



ISEL

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Mecânica**



## **Contribuição do Isolamento Térmico para o aumento da Eficiência Energética em Edifícios**

**MARIA DO ROSÁRIO FIRMINO DE ALMEIDA ROMÃO**  
(Licenciada em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Mecânica

Orientador (es):

Professor Especialista Francisco M. Gonçalves dos Santos  
Professor Especialista António M. Matos Guerra  
Doutor Vasco Carvalho Dias

Júri:

Presidente: Professor Doutor Rui Pedro Chedas Sampaio  
Vogais:  
Engenheiro Vasco Jorge de Faria dos Santos Pereira  
Professor Especialista Francisco M. Gonçalves dos Santos

**Janeiro de 2015**





ISEL

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Área Departamental de Engenharia Mecânica**

## **Contribuição do Isolamento Térmico para o aumento da Eficiência Energética em Edifícios**

**MARIA DO ROSÁRIO FIRMINO DE ALMEIDA ROMÃO**  
(Licenciada em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Mecânica

Orientador (es):

Professor Especialista Francisco M. Gonçalves dos Santos  
Professor Especialista António M. Matos Guerra  
Doutor Vasco Carvalho Dias

Júri:

Presidente: Professor Doutor Rui Pedro Chedas Sampaio  
Vogais:  
Engenheiro Vasco Jorge de Faria dos Santos Pereira  
Professor Especialista Francisco M. Gonçalves dos Santos

**Janeiro de 2015**



## **Dedicatória**

Dedico este mestrado aos meus filhos João e Pedro que são parte mim, mas não me pertencem!

Devemos colocar uma parte de nós em tudo aquilo que fazemos, só assim atingimos o reconhecimento e a auto realização necessárias para chegar aos dois últimos degraus da pirâmide de *Maslow*.



## Agradecimentos

Este Trabalho Final de Mestrado representa a concretização de um desafio pessoal. Conciliar a vida profissional e pessoal com o regresso ao mundo académico como aluna, foi um desafio que nem sempre foi fácil. Esta dificuldade foi amplamente compensada pelo reconhecimento e alegria que senti com os meus colegas, sem os quais não teria sido possível levar a cabo esta tarefa.

Quero agradecer aos meus orientadores, o Professor Gonçalves dos Santos e o Professor António Matos Guerra, por terem aceitado ser meus orientadores, por me motivarem e pela disponibilidade que tiveram em me esclarecer e orientar.

Agradeço ao meu amigo e também orientador Doutor Vasco Dias, que me recebeu na sua empresa e permitiu a conciliação dos estudos com o meu trabalho na *Kenotécil*.

Agradeço também ao Engenheiro Vasco Pereira da Empresa *Weber Saint-Gobain* e ao Engenheiro João Esperança da empresa *Tecnovite*, os quais me facilitaram informação que foi fundamental para este trabalho.

Agradeço a todos os meus amigos que tiveram muita paciência com a minha impaciência e que sempre me motivam e acreditam em mim.

Ao meu colega Rui Silva, um grande obrigado pela disponibilidade que sempre teve para me dar apoio.

Por fim, um agradecimento especial ao meu marido e aos meus filhos pelo apoio, carinho e força, factores essenciais para a realização deste mestrado.



## Resumo

Com o objectivo de analisar a contribuição do isolamento térmico para o aumento da eficiência energética em edifícios, realizei na empresa *Kenotécil* um estágio, onde tive a oportunidade de acompanhar a execução do sistema de isolamento térmico pelo exterior (ETICS-EPS) numa moradia localizada no concelho de Loures, denominada neste trabalho de “caso de estudo”.

Para poder evidenciar a influência dos vários tipos de isolamento no aumento da eficiência energética nos edifícios, foram analisados os materiais isolantes mais utilizados na área da construção civil e os sistemas de isolamento térmico pelo exterior. Por fim, foram realizadas cinco simulações com cinco soluções construtivas para as paredes da envolvente exterior (isolamento na caixa-de-ar, isolamento pelo exterior com EPS, XPS, ICB e MW), com o objectivo de encontrar a solução com o melhor desempenho energético. Apesar de todas as simulações terem obtido “A” na classe energética, a solução que obteve o melhor desempenho energético foi a solução com o isolamento XPS.

Economicamente a solução ETICS-EPS é a única solução vantajosa, na medida em que o custo do investimento é menor do que a solução base (isolamento na caixa-de-ar.). Todas as outras simulações com sistemas ETICS apresentam períodos de retorno superiores aos períodos de vida útil dos equipamentos, não sendo por isso compensadoras.

Comparando a solução base com as soluções ETICS, obtém-se uma redução de 10% nas necessidades energéticas de aquecimento. Nas necessidades globais de energia primária e nas emissões de CO<sub>2</sub> a redução observada é de 4%.

**Palavras-chave:** Eficiência energética, materiais isolantes, ETICS



## Abstract

In order to analyse the contribution of thermal insulation for increased energy efficiency in buildings, I performed a stage in *Kenotécil* company where I had the opportunity to monitor the implementation of the external thermal insulation (ETICS-EPS) in a house located in municipality of Loures, for the purpose of this work, designated by "case study" .

In order to demonstrate the influence of various types of insulation in energy improvement efficiency in buildings, the most common used insulating materials in buildings by the exterior and systems for thermal insulation were analysed. Finally, five simulations were performed with five constructive solutions in the walls of the outer casing (distributed in the insulating air-box, external thermal insulation EPS , XPS , and ICB MW ) with the aim of finding a better performing energy solution . Although all simulations obtained an "A" energy class, the best obtained energy performance solution was the XPS insulation.

In economic terms, the ETICS - EPS solution is the only one that brings an advantage because is cheaper than the base-solution. All other simulations with ETICS system have return periods longer than the useful life of the equipment, and therefore they do not compensate.

Comparing the base solution with the ETICS solutions, a 10% reduction in heating energy needs is obtained. In global primary energy needs and emissions of CO<sub>2</sub> the observed reduction is 4 %.

**Keywords:** Energy efficiency, insulating materials, ETICS



## Siglas e Acrónimos

A	Área
ADENE	Agência para a Energia
AQS	Águas Quentes Sanitárias
CE	Conformidade Europeia
CFC	Clorofluorcarboneto
ENU	Espaço Não Útil
EPS	<i>Expanded PolyStyrene</i> (Esferovite)
ETICS	<i>External Thermal Insulation Composite Systems</i> (Isolamento Térmico pelo Exterior)
F.A.	Fracção Autónoma
GD	Graus Dia
HCFC	Hidroclorofluorcarboneto
ICB	<i>Insulation Cork Board</i> (Aglomerado Negro de Cortiça Expandida)
It	Inércia Térmica
Kenotécil	Empresa especializada na aplicação de sistemas ETICS
kgep	Quilograma Equivalente de Petróleo
NUTS	Nomenclatura da Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
MW	<i>Mineral wool</i> (Lã de Rocha)
Pav. Int.	Pavimento Interior
Pd	Pé direito
PE	Parede Exterior
PENU	Parede Interior de Separação se Espaços não Úteis
PI	Parede de Compartimentação Interior
PNAEE	Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética
PTL	Ponte Térmica Linear
PTP	Ponte Térmica Plana
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
Rph	Renovações Por Hora
RPE	Revestimentos Plásticos Espessos

SCE	Sistema de Certificação Energética
SST	Sistema Solar Térmico
tep	Tonelada Equivalente de Petróleo
U	Coeficiente de Transmissão Térmica [W/m <sup>2</sup> °C]
UE	União Europeia
V	Volume
z	Valor médio da profundidade enterrada ao longo do perímetro exposto, [m]
$\psi$	Coeficiente de transmissão térmica linear, [W/m°C]
$\lambda$	Condutibilidade térmica, [W/m°C]

# Índice

1	Introdução .....	1
1.1	Enquadramento .....	1
1.2	A nova certificação energética .....	2
1.3	Conceitos e definições .....	3
1.3.1	Energia Primária .....	3
1.3.2	Energia Final .....	3
1.3.3	Energia Útil .....	3
1.3.4	Necessidades Nominais de Energia Primária, Ntc .....	4
1.3.5	Coeficiente de Transmissão Térmica de um Elemento da Envolvente – U (W/m <sup>2</sup> .°C).....	4
1.3.6	Condutibilidade Térmica – $\lambda$ [ (W/(m.K)] ou [W/(m.°C))] .....	4
1.3.7	Coeficiente de Transmissão Térmica Linear – $\psi$ (W/m°C).....	4
1.4	Objectivos .....	5
1.5	Estrutura do trabalho .....	5
2	Enquadramento energético.....	7
2.1	Estratégia energética para a Europa .....	7
2.2	O consumo de energia nos edifícios.....	8
2.3	Regulamentação térmica.....	11
2.3.1	Enquadramento regulamentar.....	11
2.3.2	Objectivos da regulamentação.....	13
2.3.3	Classificação energética dos edifícios .....	13
3	Materiais Isolantes Térmicos .....	15
3.1	Tipos de Materiais Isolantes .....	16
3.1.1	EPS - Poliestireno Expandido .....	16
3.1.2	XPS - Poliestireno Extrudido .....	17
3.1.3	ICB - Aglomerado Negro de Cortiça Expandida.....	17

3.1.4	MW - Lã de Rocha .....	18
3.2	Origem .....	19
3.2.1	EPS - Poliestireno Expandido .....	19
3.2.2	XPS - Poliestireno Extrudido .....	20
3.2.3	ICB - Aglomerado Negro de Cortiça Expandida.....	20
3.2.4	MW - Lã de Rocha .....	20
3.3	Processo Produtivo .....	20
3.3.1	EPS - Poliestireno Expandido .....	20
3.3.2	XPS - Poliestireno Extrudido .....	22
3.3.3	ICB - Aglomerado Negro de Cortiça Expandida.....	22
3.3.4	MW - Lã de Rocha .....	23
3.4	Aplicação e Durabilidade .....	23
3.4.1	EPS - Poliestireno Expandido .....	23
3.4.2	XPS - Poliestireno Extrudido .....	24
3.4.3	ICB - Aglomerado Negro de Cortiça Expandida.....	25
3.4.4	Lã de Rocha .....	25
3.5	Impactes Associados.....	25
3.5.1	EPS - Poliestireno Expandido .....	25
3.5.2	XPS - Poliestireno Extrudido .....	26
3.5.3	ICB - Aglomerado Negro de Cortiça Expandida.....	26
3.5.4	MW - Lã de Rocha .....	26
3.6	Valorização /Eliminação do Resíduo .....	27
3.6.1	EPS - Poliestireno Expandido .....	27
3.6.2	XPS - Poliestireno Extrudido .....	27
3.6.3	ICB - Aglomerado Negro de Cortiça Expandida.....	27
3.6.4	Lã de Rocha .....	28
3.7	Características Técnicas/Propriedades .....	28
3.7.1	EPS - Poliestireno Expandido .....	31
3.7.2	XPS - Poliestireno Extrudido .....	32
3.7.3	ICB - Aglomerado Negro de Cortiça Expandida.....	33
3.7.4	MW - Lã de Rocha .....	34

4	Sistema Compósito de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS) .....	36
4.1	Descrição geral .....	36
4.2	Vantagens de utilização do sistema .....	38
4.3	Tipos de Sistemas .....	40
4.3.1	Descrição dos sistemas ETICS .....	40
4.3.2	Principais Componentes do sistema .....	41
4.3.3	Campos de aplicação .....	42
4.4	Execução do Sistema .....	43
4.4.1	Preparação do Suporte .....	43
4.4.2	Montagem das placas de isolante térmico .....	44
4.4.3	Fixação mecânica das placas de isolante térmico .....	46
4.4.4	Tratamento de pontos singulares .....	47
4.4.5	Aplicação da camada de base .....	48
4.4.6	Aplicação do acabamento final .....	49
4.4.7	Aplicação de revestimento cerâmico .....	50
4.5	Condições gerais de aplicação do sistema .....	51
4.6	Seleccção da espessura do material de isolamento .....	53
4.7	Guia de seleccção de sistemas .....	55
5	Análise do Caso de Estudo .....	56
5.1	Descrição Geral do Caso de Estudo .....	57
5.2	Zonamento Climático .....	58
5.3	Delimitação da fracção autónoma .....	59
5.3.1	Determinação dos Espaços Não Úteis .....	59
5.3.1.1	Localização dos Espaços Não Úteis .....	61
5.3.2	Delimitação das envolventes .....	63
5.3.2.1	Requisitos dos Pavimentos .....	65
5.3.2.2	Requisitos das Coberturas .....	66
5.4	Descrição e caracterização das propriedades térmicas dos elementos da envolvente opaca .....	67

5.4.1	Paredes.....	67
5.4.1.1	Paredes Exteriores (PE) .....	67
5.4.1.2	Pilares (PTP) .....	72
5.4.1.3	Paredes interiores de separação de Espaços não Úteis (PENU) .....	72
5.4.1.4	Paredes de Compartimentação Interior das Fracções Autónomas (PI) .....	74
5.4.2	Caixa de Estore .....	74
5.4.3	Pavimentos .....	74
5.4.3.1	Pavimento sobre o Espaço Não Útil .....	74
5.4.3.2	Pavimento Térreo .....	75
5.4.3.3	Pavimento Interior à Fracção Autónoma (Pav Int F.A.) .....	76
5.4.4	Coberturas.....	78
5.4.4.1	Cobertura em varanda e terraço .....	78
5.4.4.2	Cobertura Invertida .....	79
5.4.5	Portas .....	81
5.4.6	Cálculo da Inércia Térmica.....	81
5.4.7	Descrição e caracterização dos Vãos Envidraçados .....	83
5.4.8	Pontes Térmicas.....	83
5.4.8.1	Pontes Térmicas Planas (PTP).....	83
5.4.8.2	Pontes Térmicas Lineares (PTL) .....	84
5.5	Definição do Sistema de Climatização .....	89
5.6	Definição do Sistema Ventilação .....	90
5.7	Definição do Sistema de AQS .....	91
5.8	Necessidades Nominais de Energia Primária, Ntc .....	93
5.9	Determinação da Classe Energética .....	95
5.10	Emissões de CO <sub>2</sub> .....	95
<b>6</b>	<b>Benefícios Económicos e Ambientais .....</b>	<b>98</b>
6.1	Comparação dos Sistemas .....	98
6.1.1	Custos Associados às Soluções Construtivas .....	98
6.1.1.1	Solução Base.....	98
6.1.1.2	Soluções ETICS .....	99
6.1.2	Custos anuais Globais de Energia útil .....	101

6.1.2.1	Solução Base.....	101
6.1.2.2	Soluções com ETICS.....	102
6.1.3	Redução Anual da Factura Energética.....	102
6.1.4	Emissões de CO2.....	103
6.1.5	Resumo das Comparações.....	103
6.2	Rentabilidade Económica.....	104
7	Conclusões.....	107
8	Referências Bibliográficas.....	111
	Anexo A – Fotografias do Caso de Estudo.....	113
	Anexo B – Fichas de Desempenho Energético.....	115



# Índice de Figuras

Figura 2.1.- Distribuição do consumo de energia no alojamento, por tipo de uso e fonte de energia (2010) .....	9
Figura 2.2 -Distribuição do consumo de energia no alojamento, por tipo de uso (2010) .....	10
Figura 2.3 - Classificação energética dos edifícios.....	14
Figura 3.1 - Poliestireno Expandido .....	16
Figura 3.2 - Placas de Poliestireno Extrudido .....	17
Figura 3.3 - Placas de Aglomerado Negro de Cortiça .....	18
Figura 3.4 - Placas de Lã de Rocha .....	19
Figura 4.1 - Sistema ETICS.....	37
Figura 4.2- Sistema ETICS - Placa Isolante EPS – Fonte – Adaptado [10] .....	41
Figura 4.3 - Sistema ETICS - Placa Isolante XPS – Fonte – Adaptado [11].....	41
Figura 4.4 - Sistema ETICS - Placa Isolante ICB – Fonte – Adaptado [12] .....	42
Figura 4.5 - Sistema ETICS - Placa Isolante Lã de Rocha – Fonte – Adaptado [13] .....	42
Figura 4.6 – Montagem das Placas de Isolamento – Fonte – Adaptado [9] .....	45
Figura 4.7 - Fixação Mecânica - Fonte - Adaptado [9] .....	47
Figura 4.8 - Tratamento de pontos Singulares - Fonte - Adaptado [9] .....	48
Figura 4.9 – Aplicação de camada de argamassa - Fonte [10] .....	49
Figura 4.10 – Acabamento Final – Fonte [10].....	50
Figura 4.11- Zonas Climáticas de Portugal Continental - Fonte - Adaptada [22] .....	53
Figura 5.1 - Altitude do Caso de Estudo .....	58
Figura 5.2 - Zonamento climático do Caso de Estudo.....	59
Figura 5.3 - Planta do Piso 0 – Espaços não Úteis (ENU).....	62
Figura 5.4 - Planta do Piso 1 – Espaços não Úteis (ENU).....	62
Figura 5.5 - Planta do Piso 0 - Envoltente .....	63
Figura 5.6 - Planta do Piso 1 - Envoltente .....	63
Figura 5.7 - Corte Longitudinal - Envoltente .....	64
Figura 5.8 - Alçado Transversal - Envoltente.....	64

Figura 5.9 - Requisitos do Pavimento - Piso 0 .....	65
Figura 5.10 - Requisitos do Pavimento - Piso 1 .....	65
Figura 5.11 - Requisitos da Cobertura- Piso 0.....	66
Figura 5.12 - Requisitos da Cobertura.....	66
Figura 5.13 - Pormenor Construtivo - PE com isolamento na caixa-de-ar .....	67
Figura 5.14 - Pormenor Construtivo - PE com isolamento pelo Exterior - EPS.....	68
Figura 5.15 - Pormenor Construtivo - PE com isolamento pelo Exterior - XPS .....	69
Figura 5.16 - Pormenor Construtivo - PE com isolamento pelo Exterior – ICB .....	70
Figura 5.17 - Pormenor Construtivo - PE com isolamento pelo Exterior – Lã de Rocha.....	71
Figura 5.18 – PTL – Fachada com Pavimento Térreo.....	86
Figura 5.19 – PTL – Fachada com Pavimento sobre o Exterior ou ENU.....	86
Figura 5.20 - PTL – Fachada com Pavimento Intermédio.....	87
Figura 5.21- PTL – Fachada com Varanda.....	87
Figura 5.22 – PTL - Fachada com cobertura .....	88
Figura 5.23 - PTL – Duas paredes verticais em ângulo saliente.....	88
Figura 5.24 – Fachada com caixilharia.....	89
Figura 5.25 – Esquema do sistema térmico - <i>Solterm</i> .....	91
Figura 5.26 - Desempenho do sistema térmico - <i>Solterm</i> .....	92

## Índice de Imagens

Imagem 5.1- Mapa geral da Quinta do Aqueduto .....	56
Imagem 5.2 - Efeito de Estufa [30] .....	96
Imagem Anexo A.1- Suporte de Alvenaria .....	113
Imagem Anexo A. 2 – Aplicação do EPS e Buchas .....	113
Imagem Anexo A. 3 – Barramento Armado com Tela de Vidro.....	114
Imagem Anexo A.4 – Revestimento Final .....	114
Imagem Anexo B.1- Ficha de Desempenho Energético - Solução Base	115
Imagem Anexo B. 2 - Ficha de Desempenho Energético - Solução ETICS-EPS.....	116
Imagem Anexo B. 3 - Ficha de Desempenho Energético - Solução ETICS-XPS .....	117
Imagem Anexo B. 4- Ficha de Desempenho Energético - Solução ETICS-ICB.....	118
Imagem Anexo B. 5 - Ficha de Desempenho Energético - Solução ETICS-MW .....	119



## Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Características Técnicas do EPS 100 de acordo com EN 13163: 2012- Anexo ZA [20] .....	32
Tabela 3.2- Características Técnicas - XPS [19] .....	33
Tabela 3.3 - Características Técnicas do Aglomerado Negro de Cortiça Expandida [18].....	34
Tabela 3.4 - Características Técnicas - Lã de Rocha -PN 100- Fonte: Adaptado [21] .....	35
Tabela 4.1 -Zoneamento climático do País - Fonte - Adaptado [22] .....	54
Tabela 4.2 – Guia de selecção dos sistemas – Fonte – Adaptada [9] .....	55
Tabela 5.1 - Áreas da fracção .....	58
Tabela 5.2 - Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis, <i>btr</i> , Fonte [22] .....	60
Tabela 5.3 - Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis, <i>btr</i> , para o caso de estudo .....	61
Tabela 5.4 - Classes da Inércia Térmica Interior – Fonte [22] .....	82
Tabela 5.5 – Cálculo da Inércia Térmica.....	82
Tabela 5.6- Valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica lineares $\psi$ [W/(m.°C)] – Fonte [22] .....	85
Tabela 5.7 - Sistema de Climatização .....	89
Tabela 5.8- Escala de classificação energética- Fonte [22] .....	95
Tabela 5.9- Factores de conversão [22].....	97
Tabela 6.1 – Custo Estimado da Solução Base.....	99
Tabela 6.2 - Custos Estimados das Soluções ETICS - EPS.....	99
Tabela 6.3 - Custos Estimados das Soluções ETICS –XPS –ICB-MW .....	100



# Índice de Quadros

Quadro 4.1- Coeficiente de absorção da radiação solar - Fonte [10].....	38
Quadro 5.1 - Coeficiente de transmissão térmica - PE - Isolamento na caixa-de-ar.....	68
Quadro 5.2 - Coeficiente de transmissão térmica - PE – Isolamento pelo Exterior – EPS.....	69
Quadro 5.3- Coeficiente de transmissão térmica - PE – Isolamento pelo Exterior - XPS .....	70
Quadro 5.4 - Coeficiente de transmissão térmica - PE – Isolamento pelo Exterior - ICB.....	71
Quadro 5.5 - Coeficiente de transmissão térmica - PE – Isolamento pelo Exterior – Lã de Rocha.....	72
Quadro 5.6 - Coeficiente de transmissão térmica -Pilares – Solução Base .....	72
Quadro 5.7 - Coeficiente de transmissão térmica – ENU - Estacionamento .....	73
Quadro 5.8 - Coeficiente de transmissão térmica – ENU - Tratamento da Roupa .....	73
Quadro 5.9 - Coeficiente de transmissão térmica – ENU – Arrumos.....	74
Quadro 5.10 - Coeficiente de transmissão térmica – Compartimentação Interior .....	74
Quadro 5.11 - Coeficiente de transmissão térmica – ENU.....	75
Quadro 5.12 – Pavimento em contacto com o solo – Pavimento Flutuante .....	76
Quadro 5.13– Pavimento em contacto com o solo – Revestimento Cerâmico .....	76
Quadro 5.14 - Pavimento Interior – Sala e Cozinha.....	77
Quadro 5.15 - Pavimento Interior – Circulação e <i>Hall</i> .....	77
Quadro 5.16 – Cobertura em varanda e terraço – Fluxo ascendente .....	78
Quadro 5.17 - Cobertura em varanda e terraço – Fluxo descendente .....	78
Quadro 5.18 - Cobertura em Lajetas de Betão – Fluxo ascendente .....	79
Quadro 5.19 - Cobertura em Lajetas de Betão – Fluxo descendente .....	80
Quadro 5.20 - Cobertura em Godo – Fluxo ascendente .....	80
Quadro 5.21 - Cobertura em Godo – Fluxo descendente .....	81
Quadro 5.22 – Caracterização dos Vãos Envidraçados .....	83
Quadro 5.23 – Balanço de Energia.....	90
Quadro 5.24- Necessidades de Energia .....	94
Quadro 6.1 -- Custos Anuais Globais de Energia Útil.....	101
Quadro 6.2 - Custos Anuais Globais de Energia Útil – Soluções ETICS.....	102
Quadro 6.3- Redução Anual da Factura Energética .....	102

Quadro 6.4 – Emissões de CO <sub>2</sub> .....	103
Quadro 6.5 – Resumo das Comparações .....	104
Quadro 6.6 – Percentagens de Redução .....	105
Quadro 6.7-Custo Estimado de Investimento .....	106

# **1 Introdução**

## **1.1 Enquadramento**

Quando se fala em evolução e desenvolvimento também se deve falar em energia. O aumento do consumo de energia é inevitável com o crescimento e a evolução das sociedades.

