Repartido ou na caixa de ar	20,8
Ligação entre duas paredes verticais			
Ligação entre duas paredes verticais			
Ligação entre duas paredes verticais			

	O isolante da caixa de estore garante uma resistência térmica igual ou superior a $0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$	Comprimento da ponte térmica (m)
Ligação de fachada com caixa de estore	Sim	12,55
Ligação de fachada com caixa de estore		
Ligação de fachada com caixa de estore		
Ligação de fachada com caixa de estore		

	E garantido o contacto do isolante térmico da parede com a caixilharia?	Comprimento da ponte térmica (m)
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril	Não	68,52
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril		
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril		
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril		

	Breve descrição da situação	Comprimento da ponte térmica (m)	$\Psi$ a considerar, se diferente de 0,5
Outra situação	Ligação da fachada com pavimento (porta exterior e vãos envidraçados de sacada)	8,15	
Outra situação			
Outra situação			
Outra situação			

**ENVIDRAÇADOS DE ENVOLVENTE INTERIOR**

	Env. Int. 1	Env. Int. 2	Env. Int. 3	Env. Int. 4	Env. Int. 5	Env. Int. 6	Env. Int. 7	Env. Int. 8	Env. Int. 9	Env. Int. 10	Env. Int. 11	Env. Int. 12	Env. Int. 13	Env. Int. 14	Env. Int. 15	Env. Int. 16	Env. Int. 17	Env. Int. 18	Env. Int. 19	Env. Int. 20	
Designação																					
Área (m <sup>2</sup> )																					
U (W/m <sup>2</sup> .°C)																					
Espaço não útil adjacente																					

**PAREDES DE ENVOLVENTE INTERIOR**

	Par. Int. 1	Par. Int. 2	Par. Int. 3	Par. Int. 4	Par. Int. 5	Par. Int. 6	Par. Int. 7	Par. Int. 8	Par. Int. 9	Par. Int. 10	Par. Int. 11	Par. Int. 12	Par. Int. 13	Par. Int. 14	Par. Int. 15	Par. Int. 16	Par. Int. 17	Par. Int. 18	Par. Int. 19	Par. Int. 20	
Designação	PENU1	PENU2	PENU1ptp1	PENU2ptp1																	
Área (m <sup>2</sup> )	12,22	82,74	1,80	7,12																	
U (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,52	0,24	2,07	0,47																	
Espaço não útil adjacente	Caixa de escadas	Edifício adjacente	Caixa de escadas que liga a cave	Edifício adjacente																	

**COBERTURAS DE ENVOLVENTE INTERIOR**

	Cob. Int. 1	Cob. Int. 2	Cob. Int. 3	Cob. Int. 4	Cob. Int. 5	Cob. Int. 6	Cob. Int. 7	Cob. Int. 8
Designação	CobENU1	CobENU1ptp1						
Tipo	Terraço	Terraço (plana)						
Área (m <sup>2</sup> )	61,56	3,46						
U <sub>ascendente</sub> (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,26	0,83						
Espaço não útil adjacente	Desvão de cobertura	Desvão de cobertura						

**PAVIMENTOS DE ENVOLVENTE INTERIOR**

	Pav. Int. 1	Pav. Int. 2	Pav. Int. 3	Pav. Int. 4	Pav. Int. 5	Pav. Int. 6	Pav. Int. 7	Pav. Int. 8
Designação	PavENU1	PavENU2	PavENU1ptp1					
Área (m <sup>2</sup> )	79,42	4,69	4,22					
U <sub>descendente</sub> (W/m <sup>2</sup> .°C)	0,24	0,81	0,68					
Espaço não útil adjacente	Cave	Caixa de escadas que	Cave					

**ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO**

A fracção tem pavimento em contacto com o solo?	Não		Espaço não útil adjacente

Existem paredes em contacto com o solo?			Espaço não útil adjacente

ENVOLVENTE INTERIOR

ENVOLVENTE INTERIOR

PONTES TÉRMICAS LINEARES

ENVOLVENTE INTERIOR	Espaço não útil adjacente	Distância do pavimento ao solo	Espessura da laje térrea (m)	Existe isolamento perimetral sob a laje?	Posição do isolamento na parede?	Comprimento da ponte térmica (m)
	Ligação de fachada com pavimentos térreos					
	Ligação de fachada com pavimentos térreos					
	Ligação de fachada com pavimentos térreos					
	Ligação de fachada com pavimentos térreos					

ENVOLVENTE INTERIOR	Espaço não útil adjacente	Espessura da laje de pavimento (m)	Posição do isolamento da laje?	Espessura da parede de fachada (m)	Posição do isolamento na parede de fachada?	Comprimento da ponte térmica (m)
	Ligação de fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exterior					
	Ligação de fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exterior					
	Ligação de fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exterior					
	Ligação de fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exterior					

ENVOLVENTE INTERIOR	Espaço não útil adjacente	Espessura da laje de pavimento (m)	O espaço útil acima e abaixo do pavimento pertencem à mesma fracção?	Espessura da parede de fachada (m)	Posição do isolamento na parede de fachada?	Comprimento da ponte térmica (m)
	Ligação de fachada com pavimentos intermédios					
	Ligação de fachada com pavimentos intermédios					
	Ligação de fachada com pavimentos intermédios					
	Ligação de fachada com pavimentos intermédios					

ENVOLVENTE INTERIOR	Espessura da laje de esteira/cobertura (m)	Posição do isolamento na parede de fachada?	Comprimento da ponte térmica (m)	Espaço não útil adjacente
	Ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço			
	Ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço			
	Ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço			
	Ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço			

ENVOLVENTE INTERIOR	Espaço não útil adjacente	Espessura da laje de pavimento (m)	O espaço útil acima e abaixo do pavimento pertencem à mesma fracção?	Espessura da parede de fachada (m)	Comprimento da ponte térmica (m)
	Ligação de fachada com varanda				
	Ligação de fachada com varanda				
	Ligação de fachada com varanda				
	Ligação de fachada com varanda				

ENVOLVENTE INTERIOR

	Espessura da parede de fachada (m)	Posição do isolamento na parede de fachada?	Comprimento da ponte térmica (m)	Espaço não útil adjacente
Ligação entre duas paredes verticais				
Ligação entre duas paredes verticais				
Ligação entre duas paredes verticais				
Ligação entre duas paredes verticais				