Quando tudo o que nos rodeia é energia, é fundamental que saibamos adoptar os comportamentos adequados com vista à sua utilização eficiente. A ameaça permanente de esgotamento das reservas dos combustíveis fósseis, os jogos económicos e as preocupações ambientais, obrigam-nos a encontrar soluções alternativas, quer nos tipos de energia quer na forma da sua utilização.

Para promover a utilização de energia de forma responsável foi criada regulamentação energética. Melhorando a eficiência energética melhoramos também as alterações climáticas, provocadas em boa parte devido ao excesso de CO<sub>2</sub> na atmosfera, resultante da combustão dos combustíveis fósseis.

A eficiência energética nos edifícios é uma das áreas abrangidas pela regulamentação e sobre a qual este trabalho irá incidir. Em Portugal, desde o dia 1 de Janeiro de 2009 todos os edifícios existentes ou novos estão abrangidos pelo Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE).

Com esta certificação pretende-se avaliar o estado dos edifícios existentes e propor melhorias que venham a privilegiar a correcção de patologias construtivas. Os edifícios novos devem ser construídos de modo a potenciar a redução das necessidades de energia útil, promovendo a utilização de energias renováveis e sistemas energeticamente eficientes.

## **1.2 A nova certificação energética**

A transposição para o direito nacional da Directiva n.º 2010/31/UE constitui o Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto que, para além da transposição da directiva em referência, contém também a revisão da legislação nacional, reunindo num único diploma o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). Não obstante, promove-se a “separação clara do âmbito de aplicação do REH e do RECS”, passando o primeiro “a incidir, exclusivamente, sobre os edifícios de habitação” e o segundo sobre os edifícios de comércio e serviços.

A verificação da Qualidade do Ar interior também sofre alterações. No antigo quadro legislativo, a ADENE podia “ordenar a fiscalização, por iniciativa própria”, nos casos em que houvesse indícios de que um edifício representasse perigo para os seus utilizadores ou para terceiros, ou então para os prédios vizinhos ou serventias públicas. A nova lei elimina estes pressupostos, deixando com a Agência Portuguesa do Ambiente e a Direcção-Geral da Saúde a responsabilidade de “acompanhar a aplicação do presente diploma no âmbito das suas competências em matéria de qualidade do ar interior” [4].

A actual legislação térmica trouxe alterações profundas na forma como é calculada a eficiência energética de um imóvel e sua consequente classe energética. Uma das grandes alterações prende-se com a forma como é realizada a comparação para obtenção da classe energética. Com a nova legislação, o imóvel é comparado com ele mesmo em condições de referência. Foram eliminados os factores redutores para as necessidades energéticas (aquecimento e arrefecimento), o que trouxe uma maior preponderância à envolvente dos edifícios na classificação energética de um imóvel de habitação. Em contrapartida, os sistemas energéticos e a sua eficiência, têm actualmente uma interacção bastante menor na classe energética dos edifícios de habitação, comparando com a que tinham na anterior legislação [4].

## **1.3 Conceitos e definições**

### **1.3.1 Energia Primária**

Energia primária é o recurso energético que se encontra disponível na natureza (petróleo, gás natural, energia hídrica, energia eólica, biomassa, solar). Exprime-se, normalmente, em termos da massa equivalente de petróleo [quilograma equivalente de petróleo ( kgep) ou tonelada equivalente de petróleo (tep)].

Há formas de energia primária (gás natural, lenha, Sol) que também podem ser disponibilizadas directamente aos utilizadores, coincidindo nesses casos com a energia final [25].

A energia primária é muito importante para a quantificação do CO<sub>2</sub> libertado na combustão dos combustíveis fósseis.

### **1.3.2 Energia Final**

Energia final é a energia disponibilizada aos utilizadores sob diferentes formas (electricidade, gás natural, propano ou butano, biomassa, etc.) e é expressa em unidades com significado comercial (kWh, m<sup>3</sup>, kg) [25].

Importante para a quantificação da factura energética mensal.

### **1.3.3 Energia Útil**

Energia útil é a energia que o utilizador realmente carece sob a forma de calor, energia motriz, iluminação entre outros. É necessário avaliar a eficiência do equipamento e é expressa em kWh/ano [1].

### **1.3.4 Necessidades Nominais de Energia Primária, Ntc**

Necessidades nominais globais de energia primária é o parâmetro que exprime a quantidade de energia primária correspondente à soma ponderada das necessidades nominais de aquecimento (N<sub>ic</sub>), de arrefecimento (N<sub>vc</sub>) e de preparação de águas quentes sanitárias (N<sub>ac</sub>), tendo em consideração os sistemas adoptados ou, na ausência da sua definição, sistemas convencionais de referência e padrões correntes de utilização desses sistemas.

### **1.3.5 Coeficiente de Transmissão Térmica de um Elemento da Envolvente – U (W/m<sup>2</sup>.°C)**

O Coeficiente de Transmissão Térmica de um elemento da envolvente representa a quantidade de calor por unidade de tempo e superfície que atravessa esse elemento por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa.

### **1.3.6 Condutibilidade Térmica – λ [W/(m.K)] ou [W/(m.°C)]**

A condutibilidade térmica é uma propriedade que caracteriza os materiais ou produtos termicamente homogêneos, e que representa a quantidade de calor expressa em [W] por unidade de área [m<sup>2</sup>] que atravessa uma espessura unitária [m] de um material, quando entre duas faces planas e paralelas se estabelece uma diferença unitária de temperatura (1°C ou 1K) [16].

### **1.3.7 Coeficiente de Transmissão Térmica Linear – ψ (W/m°C)**

O Coeficiente de Transmissão Térmica Linear representa a quantidade de calor transmitida por unidade de tempo ao longo da ligação entre elementos construtivos

diferentes ou elementos enterrados, sujeitos a uma diferença de temperatura unitária entre os ambientes que divide [9].

## **1.4 Objectivos**

O presente trabalho foi realizado no âmbito da unidade curricular Trabalho Final de Mestrado (TFM) do mestrado em Engenharia Mecânica, perfil de Energia, Refrigeração e Climatização do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL).

Este trabalho pretende:

- Promover a qualificação especializada em isolamentos térmicos dimensionados de uma forma otimizada, tanto do ponto de vista técnico como termodinâmico, destinado a garantir fluxos térmicos baixos;
- Desenvolver e aprofundar conhecimentos nos interfaces engenharia /ambiente /energia.
- Conceber e desenvolver formas dinâmicas de apoio à decisão suportadas nos vértices do tripé dos interfaces, possibilitando a análise de cenários viáveis e comparáveis.

Para atingir estes objectivos foram estudados os materiais de isolamento térmico mais utilizados na área da construção civil, analisados os sistemas e processos da execução do isolamento térmico pelo exterior assim como o acompanhamento da execução dos trabalhos do isolamento térmico no caso de estudo. Foi ainda realizada a sua certificação energética fazendo cinco simulações das fachadas exteriores.

## **1.5 Estrutura do trabalho**

Este documento está organizado em oito capítulos. No capítulo 1 “Introdução” é apresentada uma visão geral sobre a nova certificação energética e alguns conceitos

teóricos relevantes para este trabalho, bem como os seus objectivos e organização.

O capítulo 2 faz o enquadramento energético com a estratégia energética para a Europa, o consumo da energia nos edifícios e a regulamentação térmica.

No capítulo 3 é feito o estudo dos materiais isolantes no que diz respeito à sua origem, ao processo produtivo, à aplicação e durabilidade, aos impactes associados, à sua valorização e eliminação de resíduos e ainda as suas características e propriedades técnicas.

No capítulo 4 realiza-se o estudo do sistema de isolamento térmico pelo exterior, as suas vantagens, os tipos de sistemas, a execução e condições gerais de aplicação, a selecção da espessura do isolamento e o guia para ajudar a seleccionar os sistemas.

No capítulo 5 faz-se a análise do “caso de estudo”. Realiza-se o estudo do comportamento térmico e respectiva classificação energética em conformidade com a metodologia apresentada no REH [2]. Para dar cumprimento a este regulamento, é feita a sua caracterização quanto à localização e ao meio urbano onde se insere, tipologia e soluções construtivas dos elementos que condicionam o comportamento térmico da F.A. Com o objectivo de evidenciar a influência dos vários tipos de isolamento e sistemas, serão feitas cinco simulações, com cinco soluções construtivas para as paredes da envolvente exterior (isolamento na caixa-de-ar, isolamento pelo exterior com EPS, XPS, ICB e lã de rocha). Para o cálculo da classe energética do edifício, serão também caracterizados de acordo com o mapa de acabamentos os sistemas de aquecimento, arrefecimento e ventilação, preparação das águas quente sanitárias (AQS) e o projecto do Sistema Solar Térmico (SST) da F.A. Será realizada uma demonstração detalhada do cálculo dos valores das necessidades nominais de energia, bem como dos respectivos valores limite, de acordo com o modelo REH para as cinco simulações. Por último, faz-se a determinação dos valores de CO<sub>2</sub> da F.A. para as diferentes simulações.

No capítulo 6 fazem-se as comparações dos sistemas em termos económicos e ambientais e no capítulo 7 são apresentadas as conclusões mais relevantes.

## **2 Enquadramento energético**

### **2.1 Estratégia energética para a Europa**

Com o inevitável crescimento da população no planeta Terra, a necessidade de criar uma estratégia energética que consiga dar resposta a este problema tornou-se imperativa. A instabilidade crescente a nível mundial e o poder de quem tem recursos energéticos perante os que não têm, tem vindo a criar grandes assimetrias.

A Europa, (27 estados) em 2006, precisava de importar 50% da energia que consumia. Por outro lado, o nosso clima está a aquecer e se não invertemos os nossos costumes haverá um aumento de 1,4 a 5,8°C até ao final do século (o Mundo enfrentará graves consequências para as suas economias e ecossistemas). Com a elaboração do “Livro Verde”, a Europa apresenta sugestões e opções que poderão servir de base a uma política energética nova e abrangente, conciliando o desenvolvimento sustentável, a competitividade e a segurança do aprovisionamento.

O crescimento da produção de energia será baseado nas energias renováveis criando assim, oportunidades de investigação e desenvolvimento, novo impulso da economia, com uma melhor gestão ambiental.

A União Europeia tem vindo a redigir regulamentação com vista a atingir os objectivos acima referidos, sendo esta adaptada e transposta por cada estado membro (28 estados em 2014) à sua realidade individual.

Em Portugal, o Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE), que integra as políticas e medidas de eficiência energética a desenvolver, foi actualizado em 2013. Este abrange seis áreas específicas relacionadas com a actividade económica nacional: “Transportes, Residencial e Serviços, Indústria, Estado, Comportamentos e Agricultura”.

Destaca-se no plano de acção o programa “Renove Casa & Escritório” que integra um conjunto de medidas destinadas a potenciar a eficiência energética na iluminação, electrodomésticos e reabilitação de espaços. Neste programa, a medida R&S4M6 –

Isolamento Eficiente”, “está inserida nas medidas de remodelação do sector residencial contemplando intervenções relacionadas com a envolvente dos edifícios no que diz respeito ao isolamento térmico, visando a sua aplicação em coberturas, pavimentos e paredes” [3].

O cumprimento dos seus objectivos até 2016 prevê a poupança de 1,5 milhões de toneladas equivalentes de petróleo e uma redução de 2,6 milhões de toneladas de emissões de CO<sub>2</sub> com uma melhor gestão ambiental [3].

## **2.2 O consumo de energia nos edifícios**

Segundo a ADENE [26], o sector dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia final na Europa. No entanto, mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética, o que pode representar uma redução anual de 400 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, quase a totalidade do compromisso da União Europeia (UE) no âmbito do Protocolo de Quioto.

Em Portugal, o sector residencial, com cerca de 3,9 milhões de alojamentos, contribuiu com 17,7% do consumo de energia final em termos nacionais, representando cerca de 30% do consumo de electricidade, o que evidencia, desde logo, a necessidade de moderar especialmente o consumo eléctrico.

O consumo de energia na nossa habitação depende de diversos factores, tais como a zona onde se situa a casa, a qualidade de construção, o nível de isolamento, o tipo de equipamentos utilizados e o uso que lhe damos.

Se o projecto do edifício for concebido de modo a tirar proveito das condições climáticas, da orientação solar, dos ventos dominantes e se forem utilizadas técnicas de construção e materiais adequados, é possível diminuir os gastos energéticos com a iluminação e com os sistemas de climatização.

Estima-se que cerca de 60% da energia utilizada para o aquecimento durante o Inverno se perde por falta de isolamento, ou seja, através das paredes, tecto e soalho. Existem

medidas de baixo custo, ou sem qualquer custo adicional, que podem reduzir o nosso gasto de energia entre os 10% e os 40%, como por exemplo calafetar as janelas e portas com fita adesiva de espuma.

Os consumos energéticos das habitações portuguesas têm registado um crescimento significativo devido ao aumento da aquisição de equipamentos consumidores de energia eléctrica, aumentando a dependência deste tipo de energia.

Segundo o “Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010” do INE (figura 2.1), é na cozinha que se concentra o maior consumo de energia, seguindo-se o aquecimento das águas quentes.

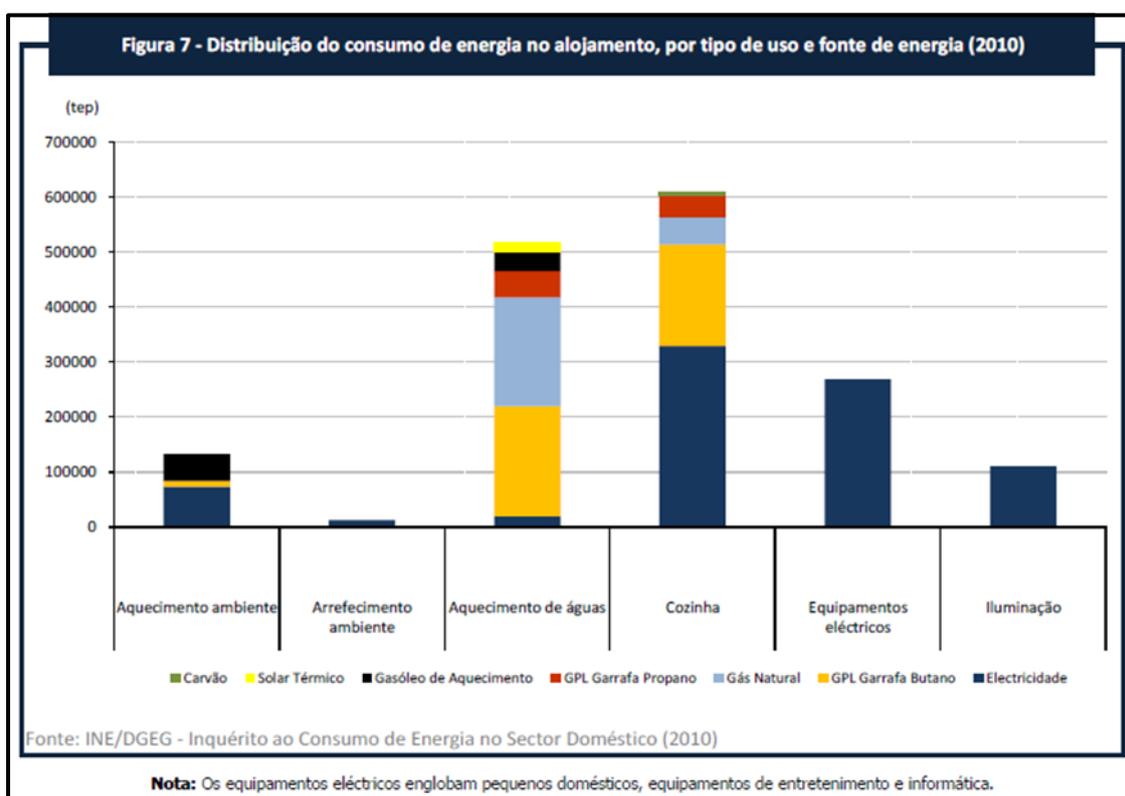


Figura 2.1.- Distribuição do consumo de energia no alojamento, por tipo de uso e fonte de energia (2010)

Também segundo este inquérito, os resultados revelam que o consumo total de electricidade nas habitações foi de 1 243 361 tep (equivalente a 14 458 GWh), pelo que em termos médios, cada alojamento em Portugal consumiu 0,317 tep no ano de 2010.

Importa realçar que a parcela “aquecimento do ambiente” tem um valor expressivo (8 %) ao contrário da do “arrefecimento do ambiente” (0.8%), (figura 2.2). A Electricidade foi a principal fonte de energia utilizada no aquecimento do ambiente, verificando-se contudo que o gasóleo de aquecimento representa já uma fatia importante do consumo de energia nesse tipo de utilização.

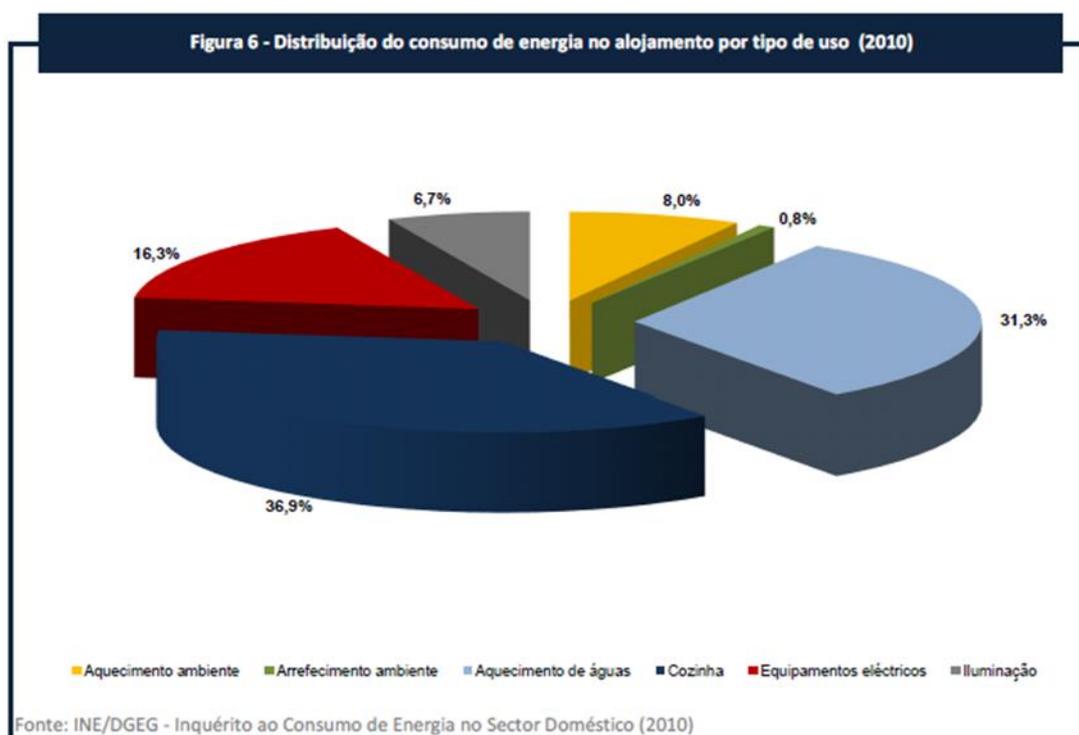


Figura 2.2 -Distribuição do consumo de energia no alojamento, por tipo de uso (2010)

No aquecimento de águas (31.3%) é onde se verifica maior diversidade de tipos de energia utilizadas, sendo as mais expressivas o gás natural e o gás de garrafa butano. Destaca-se ainda a utilização de energia solar térmica.

A certificação energética vem dar principal ênfase à utilização de energias renováveis (solar térmica) no aquecimento de águas, e a redução das necessidades energéticas de aquecimento. Relativamente à iluminação existem grandes desenvolvimentos com vista à redução do consumo das lâmpadas, nomeadamente a utilização de leds.

Cabe a cada consumidor gerir a utilização da energia de forma responsável e contribuir para a preservação das gerações vindouras.

## **2.3 Regulamentação térmica**

### **2.3.1 Enquadramento regulamentar**

Em Portugal, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei nº 40/90 de 6 de Fevereiro, foi o primeiro instrumento legal que impôs requisitos ao projecto 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.

O Decreto-lei 80/2006 de 04 de Abril de 2006 veio revogar o Decreto-Lei nº 40/90, de 6 de Fevereiro. Esta nova versão do RCCTE assenta no pressuposto de que uma parte significativa dos edifícios vêm a ter meios de promoção das condições ambientais nos espaços interiores, quer no Inverno quer no Verão, e impõe limites aos consumos que decorrem dos seus potenciais existência e uso. São claramente fixadas as condições ambientais de referência para cálculo dos consumos energéticos nominais segundo padrões típicos admitidos como os médios prováveis, quer em termos de temperatura ambiente quer em termos de ventilação para renovação do ar e garantia de uma qualidade do ar interior aceitável, a qual tem-se vindo a degradar com a maior estanquidade das envolventes e o uso de novos materiais e tecnologias na construção que libertam importantes poluentes. Este Regulamento alarga, assim, as suas exigências ao definir claramente objectivos de provisão de taxas de renovação do ar adequadas que os projectistas devem obrigatoriamente satisfazer.

No contexto internacional, também é consensual a necessidade de melhorar a qualidade dos edifícios e reduzir os seus consumos de energia e as correspondentes emissões de gases que contribuem para o aquecimento global ou efeito de estufa. Portugal obrigou-se a satisfazer compromissos neste sentido quando subscreveu o Protocolo de Quioto, tendo o correspondente esforço de redução das emissões de ser feito por todos os sectores consumidores de energia, nomeadamente pelo dos edifícios.

Também a União Europeia, com objectivos semelhantes, publicou em 4 de Janeiro de 2003 a Directiva nº 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de

Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios, que, entre outros requisitos, impõe aos Estados membros o estabelecimento e actualização periódica de regulamentos para melhorar o comportamento térmico dos edifícios novos e reabilitados, obrigando-os a exigir, nestes casos, com poucas excepções, a implementação de todas as medidas pertinentes com viabilidade técnica e económica. A directiva adopta ainda a obrigatoriedade da contabilização das necessidades de energia para preparação das águas quentes sanitárias, numa óptica de consideração de todos os consumos de energia importantes, sobretudo, neste caso, na habitação, com o objectivo específico de favorecimento da penetração dos sistemas de colectores solares ou outras alternativas renováveis.

A obrigatoriedade da instalação de painéis solares para a produção de água quente sanitária contribuirá para a diminuição da poluição e da dependência energética do nosso país.

O Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto, resulta da transposição para o direito nacional da Directiva n.º 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010. Este diploma assegura não só a transposição da directiva em referência, mas também uma revisão da legislação nacional que se consubstancia em melhorias ao nível da sistematização e âmbito de aplicação.

A definição de requisitos e a avaliação de desempenho energético dos edifícios passa a basear-se nos seguintes pilares: no caso de edifícios de habitação assumem posição de destaque o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas, aos quais acrescem, no caso dos edifícios de comércio e serviços, a instalação, a condução e a manutenção de sistemas técnicos. Para cada um destes pilares são, ainda, definidos princípios gerais, concretizados em requisitos específicos para edifícios novos, sujeitos a grande intervenção e a existentes.

Além da actualização dos requisitos de qualidade térmica, são introduzidos requisitos de eficiência energética para os principais tipos de sistemas técnicos dos edifícios. Ficam, assim, igualmente sujeitos a padrões mínimos de eficiência energética, os sistemas de climatização, de preparação de água quente sanitária, de iluminação, de aproveitamento de energias renováveis de gestão de energia.

No que respeita à política de qualidade do ar interior, considera-se da maior relevância a manutenção dos valores mínimos de caudal de ar novo por espaço e dos limiares de protecção para as concentrações de poluentes do ar interior, de forma a salvaguardar os mesmos níveis de protecção de saúde e de bem-estar dos ocupantes dos edifícios. Neste âmbito, salienta-se que passa a privilegiar-se a ventilação natural em detrimento dos equipamentos de ventilação mecânica, numa óptica de optimização de recursos, de eficiência energética e de redução de custos [2].

### **2.3.2 Objectivos da regulamentação**

A regulamentação Europeia e consequentemente a Nacional, visa fundamentalmente atingir os seguintes objectivos:

- Garantir a segurança do abastecimento de energia através da diversificação dos recursos primários e dos serviços energéticos e da promoção da eficiência energética;
- Estimular e favorecer a concorrência, por forma a promover a defesa dos consumidores, bem como a competitividade e a eficiência das empresas;
- Garantir a adequação ambiental de todo o processo energético, reduzindo os impactes ambientais à escala local, regional e global.