	O isolante da caixa de estore garante uma resistência térmica igual ou superior a $0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$	Comprimento da ponte térmica (m)	Espaço não útil adjacente
Ligação de fachada com caixa de estore			
Ligação de fachada com caixa de estore			
Ligação de fachada com caixa de estore			
Ligação de fachada com caixa de estore			

	E garantido o contacto do isolante térmico da parede com a caixilharia?	Comprimento da ponte térmica (m)	Espaço não útil adjacente
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril			
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril			
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril			
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril			

	Breve descrição da situação	Comprimento da ponte térmica (m)	$\Psi$ a considerar, se diferente de 0,5	Espaço não útil adjacente
Outra situação				
Outra situação				
Outra situação				
Outra situação				

RESUMO DE RESULTADOS	
$A_p$ (m <sup>2</sup> )	148,65
$P_d$ (m)	2,64
$A_{env}$ (m <sup>2</sup> )	20,42
Perdas associadas à envolvente exterior (W/°C) (da FCIV1a)	101,37
Perdas associadas à envolvente interior (W/°C) (da FCIV1b)	47,48
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/°C) (da FCIV1c)	47,45
Perdas associadas à renovação de ar (W/°C) (da FCIV1d)	80,06
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	3778,31
$N_{ic}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	40,17
$N_i$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	78,41
Perdas térmicas totais (Verão) (kWh) (da FCV1a)	1466,96
Ganhos solares pela envolvente opaca (Verão) (kWh) (da FCV1c)	155,37
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	358,56
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1740,99
$N_{ic}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	5,94
$N_v$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	26,00
$N_{ac}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	14,17
Contribuição de $E_{solar}$ (kWh/ano)	2425,00
Contribuição de $E_{ren}$ (kWh/ano)	563,00
Rendimento do 1.º sistema de preparação de AQS	0,75
$N_a$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	39,78
Rendimento do 1.º sistema de aquecimento	4,00
Rendimento do 1.º sistema de arrefecimento	3,00
$N_{ic}$ (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	1,57
$N_t$ (kgep/m <sup>2</sup> .ano)	6,31
$N_{ic}/N_t$	( $N_{ic}/N_t = 0,25$ )
Classe Energética	A+

FICHA 1

REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS  
(RCCTE)

Demonstração da Conformidade Regulamentar para Emissão de Licença de Construção

Câmara Municipal de Entroncamento  
Edifício Morada Unifamiliar  
Localização \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Nº de Fracções Autónomas 1 (ou corpos \_\_\_\_\_)

Para cada Fracção Autónoma\* ou corpo, incluir:

- Ficha 2 - Levantamento Dimensional
- Ficha 3 - Comprovação de Satisfação dos Requisitos Mínimos\*\*
- Fichas FCI e FCV (Anexos IV e V do RCCTE)

<b><u>Técnico Responsável:</u></b>	
<b>Nome</b>	<u>Daniel Filipe Mendes Murteira</u>
<b>Inscrito na:</b>	
	<b>Ordem dos Arquitectos, com o nº</b> _____
	<b>Ordem dos Engenheiros, com o nº</b> _____
	<b>Assoc. Nac. dos Eng.ºs Técnicos com o nº</b> _____
<b>Data</b>	<u>08-05-2012</u>

Anexos:

---

\* Se houver duas ou mais fracções autónomas (FA) exactamente iguais, é suficiente elaborar um único conjunto de Fichas para cada grupo de FA iguais.

\*\* Em alternativa, pode ser submetida uma única Ficha 3, comum para todas as Fracções Autónomas de um mesmo edifício, mesmo que haja mais do que uma FA distinta.





## FICHA 2

## REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS

LEVANTAMENTO DIMENSIONAL  
(PARA UMA ÚNICA FRACÇÃO AUTÓNOMA)  
(ou para um corpo de um edifício)EDIFÍCIO / FA: Moradia unifamiliar localizada em Entroncamento

Área Útil de Pavimento	148,65	m <sup>2</sup>	Pé Direito Médio (ponderado):	2,64	m
------------------------	--------	----------------	-------------------------------	------	---

Elementos Correntes da Envolvente		
	A (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)
<b>PAVIMENTOS</b>		
sobre exterior	4,88	0,80
sobre área não-útil	79,42	0,24
	4,69	0,81
Total	88,99	
<b>PAREDES</b>		
Exteriores (total)	82,73	(ver quadro)
Interiores	12,2	0,52
	82,74	0,24
Total	177,69	
<b>COBERTURAS</b>		
terraço	24,82	0,26
desvão		
não-ventilado		
ventilado	61,56	0,26
inclinadas		
sob área não-útil		
Total	86,38	

Elementos em Contacto com o Solo		
	Comp. (m)	ψ (W/m.°C)
<b>PAVIMENTOS</b>		
<b>PAREDES</b>		

Pontes Térmicas		
	Comp. (m)	ψ (W/m.°C)
<b>FACHADA COM PAVIMENTO:</b>		
térreo		
intermédios	7,75	
sobre locais não aquecidos ou exteriores	20,69	
<b>FACHADA COM:</b>		
cobertura	29,94	
varanda	10,89	
caixa	12,55	
peitoril/padieira	68,52	0,20
<b>LIGAÇÃO ENTRE DUAS PAREDES</b>	20,80	0,20

COEFICIENTE DE ABSORÇÃO - α	
PAREDE	COBERTURA
0,4	0

PAREDES (descrição sumária e valor U)	ÁREAS POR ORIENTAÇÃO (m <sup>2</sup> )								TOTAL
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
PE1 - U=0,24 W/m <sup>2</sup> °C	34,00		12,7		33,01		3,02		82,73
<b>VÃOS ENVIDRAÇADOS</b> (especificar incluindo o tipo de protecção solar e valor Sv)									
Vãos envidraçados V2 a V6, V8 a V12, Uwdn=2,30 W/m <sup>2</sup> .°C;	4,73		3,9		10,555				19,185
Vãos envidraçados V1 e V7, Uwdn=2,70 W/m <sup>2</sup> .°C;	1,232								1,232
ENVIDRAÇADOS HORIZONTAIS _____ m <sup>2</sup>									

FICHA 3

REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS (RCCTE)  
DEMONSTRAÇÃO DE SATISFAÇÃO DOS REQUISITOS MÍNIMOS PARA A ENVOLVENTE DE EDIFÍCIOS

Edifício Morada unifamiliar localizada em Entroncamento  
 Fração Autónoma \_\_\_\_\_  
 Inércia térmica Forte

a) U máximo		<u>Valores Máximos Regulamentares:</u>	
Soluções adoptadas		<b>11</b>	
0,24	Fachadas ext.	1,8	W/m <sup>2</sup> .°C
0,26	Coberturas ext.	1,25	W/m <sup>2</sup> .°C
0,80	Pavim. s/ ext.	1,25	W/m <sup>2</sup> .°C
0,24	Paredes interiores	2	W/m <sup>2</sup> .°C
0,24	Pavim. inter.	1,65	W/m <sup>2</sup> .°C
0,26	Cobert. inter.	1,25	W/m <sup>2</sup> .°C
0,44	Pontes Térm.	0,48	W/m <sup>2</sup> .°C

b) Factores Solares dos Envidraçados		<u>Valores Máximos Regulamentares:</u>	
Soluções adoptadas - Verão			
tipo de protecção solar	<u>Persiana exterior g100% = 0,04</u>	0,5	
tipo de protecção solar	<u>Cortina opaca interior g100% = 0,17</u>	0,5	
tipo de protecção solar			

c) Pontes térmicas planas:		<u>Valores Máximos Regulamentares: U</u>	
da Soluções adoptadas			
0,44	W/m <sup>2</sup> .°C	0,48	W/m <sup>2</sup> .°C
0,44	W/m <sup>2</sup> .°C	0,48	W/m <sup>2</sup> .°C
0,47	W/m <sup>2</sup> .°C	0,48	W/m <sup>2</sup> .°C

Juntar pormenores construtivos definidores de todas as situações de potencial ponte térmica:

- caixas de estore (se existirem)
- ligações entre paredes e vigas
- ligações entre paredes e pilares
- ligações entre paredes e lajes de pavimento
- ligações entre paredes e lajes de cobertura
- paredes e pavimentos enterrados
- montagem de caixilharias.

□ Técnico Responsável:

Nome Daniel Filipe Mendes Murteira  
 Data 8 de Maio de 2012  
 Assinatura \_\_\_\_\_

### Introdução de dados

Concelho

Altitude:

	Zona Climática de Inverno	GD (°C.dias)	Duração da Estação de Aquecimento (meses)	Zona Climática de Verão	Norte ou Sul
Dados Climáticos	<b>1</b>	<b>1470</b>	<b>6,00</b>	<b>3</b>	<b>N</b>

Região Sul – toda a área a Sul do rio Tejo e os seguintes concelhos dos distritos de Lisboa e Santarém: Lisboa, Oeiras, Cascais, Amadora, Loures, Odivelas, Vila Franca de Xira, Azambuja, Cartaxo e Santarém



<b>Coberturas exteriores</b>	<b>Area</b> (m <sup>2</sup> )	<b>Massa total</b> (kg/m <sup>2</sup> )	<b>Msi</b>	<b>r</b>	<b>A*Msi*r</b>
Cobertura1 - CobE1 - Terraço (plana)	24,82	412,00	150,00	1,00	3723,00
Cobertura2 - CobE1ptp1 - Terraço (plana)	1,17	736,00	150,00	1,00	175,50
<b>Total</b>					<b>3898,50</b>

**EL1 - Elemento de construção em contacto com outra fracção autónoma ou com espaços não úteis**

<b>Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes</b>	<b>Area</b> (m <sup>2</sup> )	<b>Massa total</b> (kg/m <sup>2</sup> )	<b>Msi</b>	<b>r</b>	<b>A*Msi*r</b>
Par. Int. 1 - PENU1	12,22	180,00	150,00	1,00	1833,00
Par. Int. 2 - PENU2	82,74	140,00	140,00	1,00	11583,04
Par. Int. 3 - PENU1ptp1	1,80	8,00	8,00	1,00	14,40
Par. Int. 4 - PENU2ptp1	7,12	630,00	150,00	1,00	1068,60
<b>Total</b>					<b>14499,04</b>

<b>Pavimentos sobre espaços não-úteis</b>	<b>Area</b> (m <sup>2</sup> )	<b>Massa total</b> (kg/m <sup>2</sup> )	<b>Msi</b>	<b>r</b>	<b>A*Msi*r</b>
Pav. Int. 1 - PavENU1	79,42	485,00	150,00	1,00	11913,00
Pav. Int. 2 - PavENU2	4,69	395,00	150,00	1,00	703,50
Pav. Int. 3 - PavENU1ptp1	4,22	1085,00	150,00	1,00	633,00
<b>Total</b>					<b>13249,50</b>

<b>Coberturas interiores (tectos sob espaços não-úteis)</b>	<b>Area</b> (m <sup>2</sup> )	<b>Massa total</b>	<b>Msi</b>	<b>r</b>	<b>A*Msi*r</b>
Cob. Int. 1 - CobENU1 - Terraço (plana)	61,56	380,00	150,00	1,00	9234,00
Cob. Int. 2 - CobENU1ptp1 - Terraço (plana)	3,46	1000,00	150,00	1,00	519,00
<b>Total</b>					<b>9753,00</b>









<b>Pontes Térmicas lineares</b>	<b>Comp.</b>	<b>ψ</b>	<b>ψ.B</b>
Ligações entre:	(m)	(W/m <sup>2</sup> °C)	(W/°C)
<i>Ligação de fachada com pav. sobre local ã aquec./exterior)</i>	13,48	0,57	7,62
<i>Ligação de fachada com pav. sobre local ã aquec./exterior)</i>	2,94	0,52	1,51
<i>Ligação de fachada com pav. sobre local ã aquec./exterior)</i>	4,27	0,67	2,84
<i>Ligação de fachada compavimentos intermédios</i>	3,33	0,52	1,71
<i>Ligação de fachada compavimentos intermédios</i>	4,42	0,26	1,14
<i>Ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço</i>	5,96	0,68	4,05
<i>Ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço</i>	23,98	0,64	15,35
<i>Ligação de fachada comvaranda</i>	7,74	0,41	3,15
<i>Ligação de fachada comvaranda</i>	3,15	0,82	2,56
<i>Ligação entre duas paredes verticais</i>	20,80	0,20	4,16
<i>Ligação de fachada comcaixa de estore</i>	12,55		
<i>Ligação de fachada compadieira, ombreira ou peitoril</i>	68,52	0,20	13,70
<i>Ligação da fachada com pavimento (porta exterior e vãos envidraçados</i>	8,15	0,50	4,08
		TOTAL	61,88