### **2.3.3 Classificação energética dos edifícios**

O grande objectivo da certificação energética é melhorar o desempenho energético e a qualidade do ar dos edifícios em Portugal. A forma mais eficaz de atingir este objectivo é tornar a dimensão do desempenho energético e da qualidade do ar visíveis e palpáveis para o utilizador final o qual, por sua vez, exerce o seu poder de escolha sobre o mercado, dando preferência às fracções autónomas com o melhor desempenho energético-ambiental.

A etiqueta (figura 2.3) mostra a classificação da fracção autónoma no âmbito do sistema nacional de certificação energética, classifica o desempenho energético em termos das

necessidades de energia primária do mesmo. Apresenta 8 classes de eficiência energética, sendo a classe A+ a mais eficiente e a classe F a menos eficiente.

Todos os edifícios construídos desde Julho de 2006 têm que apresentar uma classe energética igual ou superior a B-.

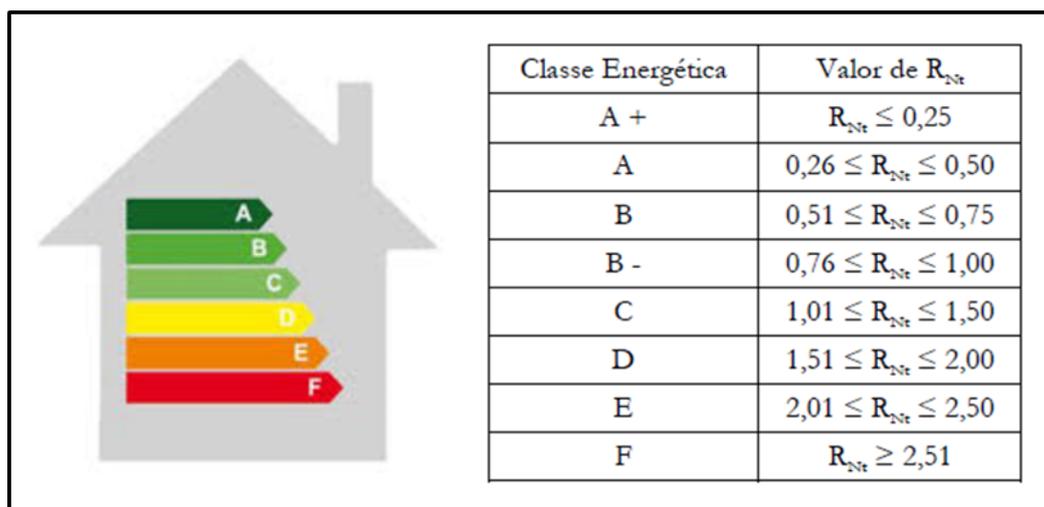


Figura 2.3 - Classificação energética dos edifícios

Para determinação da classe, o valor das necessidades globais anuais nominais de energia primária ( $N_{tc}$ ) é comparado com o respectivo valor limite ( $N_t$ ), sendo ambos específicos para cada fracção em estudo.

Nos edifícios novos o valor de  $N_{tc}$  deverá ser sempre maior ou igual a  $N_t$  e as fracções autónomas serão sempre de classe igual ou superior a B-. Nos edifícios existentes toda a escala (entre A+ e F) está disponível, sendo as classes inferiores a B- correspondentes a intervalos de 50% em relação ao valor limite ( $N_t$ ).

### 3 Materiais Isolantes Térmicos

Chama-se isolante térmico a um material ou estrutura que dificulta a dissipação de calor. Estabelece uma barreira à passagem do calor entre os dois meios que, naturalmente, tenderiam rapidamente a igualarem as suas temperaturas.

O melhor isolante térmico é o vácuo mas, devido à grande dificuldade em conseguir obter e manter condições de vácuo, este é utilizado em muito poucas ocasiões. Na prática, utiliza-se o ar que, graças à sua baixa condutividade térmica e ao baixo coeficiente de absorção da radiação, constitui um elemento muito resistente à passagem de calor. Devido ao fenómeno de convecção que tem origem nas câmaras-de-ar aumentar sensivelmente a sua capacidade de transferência térmica e o facto de ser difícil conseguir que o ar esteja seco e sem humidade, leva à utilização de materiais porosos ou fibrosos. Estes são capazes de imobilizar o ar seco e confiná-lo no interior de células mais ou menos estanques. Ainda que na maioria dos casos o gás enclausurado seja ar comum, em isolantes de células fechadas (formados por bolhas não comunicantes entre si, como no caso do poliuretano projectado), o gás utilizado como agente expensor é o que fica enclausurado.

Há vários tipos de materiais sólidos que podem ser bons isolantes. Estes dependem não só da utilização pretendida, mas também da temperatura de trabalho e do local de instalação.

Podemos utilizar como isolantes térmicos: lã de poliéster, lã de rocha, fibra de vidro, hidrossilicato de cálcio, manta de fibra cerâmica, perlite expandida, vidro celular, poliestireno expandido, poliestireno extrudido, espuma de poliuretano, aglomerados de cortiça, entre outros.

É importante observar que não existe isolamento térmico perfeito, isto é, todo material ou estrutura constituída por alguma composição de materiais sempre conduz algum calor.

### 3.1 Tipos de Materiais Isolantes

Neste trabalho serão analisados os materiais mais utilizados no isolamento térmico pelo exterior, ou seja, o poliestireno expandido e extrudido, o aglomerado de cortiça expandida, e a lã de rocha.

#### 3.1.1 EPS - Poliestireno Expandido

O poliestireno expandido (figura 3.1), também conhecido como “EPS” (sigla de “*Expanded PolyStyrene*”) ou “esferovite”, é um plástico celular e rígido, tecnologicamente avançado, económico e respeitador do ambiente, que se pode apresentar numa amplitude de formas e aplicações. O EPS é constituído por 98% de ar e 2% de matéria plástica. É uma espuma termoplástica cuja estrutura assenta em esferas cheias de ar produzidas através de vapor de água.

A sua principal vantagem é a sua baixa condutibilidade térmica. A estrutura de células fechadas e cheias de ar dificulta a passagem do calor conferindo ao EPS um grande poder isolante. As densidades do EPS variam entre os 12-35 kg/m<sup>3</sup>, permitindo assim uma redução substancial do peso das construções. Repare-se ainda que apesar de muito leve, o EPS tem uma resistência mecânica elevada o que permite a sua utilização onde esta característica seja necessária.

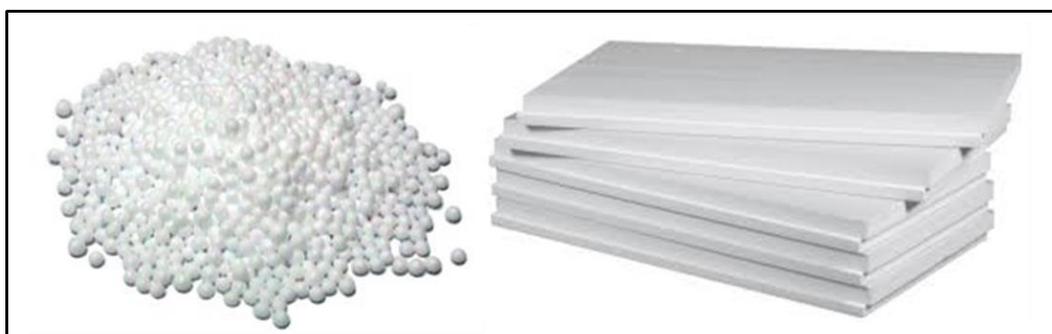


Figura 3.1 - Poliestireno Expandido

### 3.1.2 XPS - Poliestireno Extrudido

O poliestireno extrudido (figura 3.2) ou “XPS”, é uma espuma rígida de poliestireno com estrutura celular fechada obtida por um processo de extrusão em contínuo. A sua aplicação corrente é como isolamento na construção civil, apresentando-se sem a pele de extrusão em ambas as faces, com textura gofrada e com encaixes de bordo tipo recto, i.e., com perfil em “I”. Para além de possuir uma excelente resistência às trocas térmicas (cerca de 20% superior que o poliestireno expandido), as placas de poliestireno extrudido possuem uma excelente resistência às acções mecânica e ambientais, sendo largamente utilizadas nas chamadas “coberturas invertidas” em que o isolamento térmico se encontra por cima da impermeabilização.



Figura 3.2 - Placas de Poliestireno Extrudido

### 3.1.3 ICB - Aglomerado Negro de Cortiça Expandida

O Aglomerado de Cortiça Expandida (figura 3.3), internacionalmente denominado “*Insulation Cork Board*” ou “ICB”, é um produto de origem vegetal e é formada por um agregado de células de paredes quintuplas, sendo duas delas completamente impermeáveis, daí a sua leveza, a sua elasticidade e a sua impermeabilidade a gases e líquidos, características que lhe conferem propriedades isolantes de calor, frio, som e vibrações.

Segundo as dimensões dos granulados utilizados e da massa volúmica do produto obtido, obtém-se os aglomerados negros de cortiça tipo térmico, tipo acústico ou tipo vibrático. Os aglomerados de cortiça para revestimento de pisos, comercialmente conhecidos por “*parquets*”, resultam da aglutinação dos granulados por efeito conjugado da pressão, temperatura e um ligante. De fácil instalação, este material possibilita um elevado nível da correcção acústica (ruídos de impacto), propriedade comprovada em diversos testes laboratoriais.



Figura 3.3 - Placas de Aglomerado Negro de Cortiça

#### **3.1.4 MW - Lã de Rocha**

No isolamento térmico pelo exterior são utilizados painéis rígidos de espessura uniforme constituídos por fibras de lã de rocha aglutinadas com resina sintética termoendurecida sem revestimento (figura 3.4). Há, no entanto, que ter o cuidado de ao instalar este tipo de isolamentos não deixar espaços não isolados, uma vez que basta uma pequena área não estar devidamente isolada para poderem surgir problemas relacionados com um deficiente isolamento térmico. A lã de rocha é um bom isolante térmico e acústico, é incombustível, resistente à água; a estrutura é estável, imputrescível, antiparasitas, não corrosiva e não é atacada por sais nem por ácidos; não é nociva à saúde (porém o seu manuseamento e aplicação deverão ser feitos com

vestuário e luvas adequadas) e não resultam substâncias poluentes das matérias-primas nem dos produtos acabados.

Utilizado largamente na impermeabilização de lajes de esteira em que existe um desnível entre esta e a cobertura inclinada, quando utilizados fixadores mecânicos pode também ser utilizado para isolar paredes duplas ou simples, no caso do isolamento térmico pelo exterior.



Figura 3.4 - Placas de Lã de Rocha

## **3.2 Origem**

### **3.2.1 EPS - Poliestireno Expandido**

O poliestireno expandido é obtido a partir da transformação de espuma de poliestireno expansível. O seu material de base é um monómero de estireno (hidrocarboneto aromático não saturado). Este monómero é um subproduto do petróleo e da nafta produzida durante a refinação de petróleo e que constitui uma fonte pronta e contínua. A polimerização do estireno, juntamente com agentes de expansão, dá origem ao EPS.

### **3.2.2 XPS - Poliestireno Extrudido**

O poliestireno extrudido é um produto sintético proveniente do petróleo e deriva da natureza. A matéria-prima deste material é o poliestireno, um polímero de estireno que é extrudido e passa de um estado sólido a um estado fundido, posteriormente arrefecido volta ao estado sólido.

### **3.2.3 ICB - Aglomerado Negro de Cortiça Expandida**

O Aglomerado de Cortiça Expandida é um produto de origem vegetal que provém da FALCA, que é um tipo de cortiça muito específico. Esta cortiça é proveniente das operações de poda e limpeza dos sobreiros. Após a extracção da FALCA, procede-se à sua trituração para separação do entrecasco e posterior granulação.

### **3.2.4 MW - Lã de Rocha**

A lã de rocha provém de fibras minerais de rochas vulcânicas, entre elas o basalto e o calcário. Esta fibra procedente de depósitos vulcânicos era já utilizada pelos nativos das ilhas havaianas na cobertura de suas moradias para protegê-los do frio e do calor.

Estas fibras naturais de rocha vulcânica são apresentadas em forma de placa ou manta, sendo totalmente imunes à acção do fogo e com excelentes propriedades de isolamento térmico e acústico.

## **3.3 Processo Produtivo**

### **3.3.1 EPS - Poliestireno Expandido**

Para a produção de EPS, a matéria-prima é sujeita a um processo de transformação física não alterando deste modo as suas propriedades químicas. O processo de

transformação da matéria-prima (poliestireno expansível) em poliestireno acabado é realizado em três fases:

Na primeira fase, denominada “Pré-Expansão”, a matéria-prima é aquecida por contacto em máquinas especiais, os pré-expansores, com vapor de água a temperaturas entre +80 e +110° C. Dependendo da temperatura e do tempo de exposição do material, a sua densidade diminui podendo chegar a ser até 40 a 50 vezes menor.

No processo de pré-expansão, as pérolas compactas da matéria-prima são transformadas em esferas de plástico celular com pequenas células fechadas que contém ar no seu interior. Obtendo-se, assim, o granulado de EPS. O gás expensor incorporado na matéria-prima (o poliestireno expansível) é o pentano.

Na segunda fase, denominada de “Repouso intermédio e Estabilização”, ao arrefecer as partículas recém-expandidas cria-se um vácuo no seu interior que é necessário compensar com a penetração de ar de difusão. Desta forma, os grânulos alcançam uma maior estabilidade mecânica e melhoram a sua capacidade de expansão, o que é vantajoso para a próxima etapa do processo. Este processo ocorre durante o repouso intermédio do material pré-expandido em silos ventilados. Ao mesmo tempo os grânulos são secos.

Por fim, na terceira fase, denominada “Expansão e Moldagem Final”, o granulado pré-expandido e estabilizado é introduzido em moldes, onde é novamente aquecido com vapor de água, havendo a união do granulado entre si criando o formato desejado. Assim, obtém-se um material expandido rijo com uma grande quantidade de ar.

Desta forma, podem obter-se ou grandes blocos paralelepípedicos de EPS, posteriormente cortados nas formas desejadas (placas, arcos, cilindros, e outros para a construção civil) ou produtos moldados, sendo o granulado insuflado para dentro de moldes com a geometria e forma das peças pretendidas.

A escolha do tipo de matéria-prima e a regulação do processo de fabrico permitem a obtenção de uma ampla gama de tipos de EPS com diversas densidades, cujas características se adaptam às aplicações previstas.

Os processos de produção incluem uma combinação de calor e pressão com recurso a tecnologias limpas e uma minimização de entradas de energia e de água através de um circuito fechado de reciclagem de energia. Durante este processo não são criados resíduos sólidos, já que os desperdícios são reintroduzidos no lote de produção seguinte. Por todas estas razões, a fabricação do EPS é um processo altamente eficiente.

### **3.3.2 XPS - Poliestireno Extrudido**

A extrusão deste polímero consiste na geração e no uso de um fluxo contínuo das matérias-primas para produzir o material. O polímero é continuamente transformado de um estado sólido a um estado fundido, sendo transportado e forçado em altas pressões mediante um molde. O desenho do molde corresponde à forma do produto a ser manufacturado. Assim sendo, a reversibilidade do processo de fusão permite que o perfil fundido arrefeça para obter o produto final, que se traduz numa estrutura rígida e uniforme de pequenas células fechadas apresentada sob a forma de placas coloridas. São necessários para o processo de estabilização aproximadamente 45 dias, após os quais o produto pode ser comercializado. Esta estabilização consiste na libertação do gás e respectiva retracção do material.

### **3.3.3 ICB - Aglomerado Negro de Cortiça Expandida**

O aglomerado de cortiça expandida é um produto em que a aglutinação dos grânulos da matéria-prima se efectua exclusivamente em consequência da expansão volumétrica e da exsudação das resinas naturais da cortiça, por acção da temperatura transmitida pelo vapor de água. É assim produzido um aglomerado unicamente constituído por cortiça, razão pela qual também se designa por aglomerado puro de cortiça.

Após a pré-preparação da matéria-prima, esta é triturada, limpa de impurezas, ensilada e seca (ou previamente seca), até se alcançar um teor ponderal de água ideal para a operação de cozimento.

Seguidamente, a aglomeração dos grânulos processa-se num autoclave, no qual é injectado vapor de água aquecido a temperaturas superiores a +300° C. Neste método forma-se um bloco paralelepípedo de ICB, funcionando o próprio autoclave como molde.

Após o completo arrefecimento e a estabilização dimensional, seguem-se as fases de corte e de acabamento, nas quais os blocos são seccionados em placas nas diferentes espessuras, é acertada a esquadria destas. Eventualmente, são submetidas a uma lixagem da superfície para efeitos decorativos e, finalmente é feita a embalagem com vista à sua colocação nos diferentes mercados.

### **3.3.4 MW - Lã de Rocha**

A lã de rocha é produzida a partir de lã mineral. Depois de aquecer as rochas basálticas e outros minerais a cerca de +1500°C, estes são transformados em filamentos que, aglomerados com soluções de resinas orgânicas, permitem a fabricação de produtos leves e flexíveis ou até muito rígidos dependendo do grau de compactação.

## **3.4 Aplicação e Durabilidade**

### **3.4.1 EPS - Poliestireno Expandido**

As propriedades do EPS impõem a sua correcta aplicação para que seja garantido um desempenho adequado ao longo do tempo. Este material não constitui alimento (substrato) para o desenvolvimento de animais ou microrganismos. Em caso de grande acumulação de sujidade sobre uma placa, poderão surgir bolores que, no entanto, não afectarão o EPS. Todas as propriedades do EPS mantêm-se inalteradas ao longo da vida do material.

É resistente ao envelhecimento e quimicamente deve ter-se em consideração a radiação solar directa, bem como outros tipos de radiações ricas em energia que deterioram o EPS por alterarem a sua estrutura química. Este processo é, porém, lento e dependente da intensidade de radiação e do tempo de exposição embora em conjunto com as intempéries o processo possa ser acelerado. Não se regista no entanto deterioração quando a radiação solar é difusa.

A estrutura celular do EPS também é danificada por solventes ou vapores destes, sendo este processo acelerado em temperaturas elevadas.

Pode, ocasionalmente, ser atacado por roedores ou outros animais. Por isso, é necessário prever, quer o correcto armazenamento do mesmo antes da sua aplicação, quer a sua aplicação de forma a impedir o acesso desses animais às placas.

### **3.4.2 XPS - Poliestireno Extrudido**

As placas de poliestireno extrudido são altamente resistentes à absorção de água e a sua capilaridade é nula. São muito resistentes à difusão do vapor de água e não são afectadas por ciclos repetidos de gelo-degelo

São combustíveis e ardem rapidamente se expostas a fogo intenso, sofrendo alterações dimensionais irreversíveis quando expostas a altas temperaturas por longos períodos de tempo. A temperatura máxima de trabalho em serviço permanente é de +75°C, sendo o valor mínimo de -50°C.

Não é um material propício ao aparecimento de bolor e quaisquer outras eflorações e não têm qualquer valor nutritivo para roedores ou insectos.

Não são afectadas por chuva, neve ou gelo, no entanto, devem ser protegidas da radiação solar directa. A sujidade acumulada é facilmente lavável.

Quando adequadamente aplicadas, a vida útil destas placas é estimada em período de tempo igual ao da vida útil do edifício ou construção em que se inserem.

### **3.4.3 ICB - Aglomerado Negro de Cortiça Expandida**

As qualidades únicas da cortiça oferecem vantagens difíceis de equiparar. É constituída por milhões de células suberosas, ou seja, cada célula funciona como um isolante acústico e térmico e amortecedor em miniatura de pressão absorvendo os choques.

Recuperando a sua forma vezes sem conta, indiferentemente da intensidade de uso ou do período de tempo, a cortiça mantém sempre a sua elasticidade. Estas qualidades únicas tornam-na ideal para ser utilizada como isolante acústico e térmico durante um longo período de vida.

Algumas recolhas realizadas em edifícios com mais de 50 anos mostraram que após esse período o aspecto e as propriedades essenciais das placas de aglomerado de cortiça expandida se mantinham inalteradas.

### **3.4.4 Lã de Rocha**

Fabricada em todo o mundo, a lã de rocha devido às suas características térmicas e acústicas atende aos mercados da construção civil, industrial e automóvel entre outros. Este material, garante conforto ambiental, segurança e aumento no rendimento de equipamentos industriais e gera economia de energia com o aumento de produtividade. Além de não reter vapor de água, uma vez que possui uma estrutura não capilar, as alterações perante eventuais condensações são nulas. Não provoca alergias, não apodrece, permite a passagem do ar, recupera sempre a espessura original após retirada a força que a deformou e tem durabilidade ilimitada.

## **3.5 Impactes Associados**

### **3.5.1 EPS - Poliestireno Expandido**

O seu fabrico não comporta nenhum risco para a saúde humana nem para o ambiente.

Neste processo não são utilizados gases das famílias CFC (clorofluorcarboneto) e HCFC (hidrofluorcarbonetos) (conhecidos por provocar a destruição da camada do ozono). Por se tratar de um polímero e por ser muito leve, o seu processo de fabrico consome pouca energia.

### **3.5.2 XPS - Poliestireno Extrudido**

Existem no mercado marcas que produzem este material sem gases do tipo CFC's e que satisfazem a Directiva Europeia EC/3093/94 de 15 de Dezembro de 1994 acerca de substâncias que contribuem para a destruição da camada de ozono. Deste modo, deve dar-se preferência a este material.

### **3.5.3 ICB - Aglomerado Negro de Cortiça Expandida**

A produção do Aglomerado de Cortiça Expandida (ICB) utiliza apenas vapor de água aquecido, em geral recorrendo a geradores de vapor alimentados com os próprios resíduos da trituração e de acabamentos (pó de cortiça). No fabrico não se introduzem quaisquer aglutinantes, colas, aditivos ou agentes de expansão externos à própria cortiça natural e eventualmente perigosos durante a aplicação, uso, ou após a remoção no final da vida útil.

Durante a aplicação não coloca problemas de segurança ou de saúde, devendo adoptar-se simplesmente as regras básicas relevantes de higiene e de segurança no trabalho.

### **3.5.4 MW - Lã de Rocha**

A sua fabricação implica gasto de energia e gera emissões de CO<sub>2</sub>. No entanto, se lhe atribuirmos um uso adequado no que diz respeito ao isolamento térmico, a economia de energia gerada poderá superar este impacte negativo.

## **3.6 Valorização /Eliminação do Resíduo**

### **3.6.1 EPS - Poliestireno Expandido**

Durante a produção são gerados pouquíssimos resíduos que podem e devem ser valorizados. No entanto, desconhecem-se em Portugal operações de valorização deste tipo de resíduos. Após a conclusão da vida útil do EPS, este é totalmente reciclável. A sua eliminação é feita com a deposição em aterro para resíduos industriais não perigosos.

### **3.6.2 XPS - Poliestireno Extrudido**

Dependendo do sistema de instalação, que deve ser o de encaixe, as placas poderão ser reutilizadas. A sua produção gera resíduos que podem ser valorizáveis. No entanto, desconhecem-se operações de valorização deste tipo de resíduos em Portugal. Este material pode ainda ser utilizado como enchimento em terreno pois não contem nenhum efeito contaminante. A sua eliminação faz-se através da deposição em aterro para resíduos industriais não perigosos.

### **3.6.3 ICB - Aglomerado Negro de Cortiça Expandida**

No final do período de utilização do Aglomerado de Cortiça Expandida (ICB), que muitas vezes será imposto pelo fim da vida útil do próprio edifício, podem vir a ser reutilizadas em aplicações idênticas se for viável a recolha isolada ou integral das placas.

Nos casos em que tal não seja exequível (quebra das placas, "contaminação" com outros produtos), promove-se a sua trituração. Deste modo, obtém-se um regranulado de cortiça expandida destinado a novas aplicações em isolamento térmico, ou utilizado como inerte no fabrico de betões e de argamassas leves.

### **3.6.4 Lã de Rocha**

Os resíduos provenientes da sua produção podem ser novamente fundidos para fabricação de lã de rocha, no entanto, desconhecem-se operações de valorização deste tipo de resíduos em Portugal. A sua eliminação faz-se através da deposição em aterro para resíduos industriais não perigosos.

## **3.7 Características Técnicas/Propriedades**

Os materiais utilizados como produtos de isolamento térmico, devem ser caracterizados de acordo com as indicações das normas harmonizadas EN 13162/3/4,13170:2012. A especificação do produto propõe classes ou níveis associados a determinados requisitos, o que apresenta a vantagem de facilitar a escolha de um produto, já que torna possível a sua avaliação qualitativa.

### **Propriedades Físicas:**

As propriedades físicas são determinadas de acordo com normas de ensaio associadas a cada uma delas.

As propriedades aqui apresentadas têm como fonte os fornecedores homologados dos materiais seleccionados. Cada fornecedor apresenta uma ficha técnica para cada produto, a qual foi para aqui transposta, tentando tanto quanto possível manter a forma original.

As propriedades abaixo enunciadas são as mais comuns que surgem nas fichas técnicas.

- ❖ **Resistência térmica e condutibilidade térmica:** (Estas propriedades são de declaração obrigatória)

Cada fabricante deve declarar o valor da resistência térmica e condutibilidade térmica.

No âmbito da marcação CE dos produtos de construção, em particular no que respeita aos isolantes térmicos, os fabricantes declaram um valor de condutibilidade térmica ou de resistência térmica, os quais são denominados de “valores declarados”.

O “valor declarado” representa um valor expectável da condutibilidade ou da resistência térmica de um material ou produto nas seguintes condições convencionais:

- determinado com base em resultados de ensaios realizados em condições definidas de referência ( temperatura média e teor de água de equilíbrio em ambiente normalizado);
- correspondente a um percentil e nível de confiança definidos;
- representativo de uma vida útil aceitável, em condições normais de utilização.

No caso dos isolantes térmicos, os valores declarados pelos fabricantes no âmbito da marcação CE são os valores de condutibilidade térmica que, com um nível de confiança de 90%, em média não são ultrapassados por 90% do produto colocado no mercado. Os valores de base são referenciados a uma temperatura média de ensaio de +10°C, e a um teor de água de equilíbrio num ambiente com +23°C de temperatura e 50% de humidade relativa. A vida útil assumida é de 25 anos, pelo que os valores declarados, de alguns produtos de isolamento térmico que perdem características ao longo do tempo é definido com base em resultados de ensaio realizados sobre amostras submetidas a um “envelhecimento acelerado” prévio, nomeadamente definido em normalização europeia relevante [16].

#### ❖ **Estabilidade dimensional:**

A estabilidade dimensional indica a alteração do material de acordo com as alterações ambientais, e pode ser utilizada para testar a durabilidade dos materiais contra o calor, condições climatéricas, o envelhecimento e a degradação.

Existem dois tipos de estabilidade dimensional. A primeira refere-se à obtida em condições constantes de laboratório (+23 °C e 50% de humidade relativa), e a segunda obtida sob condições específicas de temperatura e humidade, aplicadas durante um determinado período de tempo (habitualmente 48 horas) [3].

❖ **Deformação sob condições definidas de compressão e temperatura:**

Esta propriedade indica o comportamento do material submetido a uma determinada carga. O comportamento da deformação do material depende da temperatura ambiente, sendo maior a deformação quanto maior for a temperatura [3].

❖ **Resistência à flexão:** (Propriedade indispensável para a classificação do EPS e ICB)

Um nível adequado desta propriedade assegura uma boa coesão do material e, por conseguinte, boas propriedades de absorção de água. A norma harmonizada exige que para fins de manuseamento, a resistência à flexão deve ter um nível mínimo de 50 kPa [3].

❖ **Resistência à compressão:** (Propriedade indispensável para a classificação do EPS, XPS e da ICB)

Propriedade necessária para aplicações onde é efectuado carregamento sobre o isolamento térmico. A tensão de compressão é obtida quando os materiais atingem 10 % de deformação relativamente à sua espessura inicial [3].

❖ **Resistência à tracção perpendicular às faces:**

Esta é uma característica importante para a utilização dos materiais em sistemas ETICS, pois permite aferir a coesão destes quando estes se encontram a ser traccionados em ambas as faces. A norma harmonizada exige que a resistência à tracção perpendicular às faces,  $TR_i$ , tenha um nível mínimo de 20 kPa, e o valor deve ser declarado em intervalos de 10 kPa. Nenhum valor da resistência à tracção perpendicular às faces deve ser inferior à classe declarada [3].

❖ **Resistência ao corte:**

Esta é uma característica importante para a utilização destes materiais em sistemas ETICS, pois permite aferir a capacidade destes em suportar cargas numa das faces, nomeadamente do reboco delgado armado. A norma harmonizada exige que o valor de resistência ao corte,  $SS_i$ , seja declarado em intervalos de 5 kPa, e que nenhum valor da resistência à tracção perpendicular às faces deve ser inferior à classe declarada.

#### ❖ **Absorção de água:**

A absorção de água por difusão indica a absorção de água de um provete de EPS sujeito a um fluxo contínuo de vapor de água, durante 28 dias, sendo mais exigente que o ensaio de imersão. A absorção de água por difusão  $WD(V)_i$  deve ser declarada em intervalos de 1 % de volume, sendo que nenhum resultado pode exceder o valor declarado. A absorção de água por difusão não é apenas utilizada como um ensaio de envelhecimento acelerado, mas pode também ser utilizado para classificação do produto [3].

#### ❖ **Transmissão ao vapor de água:**

Do ensaio de transmissão ao vapor de água, uma das propriedades mais importantes para estes materiais é o factor de resistência à difusão de vapor de água,  $\mu$ , que é utilizado para verificar as condensações do vapor de água [3].

#### ❖ **Classificação de reacção ao fogo:** (Propriedade sempre declarada)

A reacção ao fogo é a única propriedade nos produtos de isolamento térmico, onde houve imposição de Euroclasses por parte da União Europeia. Este sistema europeu de classificação provocou a harmonização dos métodos de ensaio ao fogo, substituindo os métodos de ensaio nacionais. O novo sistema de classificação faz referência à classificação obtida para o tipo de aplicação final do produto.

O poliestireno expandido isoladamente obtém uma classificação de reacção ao fogo de E ou F. Na aplicação final, o conjunto poliestireno expandido mais revestimento pode obter classes E, D, C ou B. Por exemplo, o EPS recoberto com uma capa de gesso e argamassa de 1,5 cm de espessura obtém uma classificação B, s1 d0 [3].

### **3.7.1 EPS - Poliestireno Expandido**

#### ❖ **Características do produto EPS 100 [20]:**

- Absorção de água por imersão - < 2% de Volume;
- Factor de difusão do vapor de água – 30-70  $\mu$ ;
- Coeficiente de dilatação térmica linear -  $5-7 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;

- Estabilidade de forma à temperatura -85 °C;
- A estabilidade dimensional em condições normais de laboratório (+ 23°C, 50% de Humidade Relativa), o nível obtido é inferior a 5%: DS (TH);
- Classificação da reacção ao fogo pela EN 13501-1 - (Euroclasse): E;
- Classificação da reacção ao fogo pela especificação LNEC E365: M1 (não inflamável).

Tabela 3.1 - Características Técnicas do EPS 100 de acordo com EN 13163: 2012- Anexo ZA [20]

Espessura Nominal (mm)	Resistência Térmica Declarada (m <sup>2</sup> .°C/W)	Condutibilidade Térmica Declarada (W/m.°C)	Resistência à Compressão a 10% de deformação (KPa)	Resistência à flexão (KPa)
20	0,50	0,040	100	150
25	0,65	0,040		
30	0,75	0,039		
35	0,90	0,039		
40	1,05	0,039		
50	1,30	0,038		
60	1,55	0,038		
80	2,10	0,038		
100	2,60	0,038		
120	3,15	0,038		
150	3,90	0,038		

### 3.7.2 XPS - Poliestireno Extrudido

#### ❖ Propriedades do produto [19]:

- Excelentes características de isolamento, coeficiente de condutibilidade térmica ( $\lambda_d$ ) baixo e a uma absorção de água muito reduzida;
- Elevada resistência mecânica, nomeadamente à compressão;
- Auto-extinção ao fogo;
- Não contém CFC'S nem HCFC'S;
- Elevada estabilidade dimensional;
- Densidade homogénea;
- Insensibilidade ao ataque de ácidos e bases;
- Inércia às variações climatéricas;

- Compatível com os materiais de construção convencionais (argamassas de cimento, cal, gesso, etc.);
- Fácil de transportar, cortar e aplicar;
- Estas propriedades são estáveis ao longo do tempo;
- 100% Reciclável.

Tabela 3.2- Características Técnicas - XPS [19]

DADOS TÉCNICOS		Código de Designação segundo a norma EN13164: XPS-EN13164-T3-CS(10\Y) 300-DS(TH)		
Propriedades	Unidades de medida	EN standard	FIBRANxps ETICS GF	
Tipo de encaixe (perfil)			Recto (perfil em "I")	
Superfície			sem pele e gofrada	
Dimensões	mm	EN 822	1250 x 600	
Tolerância da espessura		EN 823	T3 +2/-2(<50mm) +3/-2(>50mm)	
Resistência à compressão (com 10% de deformação)	kPa	EN 826	300	
Condutibilidade Térmica Declarada – $\lambda_d$ (após 25 anos)	30mm	W/(m*K)	EN 12667	0,034
	40mm   50mm   60mm			0,035
	80mm			0,036
	100mm   120mm			0,038
Resistência Térmica Declarada – $R_d$ (após 25 anos)	30mm	m²K/W	EN 12667	0,85
	40mm   50mm   60mm			1,10   1,40   1,70
	80mm			2,20
	100mm   120mm			2,60   3,15
Estabilidade Dimensional	%	EN 1604	< 2	
Reacção ao fogo		Euroclass EN 13501-1	E	

Abreviaturas usadas no Código de Designação segundo a norma EN 13164 (Norma Europeia para produtos de isolamento térmico em poliestireno extrudido): XPS - poliestireno extrudido; T1 - Nível de tolerância da espessura declarada; CS(10\Y)x - Resistência a Compressão Declarada (com 10% de deformação); DS(TH) - Estabilidade dimensional declarada sob temperatura específica e condições de humidade.

### 3.7.3 ICB - Aglomerado Negro de Cortiça Expandida

#### ❖ Características do produto [17]:

- Coeficiente de condutibilidade térmica: de 0,036 a 0,040 W/m°C (o valor declarado e de 0,040 W/m°C);
- Densidade: de 105 a 130Kgs/m³;
- Coeficiente de absorção acústica (para 500Hz): 0.33;
- Tensão de Ruptura: de 1,4 a 2,0 Kgf/m²;
- Difusão térmica:  $1,4 \times 10^{-7}$  /  $1,9 \times 10^{-7}$  m²/s;
- Temperatura de uso: de -180°C a + 140°C;
- Elevada elasticidade;
- Estabilidade dimensional;

- Longa Durabilidade;
- Reciclável.

Tabela 3.3 - Características Técnicas do Aglomerado Negro de Cortiça Expandida [18]

Características Técnicas	Norma	Valores Limite/Tolerâncias	Classe
Comprimento	NP EN 822	1000 ± 5 mm	L2
Largura	NP EN 822	500 ± 3 mm	W2
Espessura	NP EN 823	(20 a 50 mm) ± 1mm (55 a 160 mm) ± 2mm	T1 T2
Esquadria	NP EN 824	≤ 2 mm	---
Planeza	NP EN 825	≤ 2mm	---
Massa Volúmica Aparente	NP EN 1602	≤ 130 kg/m <sup>3</sup>	---
Coefficiente de Condutibilidade Térmica	EN 12667	≤ 0,040 W/m.K ( $\lambda_D$ )	---
Rigidez Dinâmica (por 50mm de espessura)	EN 29052-1	≤ 126 MN/m <sup>3</sup>	SD126
Resistência à Flexão	NP EN 12089	≥ 130 kPa	---
Resistência à Compressão (10% deformação)	NP EN 826	≥ 100 kPa	CS(10)100
Resistência à Tração Perpendicular às Faces	NP EN 1607	≥ 50 kPa	TR50
Teor de Água	EN 12105	≤ 8%	---
Absorção de Água	NP EN 1609	≤ 0,5 kg/m <sup>2</sup>	WS
Reacção ao Fogo	EN ISO 11925-1	≤ 150 mm (h)	Euroclasse E

### 3.7.4 MW - Lã de Rocha

A designação PN100 aplica-se a painéis rígidos com 100 kg/m<sup>3</sup> de densidade e espessura uniforme, constituídos de fibras de lã de rocha aglutinadas com resina sintética termo-endurecida, sem revestimento (PN).

Tabela 3.4 - Características Técnicas - Lã de Rocha -PN 100- Fonte: Adaptado [21]

<b>DENSIDADE NOMINAL:</b>		<b>100 kg/m<sup>3</sup></b>								
<b>RESISTÊNCIA TÉRMICA R<sub>D</sub></b>		EN12667 EN12939								
ESPESSURA (mm)		30	40	50	60	80	100			
R (m <sup>2</sup> .K/W)		0.85	1.15	1.45	1.75	2.35	2.90			
VALOR DECLARADO DE CONDUTIBILIDADE TÉRMICA: $\lambda_D$ : 0.034 W / mK										
<b>REACÇÃO AO FOGO</b>		EN13501-1 EN ISO1182								
<b>INCOMBUSTÍVEL - EUROCLASSE A1</b>										
<b>ABSORÇÃO DE ÁGUA</b>		NP EN1609								
Ws ≤1.00 kg/m <sup>2</sup>										
<b>FACTOR DE DIFUSÃO AO VAPOR DE ÁGUA</b>		BS 2972								
μ : 1,3										
<b>COEFICIENTE DE ABSORÇÃO ACÚSTICA <math>\alpha_s</math></b>		EN ISO20354								
mm	F (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630
50	$\alpha_s$	0.10	0.38	0.47	0.63	0.54	0.64	0.87	0.98	0.85
80		0.12	0.31	0.66	0.86	0.78	0.84	0.99	0.99	0.96
100		0.19	0.49	1.04	0.96	0.75	1.00	0.96	1.12	0.92
<b>OUTRAS CARACTERÍSTICAS</b>										
ESQUADRIA	Desvio comprimento / largura < 5 mm									NP EN824
PLANEZA	Flecha ≤ 6 mm									NP EN825
ESTABILIDADE DIMENSIONAL	23°C / 90% HR: As variações relativas (larg. Δ e l comp. Δ e c) não excedem 0.0%									NP EN1604
	70°C / 50% HR: As variações relativas (larg. Δ e l comp. Δ e c) não excedem 0.0%									NP EN1604
RESISTÊNCIA À TRACÇÃO PARALELA ÀS FACES	≥ 60 kPa									NP EN 1608

## **4 Sistema Compósito de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS)**

O Sistema Compósito de Isolamento Térmico pelo Exterior designado pela sigla “ETICS” a partir da terminologia anglo-saxónica – *External Thermal Insulation Composite Systems* é um sistema colado (podem também ser utilizadas fixações suplementares com cavilhas em caso de necessidade) e destina-se a isolar termicamente as zonas opacas das fachadas.

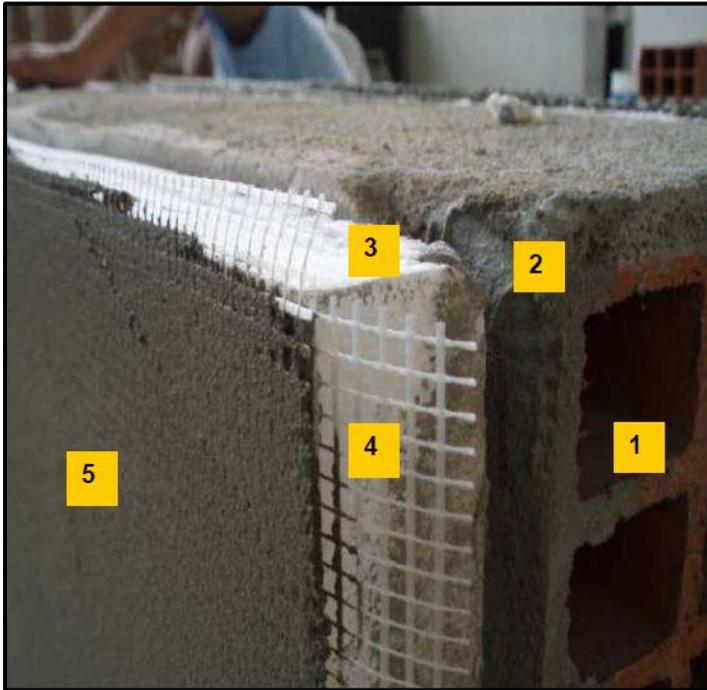
É aplicado em paramentos exteriores de paredes de alvenaria ou de betão, conferindo às paredes regularização, impermeabilização, isolamento térmico e acabamento final. Este sistema é indicado para corrigir as pontes térmicas, reduzindo o problema das condensações no interior e proteger a estrutura e a alvenaria dos choques térmicos, contribuindo assim para o aumento da durabilidade desses elementos.

Adicionalmente, apresenta algumas vantagens práticas, já que não reduz a área interior e, no caso da reabilitação, produz o mínimo incómodo para os utentes [5] .

### **4.1 Descrição geral**

O sistema ETICS é um dos casos particulares de soluções de isolamento térmico aplicáveis em paramentos exteriores de paredes.

Este sistema (figura 4.1) integra uma camada de isolante térmico aplicado na face exterior da parede, fixada por um produto de colagem (2) ou por fixação mecânica, ou por ambos os métodos. As placas podem possuir uma espessura variável de acordo com a resistência térmica que se pretende obter (normalmente entre 40 e 100 mm). Em Portugal as espessuras mais comuns são na ordem dos 40 mm a 60 mm. O tipo de isolante térmico mais utilizado em Portugal é o EPS mas também se usam o XPS e o ICB



Legenda:

- 1– Suporte (alvenaria de tijolo furado);
- 2– Produto de colagem das placas isolantes;
- 3 – Isolante térmico;
- 4– Reforço (rede de fibra de vidro);
- 5 – Camada de acabamento.

Figura 4.1 - Sistema ETICS

Sobre o isolante (3) é aplicada uma camada de base (2), normalmente constituída por uma argamassa de cimento modificada com resinas sintéticas, incorporando armaduras para melhoria da resistência à fendilhação e reforço da resistência aos choques. O produto usado como camada de base é em geral também usado como produto de colagem.

Nos sistemas onde existe fixação mecânica, a ligação ao suporte pode ser constituída por ancoragens directas do isolante ao suporte ou por perfis metálicos ancorados ao suporte, nos quais encaixam as placas de isolante.

Neste tipo de sistemas pode ser aplicada uma grande diversidade de acabamentos: revestimentos por pintura com tintas, revestimentos plásticos espessos (RPE) ou revestimentos minerais, de silicatos ou de cimento. É ainda possível usar revestimentos descontínuos, de ladrilhos cerâmicos, placas de pedra ou de outra natureza.

É desaconselhada a utilização de cores cujo coeficiente de absorção de radiação solar  $\alpha$  seja superior a 0,7 (quadro 4.1), excepto se a fachada se encontrar permanentemente protegida da radiação solar [10]. Uma fachada branca pode absorver apenas 25% da

energia do sol, enquanto a mesma fachada pintada com cor preta, pode absorver até 90%

Gama de cor da superfície	Coefficiente $\alpha$
Branco	0,2 a 0,3
Amarelo, creme, laranja, vermelho-claro	0,3 a 0,5
Vermelho-escuro, verde-claro, azul-claro	0,5 a 0,7
Castanho, azul-vivo, azul-escuro, verde-escuro	0,7 a 0,9
Castanho-escuro, preto	0,9 a 1,0

Quadro 4.1- Coeficiente de absorção da radiação solar - Fonte [10]

## 4.2 Vantagens de utilização do sistema

Os sistemas de isolamento térmico pelo exterior são uma solução eficiente, versátil e relativamente fácil de aplicar, pelo que se têm difundido muito no nosso País. Uma das suas principais vantagens é a grande liberdade de acabamentos que possibilita. Estes sistemas permitem ao projectista e/ou cliente a escolha do aspecto final pretendido, que pode variar desde os mais tecnológicos e sóbrios até aos mais tradicionais (semelhantes a revestimentos de reboco pintado), por forma a satisfazer o seu gosto/necessidade.

Este sistema trás vantagens para o edifício, para o utilizador, assim como para o meio ambiente. Abaixo estão enumeradas algumas das vantagens para cada um dos intervenientes, assim como um resumo das razões mais importantes para a escolha da aplicação do isolamento térmico pelo exterior.

### ❖ Para o edifício:

- Dispensa paredes duplas;
- Reduz custos;
- Aligeira em 3% o peso sobre as fundações;
- Acompanha os movimentos do edifício, pelo que não sofre fissurações;
- Protege todo o edifício contra as variações térmicas; por maiores que sejam;
- Repele a chuva batida;
- Adere por completo à envolvente;

- Recobre a totalidade dos materiais expostos;
- Evita a condensação no paramento interior das paredes envolventes ou à sua superfície, permanecendo a temperatura constante da envolvente acima do ponto de orvalho;
- Prolonga a longevidade do edifício;
- Dispensa a desocupação de edifícios a reabilitar.
- 

❖ **Para o utilizador:**

- Contribui consideravelmente para o conforto térmico;
- Traz efeitos benéficos quanto ao isolamento sonoro;
- Evita as condensações e o bolor;
- Beneficia a saúde por expirar o vapor aquoso e impedir correntes de ar devidas ao contraste da temperatura nas envolventes ou à humidade;
- Reduz os custos para aquecer ou arrefecer espaços;
- Diminui os custos de manutenção, protegendo toda a estrutura das amplitudes térmicas e da infiltração de chuva;
- Permite fiscalizar permanentemente a aplicação correcta do isolamento;
- Amplia o espaço coberto útil.

❖ **Para o ambiente:**

- Optimiza a utilização dos recursos energéticos;
- Economiza energias fósseis por reduzir ou eliminar a necessidade de climatização artificial;
- Defende a qualidade de vida das gerações vindouras por ausência de CFC'S e HCFC'S e por reduzir as emissões de dióxido de carbono.

❖ **As sete razões mais importantes para o isolamento térmico de edifícios**

**sustentáveis:**

- Optimizar a utilização dos recursos;
- Aumentar o conforto e a saúde (por ausência de correntes de ar devidas ao contraste das envolventes e à humidade);

- Redução do custo de exploração dos edifícios ( por considerável redução do seu aquecimento e arrefecimento);
- Aumentar a longevidade do edifício e diminuir os custos da sua manutenção (protegendo a estrutura das amplitudes térmicas);
- Aumentar o espaço coberto útil (por dispensa de paredes duplas);
- Eliminar a formação de condensações e de bolor;
- Defender a qualidade de vida das gerações vindouras (reduzindo as emissões de CO<sub>2</sub>).

### **4.3 Tipos de Sistemas**

Neste TFM serão analisados os sistemas que contêm os tipos de materiais isolantes anteriormente estudados. Estes são também os mais utilizados no nosso País.

Em Portugal, existem várias marcas que têm os sistemas homologados, os quais diferem nos materiais de colagem e de acabamento. A Weber-Saint-Gobain foi a primeira empresa a obter a homologação do sistema junto do LNEC. Os sistemas aqui estudados têm com referência os sistemas desta empresa.

#### **4.3.1 Descrição dos sistemas ETICS**

Os sistemas diferem entre si fundamentalmente pelo tipo de material isolante que utilizam. Estes são constituídos da forma já referida no ponto 4.1 deste trabalho.

As alterações que se podem encontrar estão relacionadas com o tipo de suporte, o qual pode ou não ser regularizado antes da aplicação do material isolante, com o tipo de fixação mecânica e com a aplicação ou não de rede reforçada.

### 4.3.2 Principais Componentes do sistema

Nas figuras 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5, estão representadas as composições dos diferentes sistemas com os seus principais componentes.