**Perdas pela envolvente exterior da Fracção Autónoma**

(W/°C)

TOTAL	101,37
-------	--------

Folha de Cálculo FC IV.1b

Perdas associadas à Envolvente Interior

<b>Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes</b>	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	$\tau$ (-)	U.A. $\tau$ (W/°C)
Par. Int. 1 - PENU1	12,22	0,5171	0,3	1,90
Par. Int. 2 - PENU2	82,74	0,237	0,6	11,77
Par. Int. 3 - PENU1ptp1	1,8	2,0683	0,3	1,12
Par. Int. 4 - PENU2ptp1	7,124	0,473	0,6	2,02
<b>TOTAL</b>				<b>16,80</b>

<b>Pavimentos sobre espaços não-úteis</b>	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	$\tau$ (-)	U.A. $\tau$ (W/°C)
Pav. Int 1 - PavENU1	79,42	0,237	0,5	9,41
Pav. Int. 2 - PavENU2	4,69	0,807	0,3	1,14
Pav. Int. 3 - PavENU1ptp1	4,22	0,6785	0,5	1,43
<b>TOTAL</b>				<b>11,98</b>

<b>Coberturas interiores (tectos sob espaços não-úteis)</b>	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	$\tau$ (-)	U.A. $\tau$ (W/°C)
Cob. Int. 1 - CobENU1 - Terraço (plana)	61,56	0,26	1	15,82
Cob. Int. 2 - CobENU1ptp1 - Terraço (plana)	3,46	0,8333	1	2,88
<b>TOTAL</b>				<b>18,70</b>



Pontes térmicas lineares (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com $\tau > 0,7$ )	Comp. (m)	$\Psi$ (W/m°C)	$\tau$ (-)	$\Psi \cdot B \cdot \tau$ (W/m°C)
				TOTAL

**Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma**

(W/°C)

TOTAL	47,48
-------	-------

**Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:**

- Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;
- Edifícios anexos;
- Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;
- Sotãos não-habitados.







Volume	392,44	
	x	
Taxa de Renovação nominal	0,60	
	x	
	0,34	
	=	
TOTAL	80,06	(W/C)





Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m²)		1,94
		x
Radiação Incidente num envidraçado a Sul (G <sub>sul</sub> ) no <input type="text" value="Continente"/>		
na Zona I <input type="text" value="1"/> (kWh/m².mês) - do Quadro 8 (Anexo III)		108
		x
Duração da Estação de Aquecimento (meses)		6,00
		=
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)		1255,61

Ganhos Internos:

	Tipo de Edifício		
Ganhos internos médios (Quadro IV.3)	Residencial	4	(W/m²)
		x	
Duração da Estação de Aquecimento		6	(meses)
		x	
Área Útil de pavimento		148,65	(m²)
		x	
		0,72	
		=	
Ganhos Internos Brutos		2568,67	(kWh/ano)

Ganhos Totais Úteis:

$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$		3824,28
		9750,09
Inércia do edifício: <input type="text" value="Forte"/>	$\gamma =$	0,392
Factor de Utilização dos Ganhos Solares (η)		0,988
		x
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos		3824,28
		=
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)		3778,31

Folha de Cálculo FC IV.1f

Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

**FACTOR DE FORMA**

Das FC IV.1a e 1c: (Áreas)

m<sup>2</sup>

Paredes Exteriores	92,88
Coberturas Exteriores	25,99
Pavimentos Exteriores	4,88
Envidraçados Exteriores	20,42

Da FC IV.1b: (Áreas equivalentes A.  $\tau$ )

Paredes Interiores	58,12
Coberturas Interiores	65,02
Pavimentos Interiores	43,23
Envidraçados Interiores	

Área Total: 310,53

Volume (da FC IV.1d): 392,44

FF 0,79

Graus-Dia no Local (°C.dia) 1470

Ni = 4,5 + 0,0395 GD                      para FF ≤ 0,5  
 Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD      para 0,5 < FF ≤ 1

Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD] (1,2 - 0,2 FF)      para 1 < FF ≤ 1,5  
 Ni = 4,05 + 0,06885 GD                      para FF > 1,5

Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni      (kWh/m<sup>2</sup>.ano) 78,41

## Folha de Cálculo FC IV.2

### Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (da FC IV.1a)	101,37
Envolvente Interior (da FC IV.1b)	47,48
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)	47,45
Renovação de Ar (da FC IV.1d)	80,06
	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	276,36
	x
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1470
	x
	<b>0,024</b>
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	9.750,09
	+
Consumo dos ventiladores (kWh/ano)	
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (da FC IV.1e)	3.778,31
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	5971,78
	/
Área Útil de pavimento (m²)	148,65
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - <b>Nic</b> (kWh/m².ano)	40,17
	<
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - <b>Ni</b> (kWh/m².ano)	78,41

## Folha de Cálculo FCV.1a

### Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	28,29	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	3,91	(W/°C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	7,29	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCIV.1c)	47,45	(W/°C)
		+	
Perdas associadas à renovação de ar	(FCIV.1d)	80,06	(W/°C)
		=	
<b>Perdas específicas totais</b>	(Q1a)	<b>167,00</b>	<b>(W/°C)</b>

Zona climática

V	3	N
---	---	---

Temperatura interior de referência 25 (°C)

-

Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento 22 (°C)  
(Quadro III.9)

=

Diferença de temperatura interior-exterior 3 (°C)

x

*Perdas específicas totais* (Q1a) 167,00 (W/°C)

x

2,928

=

**Perdas térmicas totais** (Q1b) **1466,96** (kWh)



Ganhos Solares pela Envolvente Opaca

POR ORIENTAÇÃO

Orientação	-	-	-	-	-	-
Área, A (m <sup>2</sup> )						
U (W/m <sup>2</sup> °C)	x	x	x	x	x	x
Coefficiente de absorção, α (Quadro V.5)						
α U.A	=	=	=	=	=	=
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m <sup>2</sup> ) (Quadro III.9)	x	x	x	x	x	x
	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	=	=	=	=	=	=
<b>Ganhos solares pela envolvente opaca exterior</b>						

HORIZONTAL

Horiz.	Horiz.	-	-	-	-	-	-
24,82	1,17						
x	x	x	x	x	x	x	x
0,25	0,71						
x	x	x	x	x	x	x	x
=	=	=	=	=	=	=	=
x	x	x	x	x	x	x	x
800	800						
x	x	x	x	x	x	x	x
0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
=	=	=	=	=	=	=	=
							<b>TOTAL</b>
							155,37