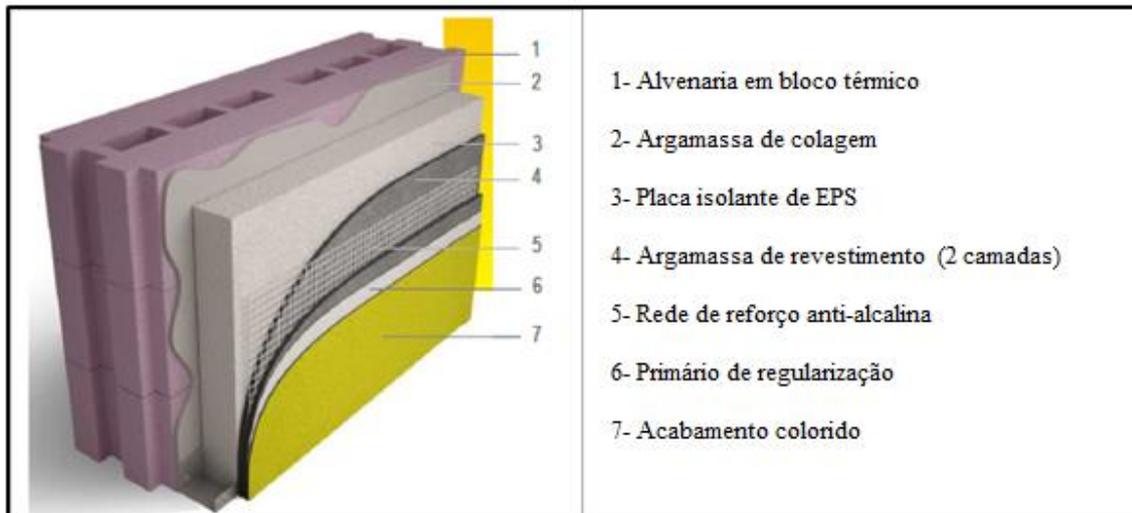


Figura 4.2- Sistema ETICS - Placa Isolante EPS – Fonte – Adaptado [10]

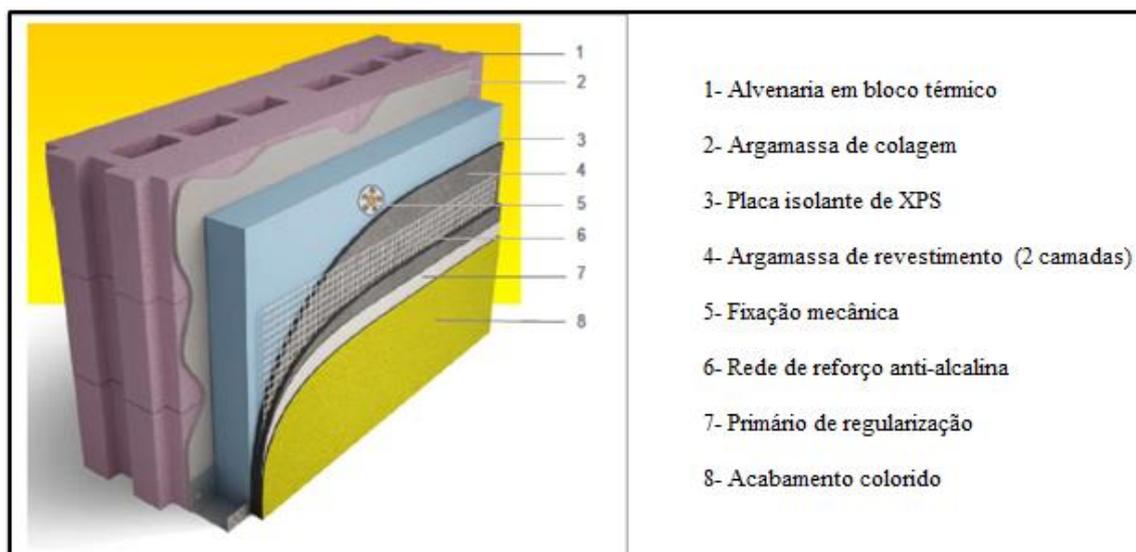


Figura 4.3 - Sistema ETICS - Placa Isolante XPS – Fonte – Adaptado [11]

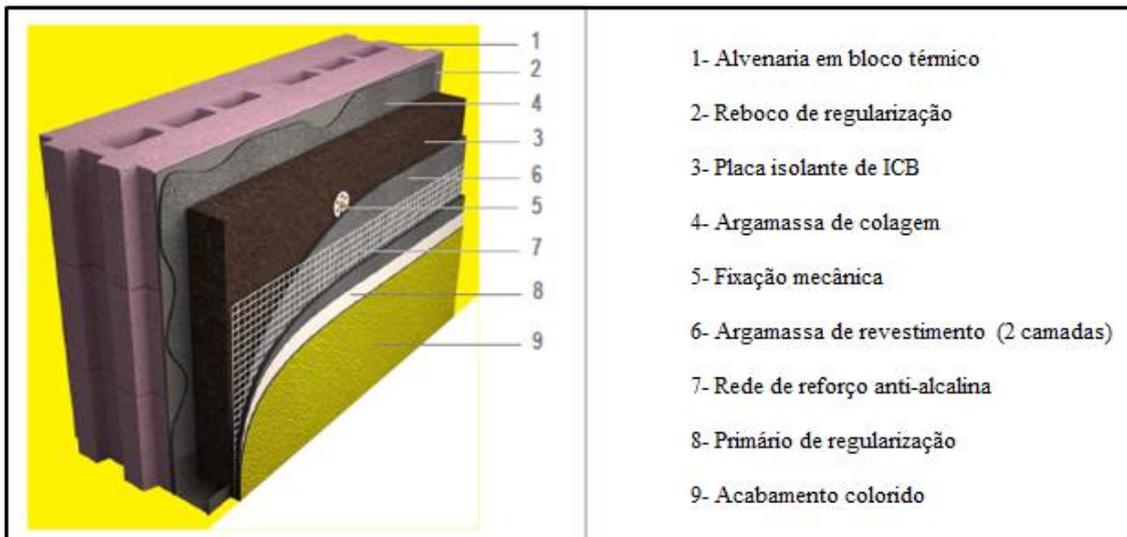


Figura 4.4 - Sistema ETICS - Placa Isolante ICB – Fonte – Adaptado [12]

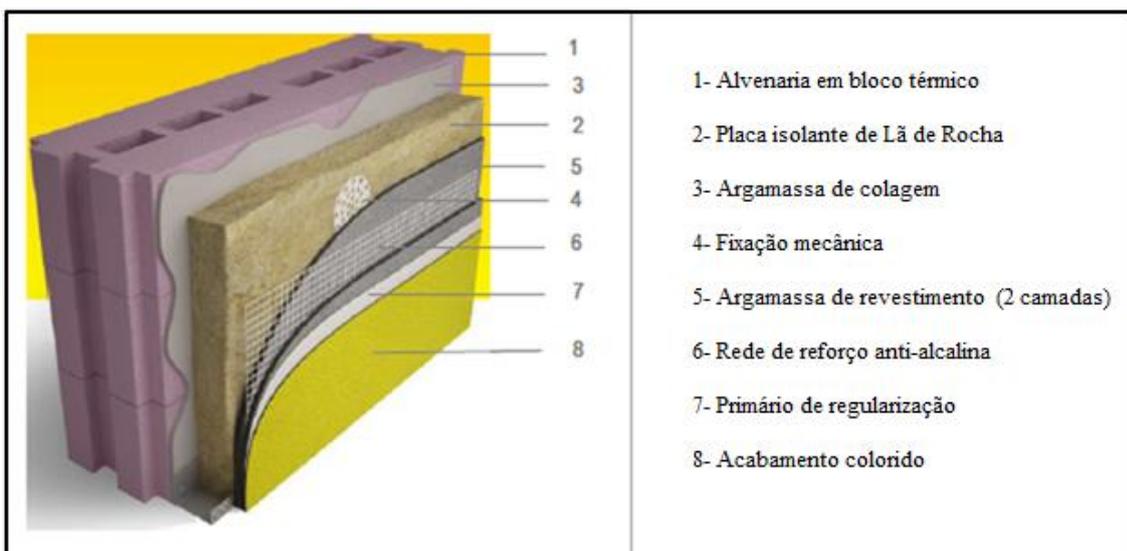


Figura 4.5 - Sistema ETICS - Placa Isolante Lã de Rocha – Fonte – Adaptado [13]

### 4.3.3 Campos de aplicação

O sistema destina-se ao isolamento térmico da envolvente opaca das fachadas dos edifícios, contribuindo para o seu desempenho energético e conforto térmico e higrotérmico. O sistema deve ser aplicado em suportes de alvenaria (por exemplo: tijolos, blocos de betão ou blocos de betão celular autoclavado) ou de betão (betonado *in situ* ou pré-fabricado).

Pode ser aplicado tanto em construções novas como em obras de reabilitação. No entanto, não é aplicável a suportes antigos muito espessos e porosos, por alterar as condições de evaporação da água.

Também pode ser aplicado em superfícies horizontais e inclinadas, desde que não estejam expostas directamente à acção da chuva.

O revestimento em fachadas acima dos 28 metros ou em edifícios cujo requisito da resistência contra o fogo seja fundamental, deve ser realizado com material isolante lã de rocha dando cumprimento aos requisitos do Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndios em Edifícios.

## **4.4 Execução do Sistema**

### **4.4.1 Preparação do Suporte**

Tal como com a maioria dos outros revestimentos, a aplicação do sistema não deve ser iniciada antes de o suporte ter sofrido a parte mais significativa da sua retracção de secagem inicial. Deste modo entre a execução da parede e a aplicação do revestimento deve decorrer, pelo menos, um mês.

Os suportes devem apresentar uma superfície plana, isenta de irregularidades e defeitos de planimetria superiores a 10 mm quando controlados com uma régua de 2 m de comprimento. Se esta condição não puder ser garantida, a superfície deverá ser regularizada através da aplicação de um reboco, com resistência adequada ao suporte de esforços, que deverá ter, pelo menos, um mês de idade quando forem aplicadas as placas de isolante térmico.

Os suportes devem ter absorção média, ser consistentes e estar isentos de poeiras ou óleos descofrantes e devem encontrar-se secos no momento da aplicação do sistema. Os suportes de betão degradado deverão sempre que necessário ser reparados (incluindo o tratamento de armaduras). As zonas fendilhadas devem também ser reparadas sempre que as fissuras apresentem abertura superior a 2 mm.

Em obras de reabilitação, os suportes devem ser verificados do ponto de vista da sua consistência, degradação, fissuração e teor de água, devendo ser removidas as zonas que não ofereçam segurança e reparadas as zonas danificadas. A existência persistente de teores de água elevados em períodos não chuvosos desaconselha a aplicação dos sistemas deste tipo, devendo ser verificada e corrigida primeiro a origem da humidade [5].

#### **4.4.2 Montagem das placas de isolante térmico**

As placas isolantes deverão ser aplicadas de baixo para cima, a partir do perfil de arranque, apoiando cada fiada de placas sobre a anterior. As placas são coladas ao suporte com a argamassa.

A argamassa é obtida através da amassadura de cada saco do produto (25 kg) com 6 a 7 litros de água limpa. A amassadura deve ser realizada com misturador de baixa rotação durante 2 ou 3 minutos até se obter uma pasta de consistência cremosa e sem grumos.

A argamassa deve ser aplicada no verso da placa, usando um método que dependerá das condições de planimetria do suporte e do tipo de material isolante (figura 4.6):

- para placas de EPS e XPS sobre alvenaria ou betão com alguma irregularidade, aplicar a argamassa em cordão com 3 a 4cm de espessura ao longo do perímetro da placa acrescentando dois pontos de argamassa no centro da mesma (1);
- em placas de MW (lã de rocha) a aplicação de cordão perimetral deve ser precedida de um barramento apertado contra a superfície da placa e com a mesma argamassa (2);
- em placas de aglomerado de cortiça, aplicar a argamassa em toda a superfície da placa com talocha dentada (dente 8 a 10 mm) (3);
- sobre superfícies regularizadas (reboco ou suporte a reabilitar), aplicar a argamassa em toda a superfície da placa com talocha dentada (dente 8 a 10 mm);

As placas devem ser montadas em posição horizontal em fiadas sucessivas, de baixo para cima, contrafiadas em relação à fiada inferior. Do mesmo modo, nas esquinas, os

topos das fiadas de placas deverão ser alternados para facilitar o travamento do sistema (4). Devem ser colocadas na sua posição definitiva pressionando contra o suporte, de modo a esmagar a argamassa de colagem e ajustando os seus contornos e planimetria superficial com as placas adjacentes, por forma a evitar juntas com folgas e desalinhamentos na superfície dos panos de parede. A verticalidade e o ajustamento planimétrico de cada placa em relação às adjacentes devem ser permanentemente verificados, usando régua metálica de 2 m e nível de bolha de ar. Eventuais discontinuidades planimétricas entre placas adjacentes devem ser eliminadas através de desgaste abrasivo das arestas desniveladas, eliminando os resíduos resultantes. Eventuais juntas abertas entre placas não devem ser preenchidas com a argamassa de revestimento, mas sim com tiras do mesmo material das placas ou espuma de poliuretano, antes da aplicação do revestimento.

Nos cantos das zonas envolventes dos vãos, as placas devem ser montadas de forma a “abraçar” o canto, evitando que juntas entre si correspondam ao alinhamento dos contornos do vão. Este cuidado contribuirá para diminuir a tendência para a formação de fendas a partir dos cantos do vão (5).

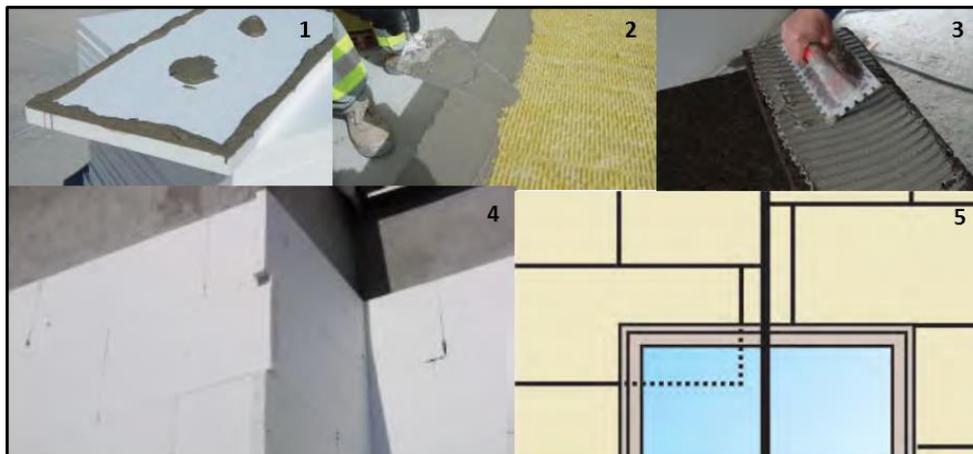


Figura 4.6 – Montagem das Placas de Isolamento – Fonte – Adaptado [9]

A colocação das placas de isolante deve ser cuidada e rigorosa, nomeadamente no que diz respeito à perfeição de planimetria em relação às placas adjacentes, para evitar

defeitos globais de planimetria da fachada, inaceitáveis pelo projectista ou dono de obra [5].

#### **4.4.3 Fixação mecânica das placas de isolante térmico**

É aconselhável a utilização de fixações mecânicas, complementares da colagem das placas isolantes, nas seguintes circunstâncias (figura 4.7):

- sempre que o sistema seja utilizado na reabilitação de um edifício, sobre suportes com revestimentos preexistentes que não ofereçam a adequada garantia de aderência das argamassas de colagem (pinturas, cerâmica, revestimentos plásticos espessos, etc.);
- em utilizações do sistema acima dos 10 metros de altura, quando este possa vir a estar sujeito a acções de pressão negativa (sucção) produzidas pelo vento superiores a 0,05 MPa;
- em outras situações em que haja dúvidas quanto à boa aderência da argamassa de colagem ao suporte.

Este reforço de fixação, quando justificado, é realizado pela instalação de cavilhas específicas, em número a definir pelo projectista em função das cargas previstas, nomeadamente devidas à acção do vento, mas não inferior a 6 cavilhas por m<sup>2</sup> (4) e pelo menos numa faixa de 1 m junto às esquinas do edifício. As cavilhas devem ter comprimento adequado à espessura da placa de isolante térmico a fixar (1). As cabeças circulares das cavilhas devem ser pressionadas de modo a esmagar a superfície da placa de EPS, para que não fiquem salientes do plano da mesma (2). As pequenas cavidades resultantes devem ser posteriormente preenchidas com argamassa de revestimento, numa operação prévia à aplicação da camada de base (3) [5].

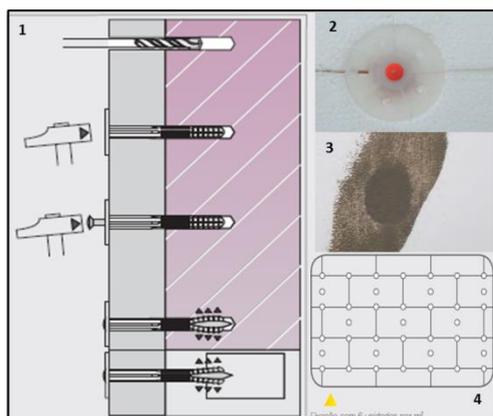


Figura 4.7 - Fixação Mecânica - Fonte - Adaptado [9]

#### 4.4.4 Tratamento de pontos singulares

As arestas do sistema, em esquinas de paredes e contornos dos vãos, devem ser reforçadas usando o perfil de alumínio ou PVC, que inclui rede de fibra de vidro com tratamento antialcalino (figura 4.8). Os perfis são colados directamente sobre as placas de EPS com a argamassa (1). As juntas de dilatação devem ser respeitadas, interrompendo o sistema, e rematadas com perfil da junta de dilatação sobre as placas de EPS com argamassa. O espaço interior do perfil de junta de dilatação deve ser selado com mástico para utilização exterior, sobre cordão de fundo de junta de espuma de polietileno, com secção de diâmetro adequado (2).

Nos encontros das placas com superfícies rígidas (caixilharia, planos salientes, varandas ou palas, remates de topo, etc.), deve ser deixada uma junta aberta com cerca de 5 mm, para ser preenchida com material elástico e impermeável do tipo mástico para utilização exterior (3).

O remate da placa isolante com o elemento fixo de caixilhos de janela deverá ser complementado com a aplicação de um perfil de janela garantindo um remate perfeito entre os revestimentos e o caixilho, e possibilitando a fixação de protecção da janela durante a execução dos trabalhos (4).

Antes da aplicação da primeira camada de revestimento, deve ser reforçada a superfície do sistema nos cantos da zona envolvente dos vãos. Este reforço deve ser feito

aplicando tiras de rede de fibra de vidro com cerca de 50 cm × 25 cm, posicionadas com inclinação a 45° e coladas sobre as placas de EPS usando a argamassa (5).

Nas padieiras das janelas ou portas, deve ser aplicado um perfil de pingadeira com rede abraçando a aresta do plano da fachada com o plano interior do vão. Este perfil permite realizar o reforço da aresta e evitar o recuo da água que pinga da fachada (6) [5,9].



Figura 4.8 - Tratamento de pontos Singulares - Fonte - Adaptado [9]

#### 4.4.5 Aplicação da camada de base

A argamassa é aplicada em duas camadas sobre as placas de EPS, incorporando uma armadura em rede de fibra de vidro com tratamento antialcalino. A aplicação da camada de base sobre as placas de EPS deverá ser realizada somente após o endurecimento da argamassa de colagem, estando garantida a estabilidade das placas (1 a 3 dias).

A argamassa deve ser aplicada por barramento, usando talocha metálica inoxidável, sendo a segunda camada aplicada após endurecimento da primeira (6 a 12 horas). A primeira camada deve ser aplicada com talocha denteada (dentes de 6 mm) para garantir uma espessura final de cerca de 2 mm; sobre o material ainda fresco, esticar a rede de fibra de vidro e alisar a argamassa com talocha lisa, incorporando a rede na superfície da mesma. A sobreposição lateral entre tiras de 1 m da rede de fibra de vidro deve ser de pelo menos 10 cm.

A segunda camada deve ter espessura adequada para garantir a cobertura da rede de fibra de vidro, que não deve ser perceptível ao olhar (figura 4.9). A espessura total da camada de base sobre as placas de EPS deve ser de pelo menos 3 mm. A superfície de acabamento da argamassa de revestimento deve resultar plana, sem ressaltos ou vincos e com textura uniforme em toda a extensão. A camada de base deve secar durante pelo menos 4 dias antes da aplicação do acabamento final.

As zonas do sistema expostas a acções de especial agressividade mecânica, nomeadamente as que são acessíveis aos utilizadores (até 2 m de altura a partir do solo, em varandas ou terraços, etc.), devem ser reforçadas através da aplicação de uma camada adicional da rede reforçada de fibra de vidro, incorporada numa camada de base adicional.

A camada de base deve manter espessura constante não devendo ser aplicadas sobre espessuras para corrigir defeitos graves de planimetria das placas isolantes, já que a utilização de espessuras elevadas pode originar o aparecimento de outras anomalias (fendilhação, ondulações, etc.) [5].



Figura 4.9 – Aplicação de camada de argamassa - Fonte [10]

#### **4.4.6 Aplicação do acabamento final**

O acabamento final (figura 4.10) deve contribuir para a impermeabilidade, protecção e decoração do sistema, sendo constituído por uma demão do primário de

homogeneização, aplicado a rolo, e pelo acabamento decorativo de base acrílica, aplicado por barramento, usando talocha lisa de inox, na referência de textura e cor escolhida pelo projectista. Os produtos são apresentados em balde, prontos a aplicar. O seu conteúdo deve ser misturado no balde antes da utilização para garantir uma distribuição homogénea dos seus constituintes [5].



Figura 4.10 – Acabamento Final – Fonte [10]

#### **4.4.7 Aplicação de revestimento cerâmico**

É possível realizar a aplicação de revestimento cerâmico como acabamento do sistema com placa de isolamento XPS, respeitando as seguintes condicionantes:

- A aplicação deverá ser feita até um máximo de 6 metros de altura;
- O revestimento cerâmico a utilizar não deverá exceder um peso de 30 kg/m<sup>2</sup> ou dimensões superiores a 900 cm<sup>2</sup> (30x30 cm); se o revestimento for do tipo “lâmina cerâmica” com 3 mm de espessura, a dimensão máxima poderá ser de 3600 cm<sup>2</sup> (60x60 cm);
- Em obra nova, o suporte para colagem das placas isolantes deverá ser plano (rebocado ou betão);
- A argamassa de colagem das placas XPS deverá ser aplicada em barramento integral no verso desta, usando talocha dentada (dente de 9 mm);

- Deverá ser aplicada fixação mecânica adicional à colagem das placas, com um mínimo de 8 pontos de fixação por placa, colocadas por cima da rede de fibra de vidro;
- A colagem do revestimento cerâmico só deve ser realizada sobre a argamassa de revestimento das placas de isolamento após pelo menos 7 dias depois da aplicação da última camada;
- A colagem deverá ser realizada usando o cimento-cola de ligantes mistos adequados ao tipo e dimensão da peça cerâmica a utilizar;
- As juntas entre peças cerâmicas deverão ser preenchidas com a argamassa de junta devendo estas respeitar uma largura mínima de 5 mm;
- Deverão ser realizadas juntas de fraccionamento elásticas que ajudem a absorver as deformações geradas pela dimensão dos panos de fachada: na horizontal ao nível de cada piso, na vertical a cada 4 m. Tais juntas deverão ter pelo menos 5 mm de largura e deverão ser preenchidas com material elástico do tipo mástique em cor adequada;
- Deverão ser respeitadas todas as boas regras relativas à colagem de revestimentos cerâmicos em fachadas;
- No caso de o revestimento cerâmico rematar com outro revestimento acima, a solução de remate deve ser detalhada de modo a prever a sua impermeabilidade e a diferença de comportamento à deformação dos materiais em presença.