(W/°C)

(kWh)

Folha de Cálculo FCV.1d

Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores

Orientação Tipo de Vidro	POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL																				
	N	N	S	S	S	N	N	N	S	S	E	E									
	Duplo	Duplo	Duplo	Duplo	Duplo	Duplo	Duplo	Duplo	Duplo	Duplo	Duplo	Duplo									
Área, A (m <sup>2</sup> )	0,62	1,37	5,00	1,80	1,16	2,00	0,62	1,37	1,80	0,80	1,70	2,20									
Factor solar do vão envidraçado <sup>(1)</sup>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fracção envidraçada, Fg (Quadro IV.5)	0,226	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,226	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133									
Factor de obstrução, Fs <sup>(2)</sup>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor de selectividade do vidro, Fw (Quadro V.3)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,70	0,60	0,60									
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	0,900	0,900	0,900	0,427	0,417	0,900	0,900	0,900	0,840	0,900	0,523	0,880									
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	0,80	0,80	0,75	0,75	0,75	0,80	0,80	0,80	0,75	0,75	0,85	0,85									
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Área efectiva, Ae	0,06	0,08	0,27	0,05	0,03	0,11	0,06	0,08	0,09	0,05	0,06	0,13									
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m <sup>2</sup> ) (Quadro III.9)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	200	200	400	400	400	200	200	200	400	400	450	450									
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
<b>Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores</b>	12,02	15,69	107,73	18,39	11,53	22,98	12,02	15,69	36,20	20,11	27,11	59,09									

Orientação Tipo de Vidro	POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL																				
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Área, A (m <sup>2</sup> )																					
Factor solar do vão envidraçado <sup>(1)</sup>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fracção envidraçada, Fg (Quadro IV.5)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor de obstrução, Fs <sup>(2)</sup>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor de selectividade do vidro, Fw (Quadro V.3)																					
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Área efectiva, Ae																					
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m <sup>2</sup> ) (Quadro III.9)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
<b>Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores</b>																					
																			<b>TOTAL</b>		
																			358,56		

<sup>(1)</sup> Para dispositivos de sombreamento móveis, considera-se a soma de 30% do factor solar do vidro (Tabela IV.4) e 70% do factor solar do envidraçado com a protecção solar móvel actuada (Quadro V.4)

<sup>(2)</sup> Para a estação de arrefecimento o factor de obstrução, Fs, é obtido pelo produto F0.Ff dos Quadros V.1 e V.2 [Fh=1]

(kWh)

Folha de Cálculo FCV.1e

Ganhos Internos

Ganhos internos médios ( $W/m^2$ ) ( <i>Quadro IV.3</i> )	4,00
	x
Área útil de pavimento ( $m^2$ )	148,65
	x
	<b>2,928</b>
	=
<b>Ganhos Internos totais</b>	<b>1740,99</b> (kWh)



Folha de Cálculo FCV.1f

Ganhos Totais na estação de Arrefecimento (Verão)

Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores	(FCV.1d)	358,56	(kWh)
		+	
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	(FCV.1c)	155,37	(kWh)
		+	
Ganhos internos	(FCV.1e)	1740,99	(kWh)
		=	
Ganhos térmicos totais		2254,92	(kWh)

## Folha de Cálculo FCV.1g

### Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento ( $N_{vc}$ )

Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	/	2254,92	(kWh)
Perdas térmicas totais (FCV.1a)	/	1466,96	(kWh)
	=		
<b>Y</b>		1,54	
Inércia do edifício		Forte	
		1	
		-	
Factor de utilização dos ganhos solares, $\eta$		0,61	
		=	
		0,39	
		x	
Ganhos térmicos totais (FCV.1f)		2254,92	(kWh)
		=	
Necessidades brutas de arrefecimento		882,31	(kWh/ano)
		+	
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)		(E <sub>v</sub> =P <sub>v</sub> *24*122/1000	(kWh))
		=	
<b>TOTAL</b>		882,31	(kWh/ano)
		/	
Área útil de pavimento (m <sup>2</sup> )		148,65	
		=	
Necessidades nominais de arrefecimento - $N_{vc}$		5,94	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
		≤	
Necessidades nominais de arref. máximas - $N_v$		26	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)

Cálculo das Necessidades de Energia para Preparação da  
Água Quente Sanitária (Nac)

	<b>40</b>	(litros)
	x	
nº de ocupantes (Quadro VI.1)	<b>5</b>	
	=	
Consumo médio diário de referência de AQS, $M_{AQS}$	<b>200</b>	(litros)
	x	
	<b>4187</b>	
	x	
Aumento de temperatura necessário para preparar as AQS, $\Delta T$	<b>45</b>	(°C)
	x	
Número anual de dias de consumo de AQS, $n_d$ (Quadro VI.2)	<b>365</b>	
	/	
	<b>3600000</b>	
	=	
Energia útil dispendida com sistemas convencionais de preparação de AQS, $Q_a$	<b>3820,64</b>	
	x	
	(	
% das necessidades satisfeita pelo 1.º sistema de preparação de ASQ	<b>1,00</b>	
	/	
Eficiência de conversão do 1.º sistema convencional de preparação de AQS, $ha_1$	<b>0,75</b>	
	)	
	=	
	<b>5094,18</b>	(kWh/ano)
	-	
Contribuição de sistemas de colectores solares para o aquecimento de AQS, Esolar	<b>2425,00</b>	
	-	
Contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis, Eren	<b>563,00</b>	
	=	
	<b>2106,18</b>	
	/	
Área útil de pavimento, $A_p$	<b>148,65</b>	(m <sup>2</sup> )
	=	
Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária, <b>Nac</b>	<b>14,17</b>	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
	≤	
Limite máximo das nec. de Energia para Preparação da AQS, <b>Na</b>	<b>39,78</b>	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)

Cálculo das Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária (Ntc)