#### **4.5 Condições gerais de aplicação do sistema**

As condições de aplicação enumeradas são semelhantes para os quatro sistemas, de acordo com o que se segue:

- Não aplicar o sistema em fachadas com inclinação superior a 45°;
- Não aplicar as argamassas com temperaturas atmosféricas inferiores a +5°C e superiores a +30°C;
- Evitar a aplicação em situação de vento forte;
- Não aplicar os materiais na eventualidade de poderem apanhar chuva enquanto não estiverem secos;

- Evitar a aplicação dos materiais sob a incidência directa dos raios solares;
- Não iniciar a aplicação do sistema sobre suportes em que não tenha decorrido pelo menos um mês sobre a sua execução (alvenarias, betão, reboco), para que se encontrem em condições de estabilidade e secagem adequados;
- As placas isolantes são fixadas ao respectivo suporte por colagem com a(s) argamassa(s) especificadas; deverá ser prevista no entanto uma fixação mecânica adicional nas condições previstas na ficha técnica do sistema;
- No caso do sistema com o aglomerado negro de cortiça expandida, o suporte para aplicação do sistema deverá apresentar superfície plana para permitir a colagem integral das placas isolantes;
- Os limites inferiores do sistema, quando expostos, deverão ser realizados com perfis adequados em alumínio ou PVC, que promovam a protecção mecânica do mesmo;
- As esquinas do sistema deverão ser reforçadas com perfis adequados, em alumínio ou PVC perfurado, que incluam rede de fibra de vidro anti-alkalina;
- Prever a utilização de elementos arquitectónicos (rufos, beirados, peitoris, etc.) de desenho adequado, que protejam superiormente o sistema de infiltrações de água da chuva e evitem a sua escorrência directa sobre as superfícies da fachada, procurando dificultar a acumulação indesejada de detritos e sujidades;
- Respeitar as juntas estruturais existentes na fachada, interrompendo o sistema, e proceder à sua selagem com recurso a perfil de remate adequado;
- Realizar os remates do sistema contra elementos rígidos (peitoris, caixilharias, paredes, elementos estruturais, etc.) através da introdução de juntas (ao nível da placa de isolamento), preenchidas com material deformável e impermeável do tipo mástique;
- No sistema com a placa isolante XPS é possível aplicar acabamento em revestimento cerâmico, se observadas as indicações enunciadas em 4.4.7 “Aplicação de revestimento cerâmico” [10,11,12,13].

## 4.6 Selecção da espessura do material de isolamento

A espessura do material de isolamento térmico a utilizar em cada parede de fachada depende da solução construtiva, da zona geográfica em que se localiza a F.A.e da interacção entre os vários parâmetros que configuram a avaliação do comportamento térmico do edifício.

Segundo o Decreto-Lei n.º 118/2013 [2] e o Despacho 15793 [22], é feita a divisão de Portugal Continental em Zonas Climáticas de Inverno e de Verão atribuindo a cada concelho um conjunto de características climáticas de referência (figura 4.11).

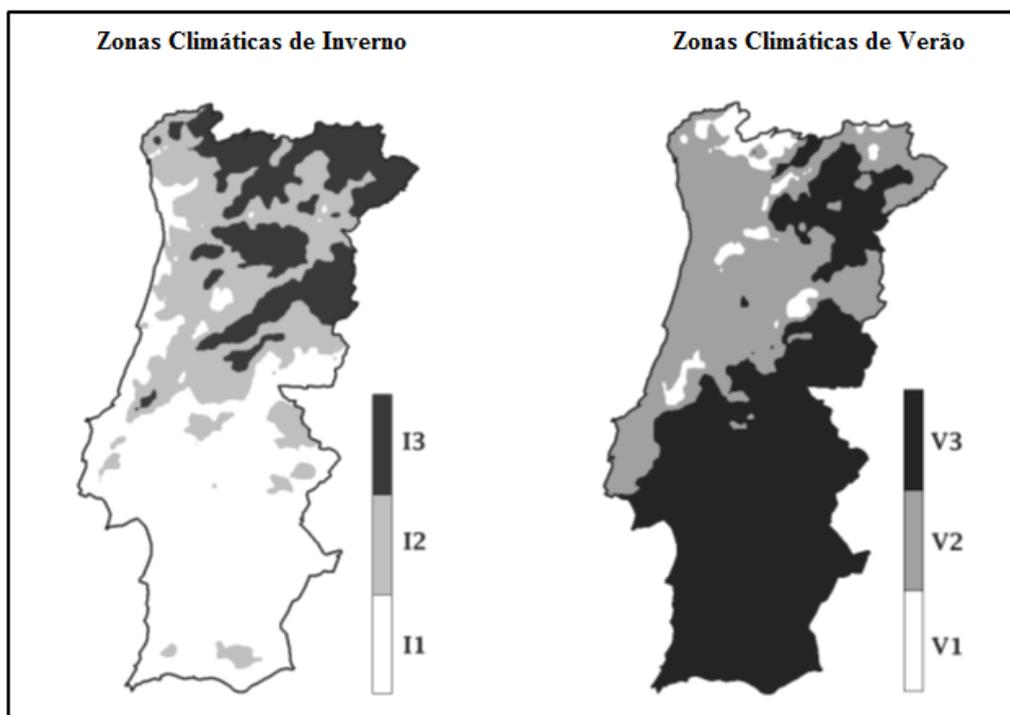


Figura 4.11- Zonas Climáticas de Portugal Continental - Fonte - Adaptada [22]

O zonamento climático do País (tabela 4.1) baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III. Adicionalmente são definidas

três zonas climáticas de inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2 e V3) para aplicação de requisitos de qualidade térmica da envolvente [22].

Tabela 4.1 -Zoneamento climático do País - Fonte - Adaptado [22]

NUTS III	Municípios
Minho-Lima	Arcos de Valdevez, Caminha, Melgaço, Monção, Paredes de Coura, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Valença, Viana do Castelo, Vila Nova de Cerveira
Alto Trás-os-Montes	Alfândega da Fé, Boticas, Bragança, Chaves, Macedo de Cavaleiros, Miranda do Douro, Mirandela, Mogadouro, Montalegre, Ribeira de Pena, Valpaços, Vila Flor, Vila Pouca de Aguiar, Vimioso, Vinhais
Médio Tejo	Abrantes, Alcanena, Constância, Entroncamento, Ferreira do Zêzere, Mação, Ourém, Sardoal, Tomar, Torres Novas, Vila Nova da Barquinha
Lezíria do Tejo	Almeirim, Alpiarça, Azambuja, Benavente, Cartaxo, Chamusca, Coruche, Golegã, Rio Maior, Salvaterra de Magos, Santarém
Grande Lisboa	Amadora, Cascais, Lisboa, Loures, Mafra, Odivelas, Oeiras, Sintra, Vila Franca de Xira
Península de Setúbal	Alcochete, Almada, Barreiro, Moita, Montijo, Palmela, Seixal, Sesimbra, Setúbal
Alto Alentejo	Alter do Chão, Arronches, Avis, Campo Maior, Castelo de Vide, Crato, Elvas, Fronteira, Gavião, Marvão, Monforte, Mora, Nisa, Ponte de Sôr, Portalegre

As zonas climáticas de Verão são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ( $\Theta_{ext, v}$ ).

As zonas climáticas de inverno são definidas a partir do número de graus-dias (GD) na base de +18 °C, correspondente à estação de aquecimento.

Estas zonas climáticas são influenciadas pelos dados climáticos médios, mas também pela altitude e distância à costa. A zona **I<sub>3</sub>** é a mais fria durante o Inverno e a zona **V<sub>3</sub>** a mais quente no Verão.

Como já foi referido no ponto 4.1, as espessuras mais comuns são na ordem dos 40 mm a 60 mm. No entanto nas zonas **I<sub>3</sub>**, as espessuras recomendadas são no mínimo 80 mm.

## 4.7 Guia de selecção de sistemas

Na tabela 4.2 podemos verificar o desempenho de cada um dos quatro sistemas, sendo esta uma indicação útil para a selecção do sistema pretendido.

Tabela 4.2 – Guia de selecção dos sistemas – Fonte – Adaptada [9]

SISTEMA	material isolante	condutibilidade térmica do isolante (W/m.°C)	acabamento	resistência superficial	resistência ao fogo	utilização em reabilitação	
						edifícios correntes	edifícios antigos
	placa de lã de rocha	0,036	acrílico colorido	•	•••	•••	•
	placa de aglomerado de cortiça	0,040	acrílico colorido	••	••	•••	•
	placa de EPS	0,036	acrílico colorido	•	•	•••	•
	placa de XPS	0,035	acrílico colorido	••	•	•••	•

- Desempenho razoável
- Desempenho bom
- Desempenho muito bom

## 5 Análise do Caso de Estudo

No âmbito da unidade curricular Trabalho Final de Mestrado (TFM), realizei um estágio na empresa *Kenotécil* com o objectivo de analisar e acompanhar a execução do sistema de isolamento térmico pelo exterior.

O projecto que acompanhei, aqui denominado “caso de estudo”, faz parte do projecto residencial a “Quinta do Aqueduto” localizado em Santo Antão do Tojal, concelho de Loures, a 16 quilómetros de Lisboa.

O projecto foi realizado pelo arquitecto Samuel Torres de Carvalho, do gabinete PPST Arquitectura. É um conjunto residencial, inserido numa área de 42.571m<sup>2</sup>, dos quais cerca de 7.500 m<sup>2</sup> são envolvente verde.

É composto por 30 apartamentos e 62 moradias de várias tipologias. Entre estas encontra-se o “caso de estudo” com a tipologia T3A, designada por lote 6 (imagem 5.1).



Imagem 5.1- Mapa geral da Quinta do Aqueduto

Os apartamentos contam com jardim, piscina, sala de condomínio e garagem colectiva. As moradias, são de dois pisos, com jardim privativo e piscina, solário na cobertura e estacionamento coberto.

Neste capítulo será realizado o estudo do comportamento térmico e respectiva classificação energética, seguindo-se a metodologia apresentada no REH [2] através da folha de cálculo da certificação energética (ITeCons – V1.06 de 28 de Agosto de 2014). A certificação será realizada com a solução construtiva isolamento na “caixa-de-ar” para as paredes da envolvente exterior, a qual será também designada por “solução base”.

## **5.1 Descrição Geral do Caso de Estudo**

A fracção do caso de estudo está integrada na Quinta do Aqueduto na freguesia de Santo Antão do Tojal, aproximadamente a 30 quilómetros da costa e a uma altitude de 18 metros. Está orientada a Nascente na fachada tardoz e a Poente na fachada principal, encostando a Norte com o lote 4 e a Sul com o lote 8.

É uma moradia unifamiliar T3, com acabamento exterior de cor clara, composta por dois pisos (piso 0 e piso 1), com uma área útil de pavimento de 135,74 m<sup>2</sup> e pé direito médio de 2,65 m.

Dispõe, no piso térreo, de uma sala comum com circulação directa ao jardim e piscina privativa, cozinha, lavabo social e ligação à garagem. No piso superior, estão as dependências íntimas, uma suíte e dois quartos, casas de banho, além de áreas para arrumos e ligação à cobertura a uma zona de solário. Dois dos quartos comungam com o exterior através de varandas.

Possui um sistema centralizado de produção de água quente por sistema de painéis solares em circuito fechado, apoiado por esquentador automático, ar condicionado com o sistema “inverter” com função de arrefecimento e aquecimento. Instalação completa na sala e pré instalação para zona de quartos.

Na tabela 5.1 podemos observar a sua composição por piso, as respectivas áreas e volumetria.

Tabela 5.1 - Áreas da fracção

Divisão	Área (m <sup>2</sup> )	Pdireito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Divisão	Área (m <sup>2</sup> )	Pdireito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
<i>Piso 0</i>				<i>Piso 1</i>			
Hall	6,06	2,65	16,059	Circulação	8,78	2,65	23,267
Sala	37,25	2,65	98,713	Suite	14,83	2,65	39,2995
Cozinha	16,09	2,65	42,639	Closet	7,13	2,65	18,8945
Circulação	2,4	2,65	6,36	I.S. Suite	7,59	2,65	20,1135
I.S.	2,08	2,65	5,512	2 x Quarto	25,9	2,65	68,635
				I.S. Quarto	7,63	2,65	20,2195
<b>Total 0</b>	<b>63,88</b>		<b>169,28</b>	<b>Total 1</b>	<b>71,86</b>		<b>190,429</b>
<b>Total</b>	<b>135,74</b>		<b>359,71</b>				

## 5.2 Zonamento Climático

Como foi referido no ponto 4.6, o zonamento climático do País baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III. A fracção autónoma localiza-se na zona de Loures, a qual está integrada na NUTS III - Grande Lisboa.

De acordo com a figura 5.1 (figura retirada do *Google earth*), o caso de estudo está a uma altitude de 18 m, parâmetro que é preponderante para determinar o zonamento climático.



Figura 5.1 - Altitude do Caso de Estudo

Na figura 5.2 podemos observar que o caso de estudo encontra-se na zona climática de Verão **V3**, e na zona climática de Inverno **I1**.

**Anos Meteorológicos de Referência** para simulação dinâmica  
 versão 1.3 (7 janeiro 2014)

**Seleção por município**

Loures

**Zona de referência**

NUTS 3: Grande Lisboa  
 Latitude: 38,9 °N (nominal)  
 Longitude: 9,2 °W (nominal)  
 Altitude: 109 m (referência)

**Local específico**

Município: Loures  
 Altitude: 18 m

**Dados climáticos**

	Referência	Neste local
<b>Estação de aquecimento</b>		
Período:	5,3	5,0 meses
T média:	10,8	11,2 °C
Graus-dia:	1071	916 °C
<b>Estação de arrefecimento</b>		
T média:	21,7	22,6 °C

**Zonas de verão e inverno**

V 3 I 1

preparar ficheiro  
 EPW (formato EnergyPlus Weather)

**LNEG** Software para Políticas Públicas  
 Sistema Nacional de Certificação de Edifícios  
 Decreto-Lei 118/2013 de 20 agosto

Figura 5.2 - Zonamento climático do Caso de Estudo

## 5.3 Delimitação da fracção autónoma

### 5.3.1 Determinação dos Espaços Não Úteis

O decreto-lei 80/2006 definia “Espaço não útil” como sendo o conjunto dos locais fechados, fortemente ventilados ou não, que não se encontram englobados na definição

de área útil de pavimento e que não se destinam à ocupação humana em termos permanentes e, portanto, por regra, não são climatizados. Incluem-se aqui armazéns, garagens, sótãos e caves não habitados e circulações comuns a outras fracções autónomas do mesmo edifício.

Na impossibilidade de conhecer com precisão o valor da temperatura do local não útil, dependente do uso concreto e real de cada espaço, admite-se que para alguns tipos de espaços não úteis  $b_{tr}$ , pode tomar os valores indicados na tabela 5.2, em função da taxa de renovação do ar, da razão  $A_i/A_u$  [22].

Onde  $A_i$  é o somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior útil do espaço não útil,  $A_u$  é o somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior e  $V_{enu}$  é o volume do espaço não útil [22].

Tabela 5.2 - Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis,  $b_{tr}$ , Fonte [22]

$b_{tr}$	$V_{enu} \leq 50m^3$		$50m^3 < V_{enu} \leq 200m^3$		$V_{enu} > 200m^3$	
	f	F	f	F	f	F
$A_i/A_u < 0,5$	1,0		1,0		1,0	
$0,5 \leq A_i/A_u < 1$	0,7	0,9	0,8	1,0	0,9	1,0
$1 \leq A_i/A_u < 2$	0,6	0,8	0,7	0,9	0,8	1,0
$2 \leq A_i/A_u < 4$	0,4	0,7	0,5	0,9	0,6	0,9
$A_i/A_u \geq 4$	0,3	0,5	0,4	0,8	0,4	0,8

Nota: Para espaços fortemente ventilados  $b_{tr}$ , deverá tomar o valor de 1,0.

**f** - Espaço não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas;

**F** - Espaço não útil permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas [22].

Na fracção autónoma em estudo encontram-se três espaços não úteis: o estacionamento e o espaço de tratamento de roupa, ambos no piso zero e os arrumos no piso 1. Na tabela 5.3 encontram-se os valores das áreas e dos volumes calculados para cada um dos

espaços, assim como os valores dos coeficientes de redução de perdas,  $b_{tr}$ , encontrados utilizando a tabela 5.2.

Tabela 5.3 - Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis,  $b_{tr}$ , para o caso de estudo

Espaço Não Útil	Área (m <sup>2</sup> )	Pdireito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	A <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>u</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>i</sub> / A <sub>u</sub>	$b_{tr}$	Req.
Tratamento de Roupa	3,45	2,65	9,1425	3,71	13,5	0,274	1	Exterior
Estacionamento	31,76	2,65	84,164	39,54	29,2	1,354	0,7	Interior
Arrumos	1,61	2,65	4,2665	6,731	9,95	0,676	0,7	Interior

$b_{tr}$	$V_{enu} \leq 50m^3$		$50m^3 < V_{enu} \leq 200m^3$		$V_{enu} > 200m^3$	
	f	F	f	F	f	F
$A_i/A_u < 0,5$	1,0		1,0		1,0	
$0,5 \leq A_i/A_u < 1$	0,7	0,9	0,8	1,0	0,9	1,0
$1 \leq A_i/A_u < 2$	0,6	0,8	0,7	0,9	0,8	1,0
$2 \leq A_i/A_u < 4$	0,4	0,7	0,5	0,9	0,6	0,9
$A_i/A_u \geq 4$	0,3	0,5	0,4	0,8	0,4	0,8

Observa-se que o espaço não útil, denominado de tratamento de roupa, tem um coeficiente  $b_{tr} > 0,7$  caracterizando, assim, a envolvente interior com requisitos de exterior. Nos casos do estacionamento e dos arrumos, os valores de  $b_{tr} \leq 0,7$  caracterizam as envolventes interiores com requisitos de interior.

### 5.3.1.1 Localização dos Espaços Não Úteis

Nas figuras 5.3 e 5.4 observam-se as localizações dos espaços não úteis no piso 0 e no piso 1.



Figura 5.3 - Planta do Piso 0 – Espaços não Úteis (ENU)



Figura 5.4 - Planta do Piso 1 – Espaços não Úteis (ENU)

### 5.3.2 Delimitação das envoltentes

Nas figuras 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8 observam-se as localizações das envoltentes exteriores com as respectivas cores as quais são função dos requisitos.

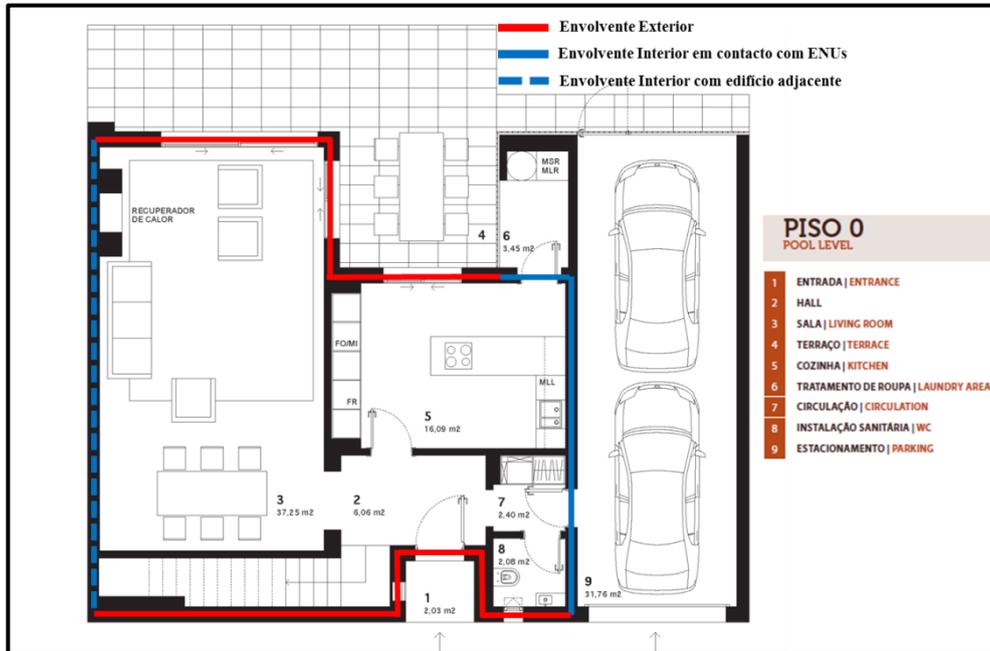


Figura 5.5 - Planta do Piso 0 - Envoltente

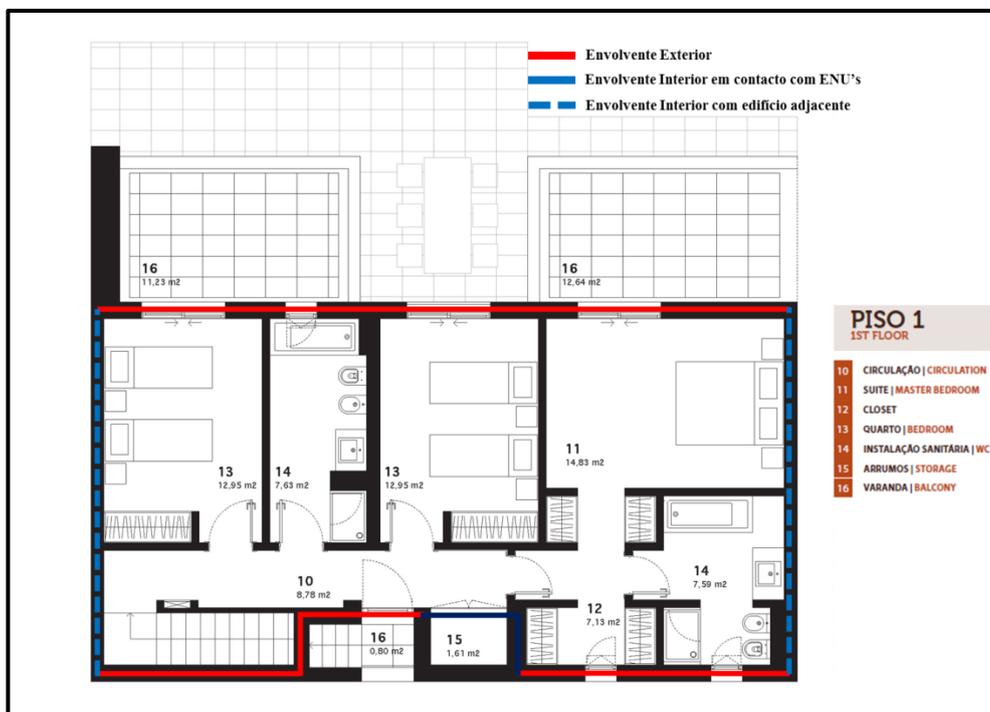


Figura 5.6 - Planta do Piso 1 - Envoltente

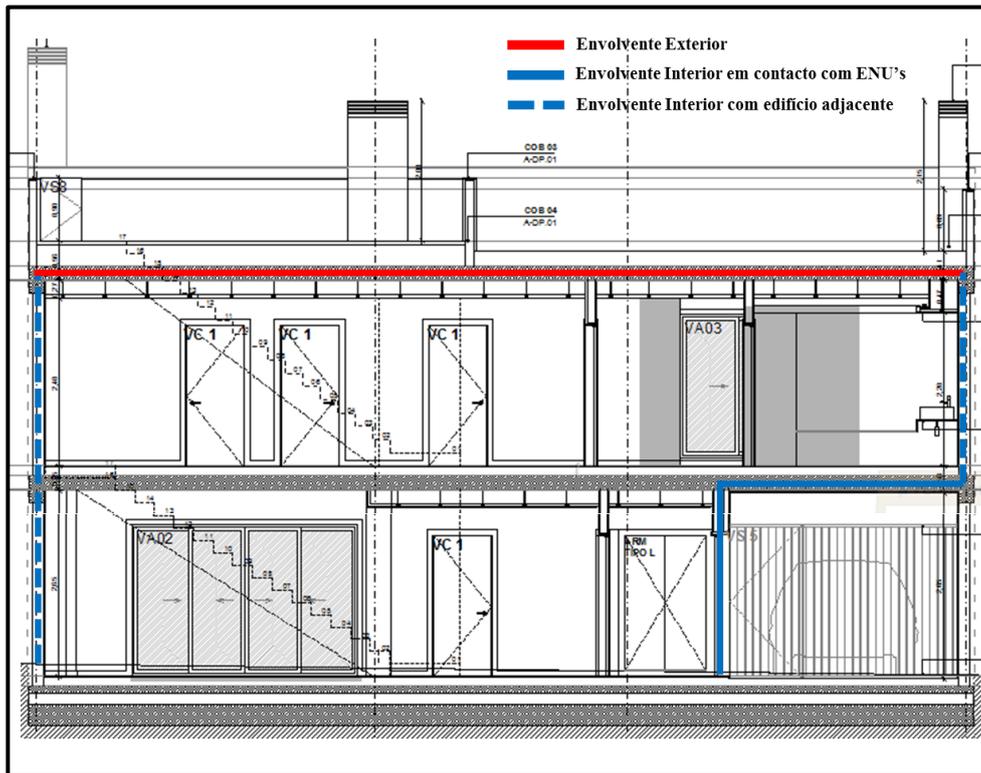


Figura 5.7 - Corte Longitudinal - Envolvente

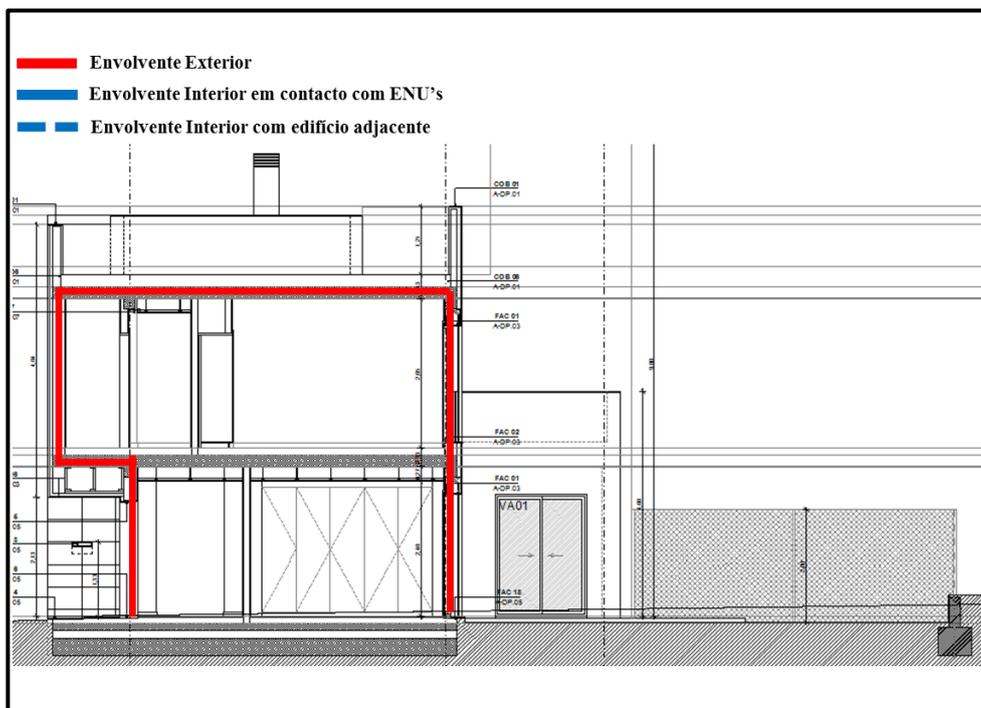


Figura 5.8 - Alçado Transversal - Envolvente

### 5.3.2.1 Requisitos dos Pavimentos

Nas figuras 5.9 e 5.10 observam-se os requisitos dos pavimentos dos dois pisos.