	0,1	
	x	
	(	
Nec. Nominais de Aquecimento - <b>Nic</b>	40,17	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
	-	
Contribuição de sistemas de colectores solares para aquecimento ambiente, E <sub>solar</sub>		(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
	/	
Área útil de pavimento, Ap	148,65	
	)	
	x	
% das necessidades satisfeita pelo 1.º sistema de aquecimento	100,00%	(%)
	/	
Eficiência de conversão do 1.º sistema de aquecimento, h <sub>i</sub>	400,00%	(%)
	x	
Factor de conversão F <sub>pu</sub> entre energia útil e energia primária	0,290	(kgep/kWh)
	+	
	0,1	
	x	
Nec. Nominais de Arrefecimento - <b>Nvc</b>	5,94	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
	x	
% das necessidades satisfeita pelo 1.º sistema de arrefecimento	100,00%	(%)
	/	
Eficiência de conversão do 1.º sistema de arrefecimento, h <sub>v</sub>	300,00%	(%)
	x	
Factor de conversão F <sub>pu</sub> entre energia útil e energia primária	0,290	(kgep/kWh)
	+	
Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária, <b>Nac</b>	14,17	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
	x	
	(	
% das necessidades satisfeita pelo 1.º sistema de preparação de AQS	100,00%	
	x	
Factor de conversão F <sub>pu</sub> entre energia útil e energia primária para o 1.º sistema	0,086	(kgep/kWh)
	)	
	=	
Cálculo das Nec. Nominais Anuais Globais de Energia Primária, <b>Ntc</b>	1,57	(kgep/m <sup>2</sup> .ano)
	≤	
Limite máximo das nec. Anuais Globais de Energia Primária, <b>Nt</b>	6,31	(kgep/m <sup>2</sup> .ano)

**Anexo 10: Quadros relativos às medidas de melhoria em  
elementos de envolvente da moradia unifamiliar do caso de  
estudo**

Medidas de Melhoria				
Aumento da Espessura de Isolamento Térmico nas Paredes Exteriores				
Espessura de isolante térmico (m)	Preço do isolante térmico (€/m <sup>2</sup> )	Área de parede exterior (m <sup>2</sup> )	Coefficiente de Transmissão Térmica da Parede Exterior (W/m <sup>2</sup> .°C)	Área útil de pavimento (m <sup>2</sup> )
0,03	3,69	82,73	0,51	148,65
0,04	4,92	82,73	0,45	148,65
0,05	6,15	82,73	0,43	148,65
0,06	7,38	82,73	0,4	148,65
0,07	8,61	82,73	0,36	148,65
0,08	9,84	82,73	0,33	148,65
0,09	11,07	82,73	0,3	148,65
0,10	12,3	82,73	0,29	148,65
0,11	13,53	82,73	0,27	148,65
0,12	14,76	82,73	0,25	148,65
0,13	15,99	82,73	0,24	148,65

Medidas de Melhoria							
Aumento da Espessura de Isolamento Térmico nas Paredes Exteriores							
Indicadores Energéticos							
Nic kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Ni kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Nvc kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Nv kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Nac kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Na kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Ntc kgep(m <sup>2</sup> .a no)	Nt kgep(m <sup>2</sup> .a no)
68,16	78,41	5,25	26	21,27	39,78	6,71	6,31
67,02	78,41	5,29	26	21,27	39,78	6,71	6,31
66,57	78,41	5,3	26	21,27	39,78	6,7	6,31
66,06	78,41	5,32	26	21,27	39,78	6,7	6,31
65,28	78,41	5,35	26	21,27	39,78	6,69	6,31
64,65	78,41	5,37	26	21,27	39,78	6,69	6,31
64,12	78,41	5,39	26	21,27	39,78	6,69	6,31
63,86	78,41	5,4	26	21,27	39,78	6,68	6,31
63,44	78,41	5,42	26	21,27	39,78	6,68	6,31
63,09	78,41	5,43	26	21,27	39,78	6,68	6,31
62,78	78,41	5,44	26	21,27	39,78	6,68	6,31



Medidas de Melhoria					
Aumento da Espessura de Isolamento Térmico nas Paredes Exteriores					
Custo de Exploração (€)	Custo de Investimento Inicial (€)	Custo de investimento inicial diminuído devido à redução da espessura dos panos interiores e/ou exteriores (€)	$\Delta$ Custo de Exploração (€)	$\Delta$ Custo de Investimento Inicial (€)	Período de retorno relativamente à solução de 3 cm (Anos)
829,52	305,27				
823,89	407,03		5,63	101,76	18,1
821,63	508,79		7,89	203,52	25,8
819,13	610,55	438,47	10,39	133,20	12,8
815,30	712,31	540,23	14,22	234,95	16,5
812,18	814,06	641,98	17,34	336,71	19,4
809,57	915,82	743,74	19,95	438,47	22,0
808,30	1017,58	673,42	21,22	368,15	17,3
806,26	1119,34	775,18	23,26	469,91	20,2
804,52	1221,09	876,94	25,00	571,66	22,9
802,98	1322,85	978,70	26,54	673,42	25,4



Medidas de Melhoria				
Aumento da Espessura de Isolamento Térmico nas Paredes Exteriores				
Solução ideal para um periodo de 10 anos (menor custo)	Solução ideal para um periodo de 20 anos (menor custo)	Solução ideal para um periodo de 30 anos (menor custo)	Solução ideal para um periodo de 40 anos (menor custo)	Solução ideal para um periodo de 50 anos (menor custo)
8600	16896	25191	33486	41781
8646	16885	25124	33363	41602
8725	16941	25158	33374	41591
8630	16821	25012	33204	41395
8693	16846	24999	33152	41305
8764	16886	25007	33129	41251
8839	16935	25031	33127	41222
8756	16839	24922	33005	41088
8838	16900	24963	33026	41088
8922	16967	25012	33058	41103
9009	17038	25068	33098	41128

Medidas de Melhoria				
Aumento da Espessura de Isolamento Térmico nas Paredes Interiores em Contacto com Espaços não Úteis				
Espessura de isolante térmico (m)	Preço do isolante térmico (€/m <sup>2</sup> )	Área de parede interior (m <sup>2</sup> )	Coefficiente de Transmissão Térmica da Parede Interior (W/m <sup>2</sup> .°C)	Área Útil de pavimento (m <sup>2</sup> )
0,03	3,69	82,74	0,49	148,65
0,04	4,92	82,74	0,44	148,65
0,05	6,15	82,74	0,41	148,65
0,06	7,38	82,74	0,36	148,65
0,07	8,61	82,74	0,33	148,65
0,08	9,84	82,74	0,31	148,65
0,09	11,07	82,74	0,3	148,65
0,10	12,3	82,74	0,27	148,65
0,11	13,53	82,74	0,25	148,65
0,12	14,76	82,74	0,24	148,65