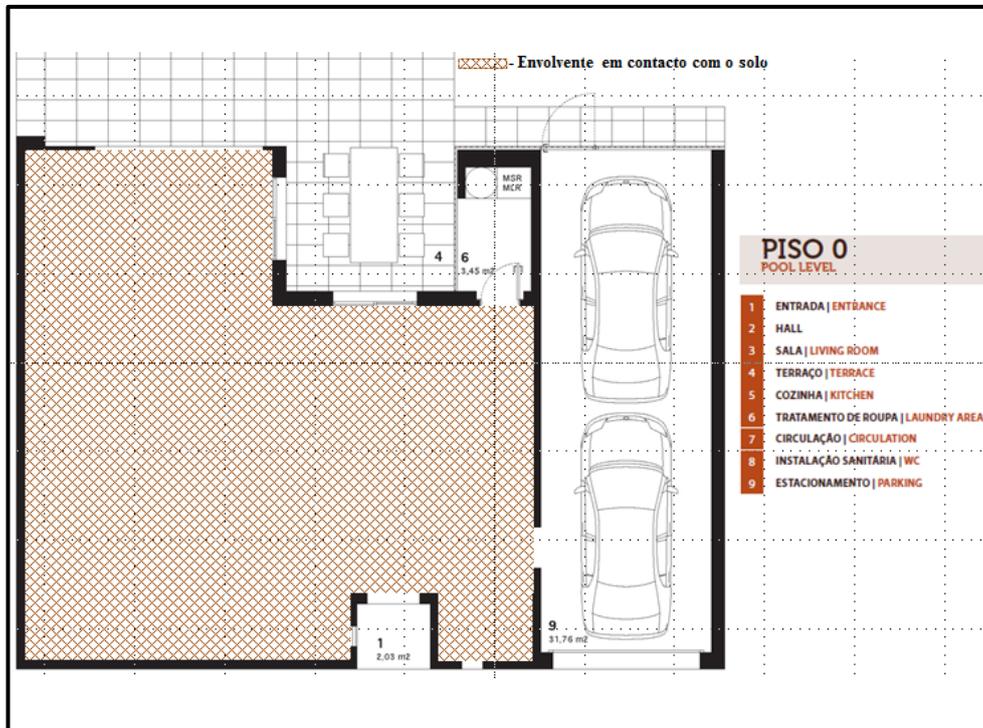


Figura 5.9 - Requisitos do Pavimento - Piso 0

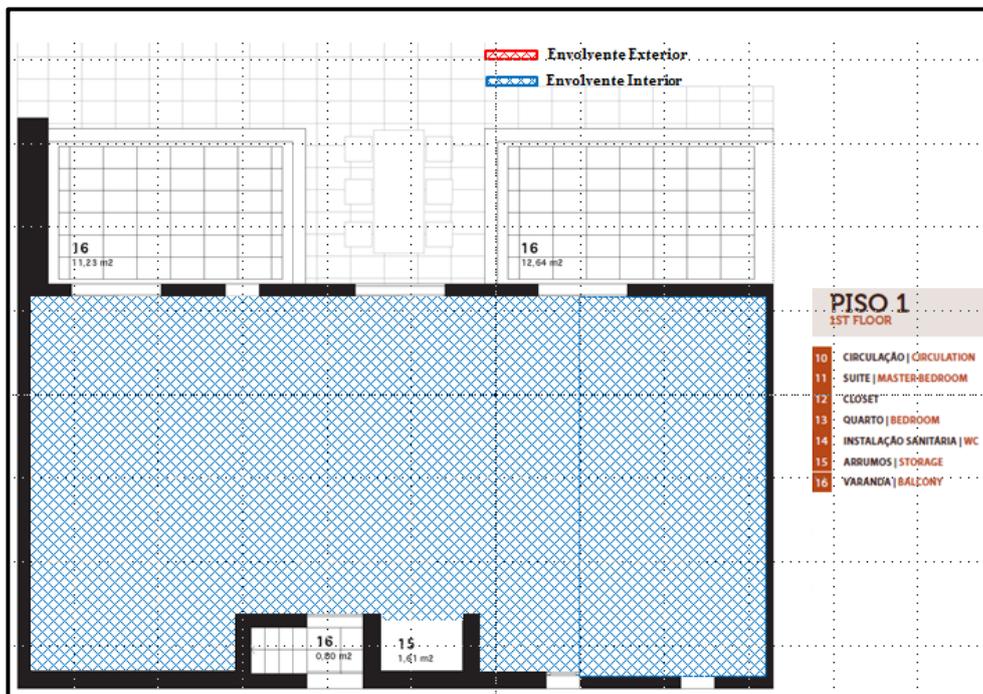


Figura 5.10 - Requisitos do Pavimento - Piso 1

### 5.3.2.2 Requisitos das Coberturas

Nas figuras 5.11 e 5.12 observam-se os requisitos das duas coberturas.

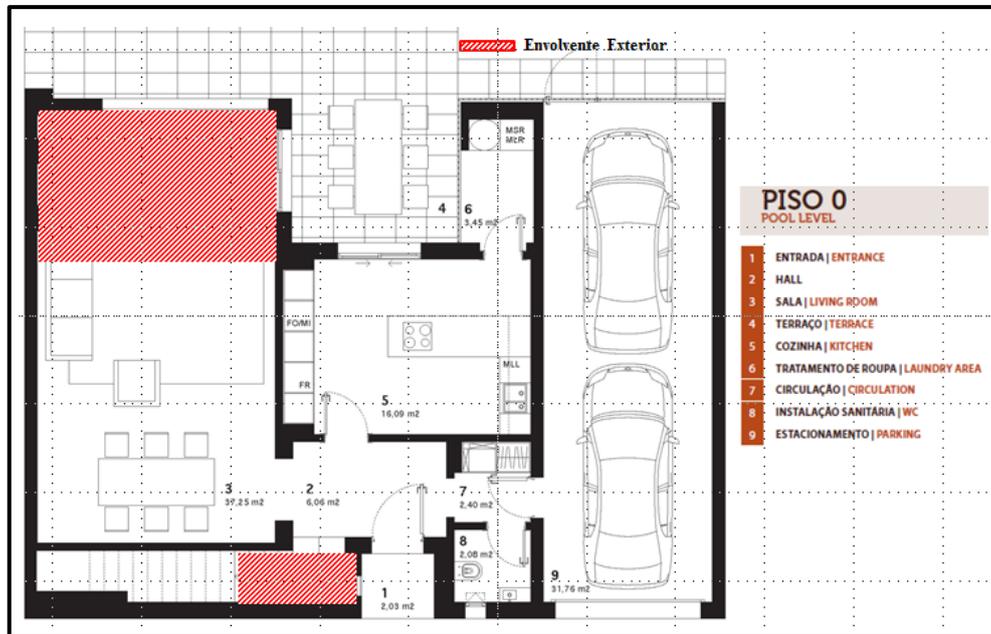


Figura 5.11 - Requisitos da Cobertura- Piso 0



Figura 5.12 - Requisitos da Cobertura

## 5.4 Descrição e caracterização das propriedades térmicas dos elementos da envolvente opaca

Os cálculos realizados para determinar os valores dos coeficientes de transmissão térmica ( $U$ ) das soluções construtivas têm como referência o ITE50 [16].

### 5.4.1 Paredes

#### 5.4.1.1 Paredes Exteriores (PE)

Para podermos tirar conclusões, serão feitas cinco simulações com cinco soluções construtivas para as paredes da envolvente exterior (isolamento na caixa-de-ar, isolamento pelo exterior com EPS, XPS, ICB e MW).

Nos pontos seguintes são apresentadas as soluções construtivas e o cálculo do coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ) de cada uma delas.

##### 5.4.1.1.1 Isolamento térmico na caixa-de-ar

Parede dupla de alvenaria de tijolo cerâmico furado (0,11 m + 0,11 m) com isolamento térmico ocupando parcialmente a caixa-de-ar de 0,06 m e encostado ao seu pano interior em placas rígidas de poliestireno extrudido com 0,04 m de espessura, rebocada pelo exterior (0,02m) e estucada pelo interior (0,02m), pintadas a cor clara (figura 5.13), com  $U = 0.49 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$  (quadro 5.1).

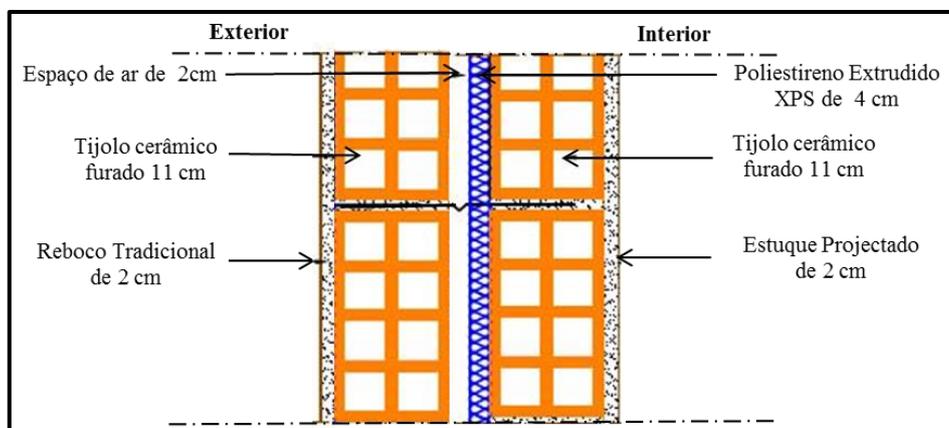


Figura 5.13 - Pormenor Construtivo - PE com isolamento na caixa-de-ar

PAREDE EXTERIOR - Isolamento na caixa-de-ar							
Elemento Construtivo	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	$R_{ij}$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$M_T$ (kg/m <sup>2</sup> )	$M_{si}$ (kg/m <sup>2</sup> )	Referência
Resistência Térmica Superficial - Rsi	-	-	0,13	-	-	-	ITE 50
estruque projectado 750	0,02	0,3	0,07	750	15,0	15,0	ITE 50
tijolo furado 11cm	0,11	-	0,27	88	88,0	88,0	ITE 50
XPS	0,04	0,037	1,08	33	1,3		ITE 50
Espaço de ar não ventilado horizontal 15-25mm	0,02	-	0,17	0	0,0		ITE 50
tijolo furado 11cm	0,11	-	0,27	88	9,7		ITE 50
argamassa de rebocos tradicionais 1800-2000	0,02	1,3	0,02	1900	38,0		ITE 50
Resistência Térmica Superficial - Rse	-	-	0,04	-	-	-	ITE 50
	<b>0,32</b>		<b>2,04</b>		<b>152,0</b>	<b>103,0</b>	<b>TOTAL</b>
Coeficiente de transmissão térmica					<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C) = 0,49</b>		
Coeficiente de transmissão térmica máximo admissível					1,75		

Quadro 5.1 - Coeficiente de transmissão térmica - PE - Isolamento na caixa-de-ar

#### 5.4.1.1.2 Isolamento térmico pelo exterior com EPS

Parede simples de alvenaria de tijolo cerâmico furado (0,22 m) com isolamento térmico pelo exterior em placas de EPS com 0,06 m de espessura, estucada pelo interior (0,02m) e, pelo exterior, tem acabamento decorativo de base acrílica de cor clara (0,02 m) (figura 5.14). Esta solução construtiva tem  $U = 0.44 \text{ W/m}^2.\text{°C}$  (quadro 5.2).

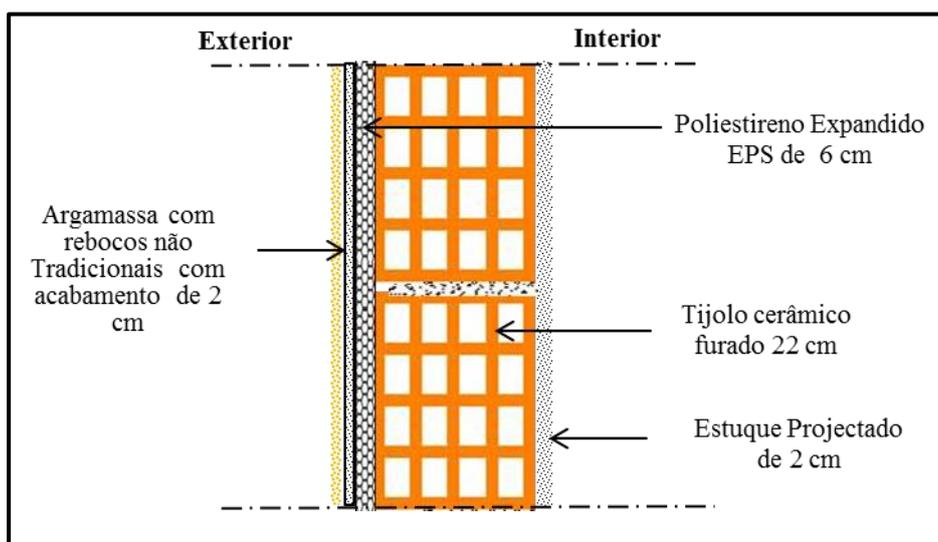


Figura 5.14 - Pormenor Construtivo - PE com isolamento pelo Exterior - EPS

PAREDE EXTERIOR - Isolamento pelo exterior com EPS							
Elemento Construtivo	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	$R_{ij}$ (m².°C/W)	$\rho$ (kg/m³)	$M_T$ (kg/m²)	$M_a$ (kg/m²)	Referência
Resistência Térmica Superficial - Rsi	-	-	0,13	-	-	-	ITE 50
estruque projectado 750	0,02	0,3	0,07	750	15,0	15,0	ITE 50
tijolo furado 22cm	0,22	-	0,52	144	144,0	144,0	ITE 50
EPS 15-20	0,06	0,04	1,50	18	1,1		ITE 50
argamassa de rebocos não tradicionais 1350	0,02	0,7	0,03	1350	27,0		ITE 50
Resistência Térmica Superficial - Rse	-	-	0,04	-	-	-	ITE 50
	<b>0,32</b>		<b>2,29</b>		<b>187,1</b>	<b>159,0</b>	<b>TOTAL</b>
Coeficiente de transmissão térmica					<b>U (W/m².°C) = 0,44</b>		
Coeficiente de transmissão térmica máximo admissível					1,75		

Quadro 5.2 - Coeficiente de transmissão térmica - PE – Isolamento pelo Exterior – EPS

#### 5.4.1.1.3 Isolamento térmico pelo exterior com XPS

Parede simples de alvenaria de tijolo cerâmico furado 0,22 m com isolamento térmico pelo exterior em placas de XPS com 0,06 m de espessura e estucada pelo interior (0,02m) e, pelo exterior, tem acabamento decorativo de base acrílica de cor clara (0,02 m) (figura 5.15). Esta solução construtiva tem  $U = 0.44 \text{ W/m}^2.\text{°C}$  (quadro 5.3).

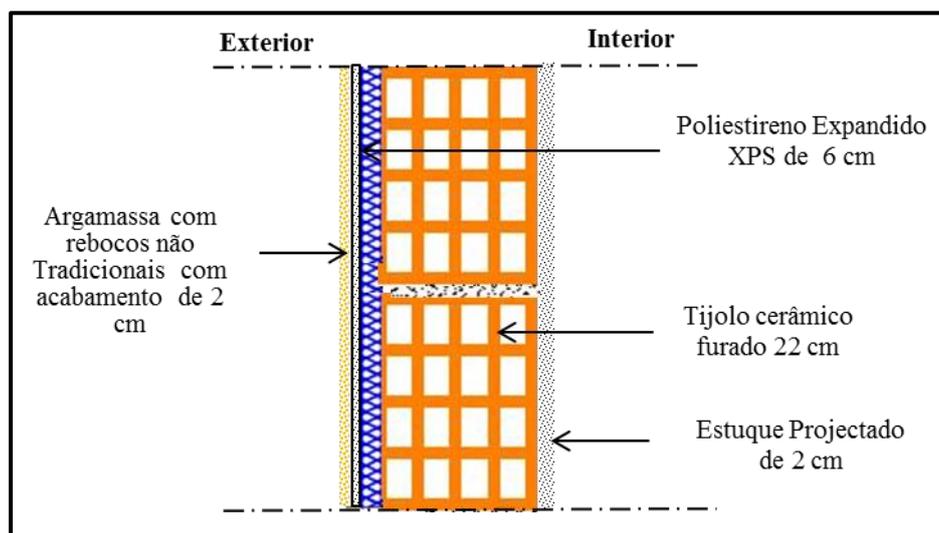


Figura 5.15 - Pormenor Construtivo - PE com isolamento pelo Exterior - XPS

PAREDE EXTERIOR - Isolamento pelo exterior com XPS							
Elemento Construtivo	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	$R_i$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$M_T$ (kg/m <sup>2</sup> )	$M_{\pm}$ (kg/m <sup>2</sup> )	Referência
Resistência Térmica Superficial - Rsi	-	-	0,13	-	-	-	ITE 50
estruque projectado 750	0,02	0,3	0,07	750	15,0	15,0	ITE 50
tijolo furado 22cm	0,22	-	0,52	144	144,0	144,0	ITE 50
XPS	0,06	0,037	1,62	33	2,0		ITE 50
argamassa de rebocos não tradicionais 1350	0,02	0,7	0,03	1350	27,0		ITE 50
Resistência Térmica Superficial - Rse	-	-	0,04	-	-	-	ITE 50
	<b>0,32</b>		<b>2,41</b>		<b>188,0</b>	<b>159,0</b>	<b>TOTAL</b>
Coeficiente de transmissão térmica					<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C) = 0,42</b>		
Coeficiente de transmissão térmica máximo admissível					1,75		

Quadro 5.3- Coeficiente de transmissão térmica - PE – Isolamento pelo Exterior - XPS

#### 5.4.1.1.4 Isolamento térmico pelo exterior com ICB

Parede simples de alvenaria de tijolo cerâmico furado 0,22 m com isolamento térmico pelo exterior em placas de ICB com 0,06 m de espessura e estucada pelo interior (0,02m) e, pelo exterior, tem acabamento decorativo de base acrílica de cor clara (0,02 m) (figura 5.16). Esta solução construtiva tem  $U = 0.44 \text{ W/m}^2.\text{°C}$  (quadro 5.4).

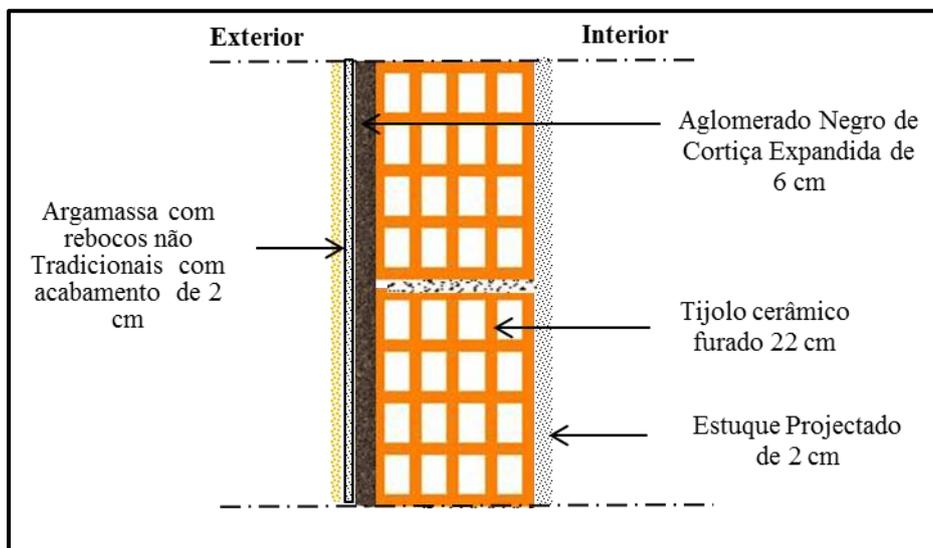


Figura 5.16 - Pormenor Construtivo - PE com isolamento pelo Exterior – ICB

PAREDE EXTERIOR - Isolamento pelo exterior com ICB							
Elemento Construtivo	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	$R_i$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$M_T$ (kg/m <sup>2</sup> )	$M_a$ (kg/m <sup>2</sup> )	Referência
Resistência Térmica Superficial - Rsi	-	-	0,13	-	-	-	ITE 50
estruque projectado 750	0,02	0,3	0,07	750	15,0	15,0	ITE 50
tijolo furado 22cm	0,22	-	0,52	144	144,0	144,0	ITE 50
aglomerado de cortiça expandida (ICB)	0,06	0,045	1,33	115	6,9		ITE 50
argamassa de rebocos não tradicionais 1350	0,02	0,7	0,03	1350	27,0		ITE 50
Resistência Térmica Superficial - Rse	-	-	0,04	-	-	-	ITE 50
	<b>0,32</b>		<b>2,12</b>		<b>192,9</b>	<b>159,0</b>	<b>TOTAL</b>
Coeficiente de transmissão térmica					<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C) = 0,47</b>		
Coeficiente de transmissão térmica máximo admissível					1,75		

Quadro 5.4 - Coeficiente de transmissão térmica - PE – Isolamento pelo Exterior - ICB

#### 5.4.1.1.5 Isolamento térmico pelo exterior com Lã de Rocha

Parede simples de alvenaria de tijolo cerâmico furado 0,22 m com isolamento térmico pelo exterior em placas de lã de rocha com 0,06 m de espessura, estucada pelo interior (0,02m) e, pelo exterior, tem acabamento decorativo de base acrílica de cor clara (0,02 m) (figura 5.17). Esta solução construtiva tem  $U = 0.44 \text{ W/m}^2.\text{°C}$  (quadro 5.5).