Medidas de Melhoria							
Aumento da Espessura de Isolamento Térmico nas Paredes Interiores em Contacto com Espaços não Úteis							
Indicadores Energéticos							
Nic kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Ni kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Nvc kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Nv kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Nac kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Na kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Ntc kgep(m <sup>2</sup> .a no)	Nt kgep(m <sup>2</sup> .a no)
47,89	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,57	6,31
47,28	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,57	6,31
47,02	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,57	6,31
46,45	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,56	6,31
46,09	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,56	6,31
45,79	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,56	6,31
45,66	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,56	6,31
45,36	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,55	6,31
45,16	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,55	6,31
44,98	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,55	6,31



Medidas de Melhoria					
Aumento da Espessura de Isolamento Térmico nas Paredes Interiores em Contacto com Espaços não Úteis					
Custo de Exploração (€)	Custo de Investimento Inicial (€)	Custo de investimento inicial diminuído devido à redução da espessura dos panos interiores e/ou exteriores (€)	$\Delta$ Custo de Exploração (€)	$\Delta$ Custo de Investimento Inicial (€)	Período de retorno relativamente à solução de 3 cm (Anos)
728,66	305,31				
725,50	407,08		3,16	101,77	32,2
724,16	508,85		4,50	203,54	45,2
721,21	610,62	438,52	7,45	133,21	17,9
719,34	712,39	540,29	9,32	234,98	25,2
717,79	814,16	642,06	10,87	336,75	31,0
717,12	915,93	743,83	11,54	438,52	38,0
715,56	1017,70	673,50	13,10	368,19	28,1
714,53	1119,47	775,27	14,13	469,96	33,3
713,60	1221,24	877,04	15,06	571,73	38,0

Medidas de Melhoria				
Aumento da Espessura de Isolamento Térmico nas Paredes Interiores em Contacto com Espaços não Úteis				
Solução ideal para um periodo de 10 anos (menor custo)	Solução ideal para um periodo de 20 anos (menor custo)	Solução ideal para um periodo de 30 anos (menor custo)	Solução ideal para um periodo de 40 anos (menor custo)	Solução ideal para um periodo de 50 anos (menor custo)
7592	14879	22165	29452	36738
7662	14917	22172	29427	36682
7750	14992	22234	29475	36717
7651	14863	22075	29287	36499
7734	14927	22121	29314	36507
7820	14998	22176	29354	36532
7915	15086	22257	29428	36600
7829	14985	22140	29296	36452
7921	15066	22211	29356	36502
8013	15149	22285	29421	36557

Medidas de Melhoria				
Aumento da Espessura de Isolamento Térmico na Cobertura Exterior				
Espessura de isolante térmico (m)	Preço do isolante térmico (€/m <sup>2</sup> )	Área de cobertura exterior (m <sup>2</sup> )	Coefficiente de Transmissão Térmica da Cobertura Exterior (W/m <sup>2</sup> .°C)	Área Útil de pavimento (m <sup>2</sup> )
0,03	3,83	24,82	0,66	148,65
0,04	5,1	24,82	0,56	148,65
0,05	6,38	24,82	0,49	148,65
0,06	7,65	24,82	0,43	148,65
0,07	8,93	24,82	0,39	148,65
0,08	10,2	24,82	0,35	148,65
0,09	11,48	24,82	0,32	148,65
0,10	12,76	24,82	0,29	148,65
0,11	14,03	24,82	0,27	148,65
0,12	15,3	24,82	0,26	148,65

Medidas de Melhoria							
Aumento da Espessura de Isolamento Térmico na Cobertura Exterior							
Indicadores Energéticos							
Nic kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Ni kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Nvc kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Nv kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Nac kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Na kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Ntc kgep(m <sup>2</sup> .a no)	Nt kgep(m <sup>2</sup> .a no)
62,27	78,41	5,46	26	21,27	39,78	6,67	6,31
61,69	78,41	5,55	26	21,27	39,78	6,67	6,31
61,26	78,41	5,62	26	21,27	39,78	6,67	6,31
60,93	78,41	5,68	26	21,27	39,78	6,67	6,31
60,67	78,41	5,72	26	21,27	39,78	6,66	6,31
60,46	78,41	5,75	26	21,27	39,78	6,66	6,31
60,28	78,41	5,78	26	21,27	39,78	6,66	6,31
60,13	78,41	5,81	26	21,27	39,78	6,66	6,31
60,01	78,41	5,83	26	21,27	39,78	6,66	6,31
59,92	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,66	6,31



Medidas de Melhoria				
Aumento da Espessura de Isolamento Térmico na Cobertura Exterior				
Custo de Exploração (€)	Custo de Investimento Inicial (€)	$\Delta$ Custo de Exploração (€)	$\Delta$ Custo de Investimento Inicial (€)	Período de retorno relativamente à solução de 3 cm (Anos)
800,48	95,06			
798,10	126,58	2,38	31,52	13,2
796,35	158,35	4,12	63,29	15,3
795,06	189,87	5,42	94,81	17,5
793,99	221,64	6,49	126,58	19,5
793,11	253,16	7,37	158,10	21,5
792,39	284,93	8,09	189,87	23,5
791,82	316,70	8,66	221,64	25,6
791,33	348,22	9,15	253,16	27,7
790,94	379,75	9,54	284,69	29,8



Medidas de Melhoria				
Aumento da Espessura de Isolamento Térmico na Cobertura Exterior				
Solução ideal para um período de 10 anos (menor custo)	Solução ideal para um período de 20 anos (menor custo)	Solução ideal para um período de 30 anos (menor custo)	Solução ideal para um período de 40 anos (menor custo)	Solução ideal para um período de 50 anos (menor custo)
8100	16105	24109	32114	40119
8108	16089	24070	32050	40031
8122	16085	24049	32013	39976
8140	16091	24042	31992	39943
8162	16101	24041	31981	39921
8184	16115	24046	31978	39909
8209	16133	24057	31980	39904
8235	16153	24071	31989	39908
8262	16175	24088	32002	39915
8289	16198	24108	32017	39927

Medidas de Melhoria				
Aumento da Espessura de Isolamento Térmico no Pavimento Interior Sobre a Cave				
Espessura de isolante térmico (m)	Preço do isolante térmico (€/m <sup>2</sup> )	Área de Pavimento Interior (m <sup>2</sup> )	Coefficiente de Transmissão Térmica do Pavimento Interior (W/m <sup>2</sup> .°C)	Área Útil de pavimento (m <sup>2</sup> )
0,03	3,83	79,42	0,63	148,65
0,04	5,1	79,42	0,54	148,65
0,05	6,38	79,42	0,47	148,65
0,06	7,65	79,42	0,42	148,65
0,07	8,93	79,42	0,38	148,65
0,08	10,2	79,42	0,34	148,65
0,09	11,48	79,42	0,31	148,65
0,10	12,76	79,42	0,29	148,65
0,11	14,03	79,42	0,27	148,65
0,12	15,3	79,42	0,25	148,65
0,13	16,58	79,42	0,24	148,65

Medidas de Melhoria							
Aumento da Espessura de Isolamento Térmico no Pavimento Interior Sobre a Cave							
Indicadores Energéticos							
Nic kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Ni kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Nvc kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Nv kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Nac kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Na kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Ntc kgep(m <sup>2</sup> .a no)	Nt kgep(m <sup>2</sup> .a no)
59,92	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,66	6,31
59,06	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,65	6,31
58,45	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,65	6,31
57,95	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,65	6,31
57,54	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,64	6,31
57,23	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,64	6,31
56,96	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,64	6,31
56,74	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,64	6,31
56,55	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,64	6,31
56,39	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,63	6,31
56,25	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,63	6,31



Medidas de Melhoria				
Aumento da Espessura de Isolamento Térmico no Pavimento Interior Sobre a Cave				
Custo de Exploração (€)	Custo de Investimento Inicial (€)	$\Delta$ Custo de Exploração (€)	$\Delta$ Custo de Investimento Inicial (€)	Período de retorno relativamente à solução de 3 cm (Anos)
790,94	304,18			
786,48	405,04	4,45	100,86	22,7
783,33	506,70	7,61	202,52	26,6
780,74	607,56	10,20	303,38	29,7
778,62	709,22	12,32	405,04	32,9
777,01	810,08	13,93	505,91	36,3
775,61	911,74	15,32	607,56	39,7
774,47	1013,40	16,46	709,22	43,1
773,49	1114,26	17,45	810,08	46,4
772,66	1215,13	18,27	910,95	49,8
771,94	1316,78	19,00	1012,61	53,3

Medidas de Melhoria				
Aumento da Espessura de Isolamento Térmico no Pavimento Interior Sobre a Cave				
Solução ideal para um período de 10 anos (menor custo)	Solução ideal para um período de 20 anos (menor custo)	Solução ideal para um período de 30 anos (menor custo)	Solução ideal para um período de 40 anos (menor custo)	Solução ideal para um período de 50 anos (menor custo)
8214	16123	24032	31942	39851
8270	16135	24000	31864	39729
8340	16173	24006	31840	39673
8415	16222	24030	31837	39644
8495	16282	24068	31854	39640
8580	16350	24120	31891	39661
8668	16424	24180	31936	39692
8758	16503	24248	31992	39737
8849	16584	24319	32054	39789
8942	16668	24395	32122	39848
9036	16756	24475	32194	39914

Medidas de Melhoria				
Aumento da Espessura de Isolamento Térmico na Cobertura Interior Sob o Desvão de Cobertura				
Espessura de isolante térmico (m)	Preço do isolante térmico (€/m <sup>2</sup> )	Área de Cobertura Interior (m <sup>2</sup> )	Coefficiente de Transmissão Térmica da Cobertura Interior (W/m <sup>2</sup> .°C)	Área Útil de pavimento (m <sup>2</sup> )
0,03	3,83	61,56	0,84	148,65
0,04	5,1	61,56	0,68	148,65
0,05	6,38	61,56	0,58	148,65
0,06	7,65	61,56	0,5	148,65
0,07	8,93	61,56	0,44	148,65
0,08	10,2	61,56	0,39	148,65
0,09	11,48	61,56	0,36	148,65
0,10	12,76	61,56	0,32	148,65
0,11	14,03	61,56	0,3	148,65
0,12	15,3	61,56	0,28	148,65
0,13	16,58	61,56	0,26	148,65

Medidas de Melhoria							
Aumento da Espessura de Isolamento Térmico na Cobertura Interior Sob o Desvão de Cobertura							
Indicadores Energéticos							
Nic kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Ni kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Nvc kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Nv kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Nac kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Na kWh(m <sup>2</sup> .a no)	Ntc kgep(m <sup>2</sup> .a no)	Nt kgep(m <sup>2</sup> .a no)
56,25	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,63	6,31
54,01	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,62	6,31
52,49	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,61	6,31
51,37	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,6	6,31
50,52	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,59	6,31
49,84	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,59	6,31
49,3	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,58	6,31
48,85	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,58	6,31
48,48	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,58	6,31
48,17	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,57	6,31
47,89	78,41	5,84	26	21,27	39,78	6,57	6,31



Medidas de Melhoria				
Aumento da Espessura de Isolamento Térmico na Cobertura Interior Sob o Desvão de Cobertura				
Custo de Exploração (€)	Custo de Investimento Inicial (€)	$\Delta$ Custo de Exploração (€)	$\Delta$ Custo de Investimento Inicial (€)	Período de retorno relativamente à solução de 3 cm (Anos)
771,94	235,77			
760,34	313,96	11,60	78,18	6,7
752,47	392,75	19,46	156,98	8,1
746,68	470,93	25,26	235,16	9,3
742,27	549,73	29,66	313,96	10,6
738,75	627,91	33,18	392,14	11,8
735,96	706,71	35,98	470,93	13,1
733,63	785,51	38,31	549,73	14,4
731,71	863,69	40,22	627,91	15,6
730,11	941,87	41,83	706,09	16,9
728,66	1020,66	43,28	784,89	18,1



Medidas de Melhoria				
Aumento da Espessura de Isolamento Térmico na Cobertura Interior Sob o Desvão de Cobertura				
Solução ideal para um período de 10 anos (menor custo)	Solução ideal para um período de 20 anos (menor custo)	Solução ideal para um período de 30 anos (menor custo)	Solução ideal para um período de 40 anos (menor custo)	Solução ideal para um período de 50 anos (menor custo)
7955	15675	23394	31113	38833
7917,37	15521	23124	30728	38331
7917,48	15442	22967	30492	38016
7938	15404	22871	30338	37805
7972	15395	22818	30241	37663
8015	15403	22791	30178	37566
8066	15426	22785	30145	37505
8122	15458	22794	30131	37467
8181	15498	22815	30132	37449
8243	15544	22845	30146	37447
8307	15594	22880	30167	37454