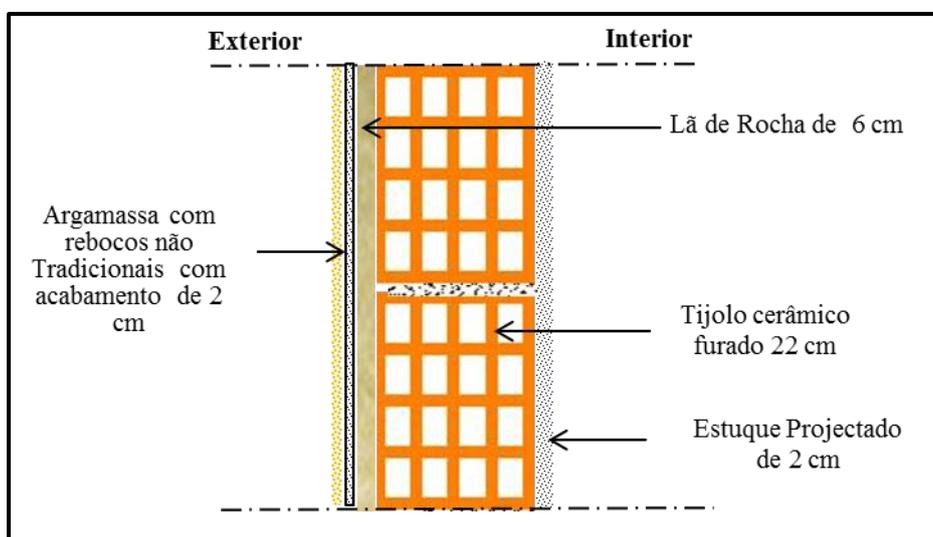


Figura 5.17 - Pormenor Construtivo - PE com isolamento pelo Exterior – Lã de Rocha

PAREDE EXTERIOR - Isolamento pelo exterior com Lã de Rocha							
Elemento Construtivo	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	$R_{ij}$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$M_T$ (kg/m <sup>2</sup> )	$M_{ei}$ (kg/m <sup>2</sup> )	Referência
Resistência Térmica Superficial - Rsi	-	-	0,13	-	-	-	ITE 50
estruque projectado 750	0,02	0,3	0,07	750	15,0	15,0	ITE 50
tijolo furado 22cm	0,22	-	0,52	144	144,0	144,0	ITE 50
Lã de rocha 35-100	0,06	0,04	1,50	68	4,1	-	ITE 50
argamassa de rebocos não tradicionais 1350	0,02	0,7	0,03	1350	27,0	-	ITE 50
Resistência Térmica Superficial - Rse	-	-	0,04	-	-	-	ITE 50
	<b>0,32</b>		<b>2,29</b>		<b>190,1</b>	<b>159,0</b>	<b>TOTAL</b>
Coeficiente de transmissão térmica					<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C) = 0,44</b>		
Coeficiente de transmissão térmica máximo admissível					1,75		

Quadro 5.5 - Coeficiente de transmissão térmica - PE – Isolamento pelo Exterior – Lã de Rocha

#### 5.4.1.2 Pilares (PTP)

Pilar de betão armado (0,22 m) com correcção da ponte térmica pelo exterior com placas de XPS de 0,06 m de espessura, rebocada pelo exterior (0,02m) e estucada pelo interior (0,02), pintados a cor clara com  $U = 0.51 \text{ W/m}^2.\text{°C}$  (quadro 5.6).

PAREDE EXTERIOR - PTP - Solução Base							
Elemento Construtivo	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	$R_{ij}$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$M_T$ (kg/m <sup>2</sup> )	$M_{ei}$ (kg/m <sup>2</sup> )	Referência
Resistência Térmica Superficial - Rsi	-	-	0,13	-	-	-	ITE 50
estruque projectado 750	0,02	0,3	0,07	750	15,0	15,0	ITE 50
betão armado (armadura 1-2%)	0,22	2,3	0,10	2350	517,0	517,0	ITE 50
XPS	0,06	0,037	1,62	33	2,0	-	ITE 50
argamassa de rebocos tradicionais 1800-2000	0,02	1,3	0,02	1900	38,0	-	ITE 50
Resistência Térmica Superficial - Rse	-	-	0,04	-	-	-	ITE 50
	<b>0,32</b>		<b>1,97</b>		<b>572,0</b>	<b>532,0</b>	<b>TOTAL</b>
Coeficiente de transmissão térmica					<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C) = 0,51</b>		
Coeficiente de transmissão térmica máximo admissível					0,98		

Quadro 5.6 - Coeficiente de transmissão térmica -Pilares – Solução Base

#### 5.4.1.3 Paredes interiores de separação de Espaços não Úteis (PENU)

##### 5.4.1.3.1 ENU - Estacionamento

Parede simples de alvenaria de tijolo cerâmico furado (0,15 m), rebocada pelo exterior (0,02m) e estucada pelo interior (0,015 m), pintadas a cor clara com um  $U = 0.45 \text{ W/m}^2.\text{°C}$  (quadro 5.7).

PAREDE INTERIOR - ENU Estacionamento							
Elemento Construtivo	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	$R_{fi}$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$M_T$ (kg/m <sup>2</sup> )	$M_{si}$ (kg/m <sup>2</sup> )	Referência
Resistência Térmica Superficial - Rsi	-	-	0,13	-	-	-	ITE 50
estruque projectado 750	0,02	0,3	0,07	750	15,0	15,0	ITE 50
tijolo furado 15cm	0,15	-	0,39	111	111,0	111,0	ITE 50
EPS 15-20	0,06	0,04	1,50	18	18,0	-	ITE 50
argamassa de rebocos tradicionais 1800-2000	0,02	1,3	0,02	1900	38,0	-	ITE 50
Resistência Térmica Superficial - Rsi	-	-	0,13	-	-	-	ITE 50
	<b>0,25</b>		<b>2,23</b>		182,0	<b>126,0</b>	<b>TOTAL</b>
Coeficiente de transmissão térmica					<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C) = 0,45</b>		
Coeficiente de transmissão térmica máximo admissível					2,00		

Quadro 5.7 - Coeficiente de transmissão térmica – ENU - Estacionamento

#### 5.4.1.3.2 ENU – Tratamento da Roupa

Parede simples de alvenaria de tijolo cerâmico furado (0,22 m), com placas de EPS de 0,06 m de espessura, estucada pelo interior e pelo exterior (0,02m) e pintadas a cor clara com  $U = 0.43 \text{ W/m}^2.\text{°C}$  (quadro 5.8).

PAREDE INTERIOR - ENU Tratamento da Roupa							
Elemento Construtivo	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	$R_{fi}$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$M_T$ (kg/m <sup>2</sup> )	$M_{si}$ (kg/m <sup>2</sup> )	Referência
Resistência Térmica Superficial - Rsi	-	-	0,13	-	-	-	ITE 50
estruque projectado 750	0,02	0,3	0,07	750	15,0	15,0	ITE 50
tijolo furado 22cm	0,22	-	0,52	144	144,0	144,0	ITE 50
EPS 15-20	0,06	0,04	1,50	18	18,0	-	ITE 50
estruque projectado 750	0,02	0,3	0,07	750	15,0	-	ITE 50
Resistência Térmica Superficial - Rse	-	-	0,04	-	-	-	ITE 50
	<b>0,32</b>		<b>2,32</b>		192,0	<b>159,0</b>	<b>TOTAL</b>
Coeficiente de transmissão térmica					<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C) = 0,43</b>		
Coeficiente de transmissão térmica máximo admissível					2,00		

Quadro 5.8 - Coeficiente de transmissão térmica – ENU - Tratamento da Roupa

#### 5.4.1.3.3 ENU – Arrumos

Parede simples de alvenaria de tijolo cerâmico furado de 0,15m, com placas de EPS de 0,05 m de espessura, estucada pelo interior e pelo exterior (0,02m) e pintadas a cor clara com  $U = 0.49 \text{ W/m}^2.\text{°C}$  (quadro 5.9).

PAREDE INTERIOR - ENU Arrumos							
Elemento Construtivo	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	$R_{fj}$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$M_T$ (kg/m <sup>2</sup> )	$M_{si}$ (kg/m <sup>2</sup> )	Referência
Resistência Térmica Superficial - Rsi	-	-	0,13	-	-	-	ITE 50
estruque projectado 750	0,02	0,3	0,07	750	15,0	15,0	ITE 50
tijolo furado 15cm	0,15	-	0,39	111	111,0	111,0	ITE 50
EPS 15-20	0,05	0,04	1,25	18	18,0	-	ITE 50
estruque projectado 750	0,02	0,3	0,07	750	15,0	-	ITE 50
Resistência Térmica Superficial - Rsi	-	-	0,13	-	-	-	ITE 50
	<b>0,24</b>		<b>2,03</b>		159,0	<b>126,0</b>	<b>TOTAL</b>
Coeficiente de transmissão térmica					<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C) = 0,49</b>		
Coeficiente de transmissão térmica máximo admissível					2,00		

Quadro 5.9 - Coeficiente de transmissão térmica – ENU – Arrumos

#### 5.4.1.4 Paredes de Compartimentação Interior das Fracções Autónomas (PI)

As paredes interiores são constituídas por alvenaria de tijolo de 0,11 m, estucadas com 0,02 m e com  $U = 1.51 \text{ W/m}^2.\text{°C}$  (quadro 5.10).

PAREDE INTERIOR - Compartimentação Tipo 1							
Elemento Construtivo	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	$R_{fj}$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$M_T$ (kg/m <sup>2</sup> )	$M_{si}$ (kg/m <sup>2</sup> )	Referência
Resistência Térmica Superficial - Rsi	-	-	0,13	-	-	-	ITE 50
estruque projectado 750	0,02	0,3	0,07	750	15,0	15,0	ITE 50
tijolo furado 11cm	0,11	-	0,27	88	88,0	88,0	ITE 50
estruque projectado 750	0,02	0,3	0,07	750	15,0	15,0	ITE 50
Resistência Térmica Superficial - Rsi	-	-	0,13	-	-	-	ITE 50
	<b>0,15</b>		<b>0,66</b>		118,0	<b>118,0</b>	<b>TOTAL</b>
Coeficiente de transmissão térmica					<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C) = 1,51</b>		

Quadro 5.10 - Coeficiente de transmissão térmica – Compartimentação Interior

#### 5.4.2 Caixa de Estore

Segundo o mapa de acabamentos as caixas de estore são isoladas, motorizadas, de lâminas horizontais, na cor cinza escuro, com comando electromecânico.

#### 5.4.3 Pavimentos

##### 5.4.3.1 Pavimento sobre o Espaço Não Útil

Laje em betão armado de 0,2 m de espessura seguida de camada de betonilha de regularização com 0,12 m, revestimento interior em pavimento flutuante estratificado

(0,01m), isolamento térmico pelo exterior com placas de XPS de 0,04 m de espessura e rebocado pelo exterior (0,01) com  $U = 0.61 \text{ W/m}^2\text{.}^\circ\text{C}$  (quadro 5.11).

PAVIMENTO INTERIOR - ENU							
Elemento Construtivo	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	$R_{ij}$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$M_T$ (kg/m <sup>2</sup> )	$M_a$ (kg/m <sup>2</sup> )	Referência
Resistência Térmica Superficial - Rsi (descendente)	-	-	0,17	-	-	-	ITE 50
argamassa de rebocos tradicionais 1800-2000	0,01	1,300	0,01	1900	24,7	-	ITE 50
XPS	0,04	0,037	1,08	33	1,3	-	ITE 50
betão armado (armadura > 2%)	0,2	2,500	0,08	2400	480,0	480,0	ITE 50
betão normal 2000-2300kg/m <sup>3</sup>	0,12	1,650	0,07	2150	258,0	258,0	ITE 50
madeiras densas	0,01	0,23	0,04	810	8,1	8,1	ITE 50
Resistência Térmica Superficial - Rsi (descendente)	-	-	0,17	-	-	-	ITE 50
	<b>0,38</b>		<b>1,63</b>		<b>772,1</b>	<b>746,1</b>	<b>TOTAL</b>
Coeficiente de transmissão térmica					<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C) = 0,61</b>		
Coeficiente de transmissão térmica máximo admissível							1,65

Quadro 5.11 - Coeficiente de transmissão térmica – ENU

### 5.4.3.2 Pavimento Térreo

No caso de estudo, o valor de  $z$  (valor médio da profundidade enterrada ao longo do perímetro exposto, [m]) é inferior a 1 m e o revestimento do pavimento na zona da sala, circulação e *hall*, é flutuante estratificado, enquanto que, na cozinha e na instalação sanitária é de mosaico porcelânico. Desta forma foram caracterizadas duas soluções construtivas.

#### 5.4.3.2.1 Revestimento flutuante estratificado

Constituído por revestimento flutuante estratificado, betonilha de regularização com 0.1 m de espessura, massame com 0.2 m de gravilha, isolamento em placas de poliestireno extrudido tipo *floormate* com 0,08 m de espessura e, junto ao solo, betão com 0,3 m com  $U = 0.37 \text{ W/m}^2\text{.}^\circ\text{C}$  (quadro 5.12).

PAVIMENTO EM CONTACTO COM O SOLO - Pavimento Flutuante							
Elemento Construtivo	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	$R_{ij}$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$M_T$ (kg/m <sup>2</sup> )	$M_a$ (kg/m <sup>2</sup> )	Referência
Resistência Térmica Superficial - Rsi (descendente)	-	-	0,17	-	-	-	ITE 50
madeiras densas	0,015	0,23	0,07	810	12,2	12,2	ITE 50
betão normal 2000-2300kg/m <sup>3</sup>	0,1	1,65	0,06	2150	215,0	215,0	ITE 50
areia, gravilha, seixo, brita	0,2	2	0,10	1950	390,0	390,0	ITE 50
XPS	0,08	0,037	2,16	33	2,6		ITE 50
betão normal 2300-2600kg/m <sup>3</sup>	0,3	2	0,15	2450	735,0		ITE 50
	<b>0,70</b>		<b>2,71</b>		1354,8	<b>617,2</b>	<b>TOTAL</b>
Coeficiente de transmissão térmica					<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C) = 0,37</b>		

Quadro 5.12 – Pavimento em contacto com o solo – Pavimento Flutuante

#### 5.4.3.2.2 Revestimento de Cerâmica

Constituído por revestimento com mosaico porcelânico, betonilha de regularização com 0.1 m de espessura, massame com 0.2 m de gravilha, isolamento em placas de poliestireno extrudido tipo *floormate* com 0,08 m de espessura e, junto ao solo, betão com 0,3 m com  $U = 0.38 \text{ W/m}^2.\text{°C}$  (quadro 5.13).

PAVIMENTO EM CONTACTO COM O SOLO - Revestimento de Cerâmico							
Elemento Construtivo	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	$R_{ij}$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$M_T$ (kg/m <sup>2</sup> )	$M_a$ (kg/m <sup>2</sup> )	Referência
Resistência Térmica Superficial - Rsi (descendente)	-	-	0,17	-	-	-	ITE 50
cerâmica vidrada/grês cerâmico	0,015	1,3	0,01	2300	34,5	34,5	ITE 50
betão normal 2000-2300kg/m <sup>3</sup>	0,1	1,65	0,06	2150	215,0	215,0	ITE 50
areia, gravilha, seixo, brita	0,2	2	0,10	1950	390,0	390,0	ITE 50
XPS	0,08	0,037	2,16	33	2,6		ITE 50
betão normal 2300-2600kg/m <sup>3</sup>	0,3	2	0,15	2450	735,0		ITE 50
	<b>0,70</b>		<b>2,65</b>		1377,1	<b>639,5</b>	<b>TOTAL</b>
Coeficiente de transmissão térmica					<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C) = 0,38</b>		

Quadro 5.13– Pavimento em contacto com o solo – Revestimento Cerâmico

#### 5.4.3.3 Pavimento Interior à Fracção Autónoma (Pav Int F.A.)

À semelhança do que acontece com o pavimento térreo também o pavimento de compartimentação interior apresenta duas soluções construtivas. Na circulação e no *hall* foi colocado tecto falso, o que não acontece na sala e na cozinha.

#### 5.4.3.3.1 Pavimento sem tecto falso

Laje em betão armado com 0,2 m de espessura, com uma camada de betonilha de regularização com 0,12 m de espessura, com revestimento flutuante estratificado (0.01 m) no primeiro andar e estuque projectado (0.02m) no rés do chão com  $U = 2.16$   $W/m^2.°C$  (quadro 5.14).

PAVIMENTO INTERIOR - Compartimentação - Sala e Cozinha							
Elemento Construtivo	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	$R_{ij}$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$M_T$ (kg/m <sup>2</sup> )	$M_{si}$ (kg/m <sup>2</sup> )	Referência
Resistência Térmica Superficial - Rsi (ascendente)	-	-	0,10	-	-	-	ITE 50
estuque projectado 750	0,02	0,300	0,07	750	15,0	15,0	ITE 50
betão armado (armadura > 2%)	0,2	2,500	0,08	2400	480,0		ITE 50
betão normal 2000-2300kg/m <sup>3</sup>	0,12	1,650	0,07	2150	258,0		ITE 50
madeiras densas	0,01	0,23	0,04	810	8,1		ITE 50
Resistência Térmica Superficial - Rsi (ascendente)	-	-	0,10	-	-	-	ITE 50
	<b>0,35</b>		<b>0,46</b>		<b>761,1</b>	<b>15,0</b>	<b>TOTAL</b>
Coeficiente de transmissão térmica					<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C) = 2,16</b>		
Coeficiente de transmissão térmica máximo admissível							

Quadro 5.14 - Pavimento Interior – Sala e Cozinha

#### 5.4.3.3.2 Pavimento com tecto falso

Laje em betão armado com 0,2 m de espessura, com uma camada de betonilha de regularização com 0,12 m de espessura, com revestimento flutuante estratificado (0.01 m) no primeiro andar, placas de gesso cartonado com 0.25 m de espessura e estuque projectado (0.02m) no rés-do-chão com  $U = 0.68$   $W/m^2.°C$  (quadro 5.15).

PAVIMENTO INTERIOR - Compartimentação - Circulação e hall							
Elemento Construtivo	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	$R_{ij}$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$M_T$ (kg/m <sup>2</sup> )	$M_{si}$ (kg/m <sup>2</sup> )	Referência
Resistência Térmica Superficial - Rsi (ascendente)	-	-	0,10	-	-	-	ITE 50
estuque projectado 750	0,02	0,300	0,07	750	15,0	15,0	ITE 50
placas de gesso cartonado	0,25	0,250	1,00	875	218,8	218,8	ITE 50
betão armado (armadura > 2%)	0,2	2,500	0,08	2400	480,0		ITE 50
betão normal 2000-2300kg/m <sup>3</sup>	0,12	1,650	0,07	2150	258,0		ITE 50
madeiras densas	0,01	0,23	0,04	810	8,1		ITE 50
Resistência Térmica Superficial - Rsi (ascendente)	-	-	0,10	-	-	-	ITE 50
	<b>0,60</b>		<b>1,46</b>		<b>979,9</b>	<b>233,8</b>	<b>TOTAL</b>
Coeficiente de transmissão térmica					<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C) = 0,68</b>		
Coeficiente de transmissão térmica máximo admissível							

Quadro 5.15 - Pavimento Interior – Circulação e Hall

## 5.4.4 Coberturas

### 5.4.4.1 Cobertura em varanda e terraço

Laje em betão armado com 0,2 m de espessura seguido de camada de betonilha de regularização com 0,05 m de espessura, membrana de impermeabilização (0.01 m), sobre a qual será colocado isolamento térmico de 0.04 m de poliestireno extrudido e revestimento exterior em lajetas de betão pré fabricadas de cor clara (0.03 m) e estuque projectado no interior com 0.02 m. No caso do fluxo ascendente com  $U = 0.69 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$  (quadro 5.16) e no caso do fluxo descendente com  $U = 0.66 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$  (Quadro 5.17).

COBERTURA EXTERIOR -PISO 0 - Sala /Escada							fluxo ascendente
Elemento Construtivo	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	$R_{ij}$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$M_T$ (kg/m <sup>2</sup> )	$M_a$ (kg/m <sup>2</sup> )	Referência
Resistência Térmica Superficial - Rsi (ascendente)	-	-	0,10	-	-	-	ITE 50
estuque projectado 750	0,02	0,3	0,07	750	15,0	15,0	ITE 50
betão armado (armadura > 2%)	0,20	2,5	0,08	2400	480,0	480,0	ITE 50
betão normal 2000-2300kg/m <sup>3</sup>	0,05	1,65	0,03	2150	107,5	107,5	ITE 50
membranas flexíveis impregnadas com betume	0,01	0,23	0,04	1050	10,5	10,5	ITE 50
XPS	0,04	0,037	1,08	33	1,3		ITE 50
betão normal 2300-2600kg/m <sup>3</sup>	0,03	2	0,02	2450	73,5		ITE 50
Resistência Térmica Superficial - Rse (ascendente)	-	-	0,04	-	-	-	ITE 50
	<b>0,35</b>		<b>1,46</b>		<b>687,8</b>	<b>613,0</b>	<b>TOTAL</b>
Coeficiente de transmissão térmica					<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C) = 0,69</b>		
Coeficiente de transmissão térmica máximo admissível							1,25

Quadro 5.16 – Cobertura em varanda e terraço – Fluxo ascendente

COBERTURA EXTERIOR -PISO 0 - Sala /Escada							fluxo descendente
Elemento Construtivo	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	$R_{ij}$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$M_T$ (kg/m <sup>2</sup> )	$M_a$ (kg/m <sup>2</sup> )	Referência
Resistência Térmica Superficial - Rsi (descendente)	-	-	0,17	-	-	-	ITE 50
estuque projectado 750	0,02	0,3	0,07	750	15,0	15,0	ITE 50
betão armado (armadura > 2%)	0,20	2,5	0,08	2400	480,0	480,0	ITE 50
betão normal 2000-2300kg/m <sup>3</sup>	0,05	1,65	0,03	2150	107,5	107,5	ITE 50
membranas flexíveis impregnadas com betume	0,01	0,23	0,04	1050	10,5	10,5	ITE 50
XPS	0,04	0,037	1,08	33	1,3		ITE 50
betão normal 2300-2600kg/m <sup>3</sup>	0,03	2	0,02	2450	73,5		ITE 50
Resistência Térmica Superficial - Rse (descendente)	-	-	0,04	-	-	-	ITE 50
	<b>0,35</b>		<b>1,53</b>		<b>687,8</b>	<b>613,0</b>	<b>TOTAL</b>
Coeficiente de transmissão térmica					<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C) = 0,66</b>		
Coeficiente de transmissão térmica máximo admissível							1,25

Quadro 5.17 - Cobertura em varanda e terraço – Fluxo descendente

### 5.4.4.2 Cobertura Invertida

A cobertura apresenta duas soluções construtivas: uma na área lúdica - com lajetas em betão pré-fabricado de cor clara, e outra na restante área, onde foi projectada a colocação de godo na cor clara.

#### 5.4.4.2.1 Cobertura com lajetas

Laje em betão armado com 0,2 m de espessura seguido de camada de betonilha de regularização com 0,1 m de espessura, membrana de impermeabilização (0,02 m), sobre a qual será colocado isolamento térmico de 0,04 m de poliestireno extrudido e revestimento exterior em lajetas de betão pré fabricadas (0,05 m), gesso cartonado (0,25 m) e estuque projectado pelo interior com 0,02 m. No caso do fluxo ascendente com  $U = 0,39 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$  (quadro 5.18) e no caso do fluxo descendente com  $U = 0,38 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$  (Quadro 5.19).

COBERTURA EXTERIOR - Lajetas de Betão							fluxo ascendente
Elemento Construtivo	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	$R_i$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$M_T$ (kg/m <sup>2</sup> )	$M_{\text{si}}$ (kg/m <sup>2</sup> )	Referência
Resistência Térmica Superficial - Rsi (ascendente)	-	-	0,10	-	-	-	ITE 50
estuque projectado 750	0,02	0,3	0,07	750	15,0	15,0	ITE 50
placas de gesso cartonado	0,25	0,25	1,00	875	218,8	218,8	ITE 50
betão armado (armadura > 2%)	0,20	2,5	0,08	2400	480,0	480,0	ITE 50
betão normal 2000-2300kg/m <sup>3</sup>	0,1	1,65	0,06	2150	215,0	215,0	ITE 50
membranas flexíveis impregnadas com betume	0,02	0,23	0,09	1050	21,0	21,0	ITE 50
XPS	0,04	0,037	1,08	33	1,3	-	ITE 50
betão normal 2300-2600kg/m <sup>3</sup>	0,05	2	0,03	2450	122,5	-	ITE 50
Resistência Térmica Superficial - Rse (ascendente)	-	-	0,04	-	-	-	ITE 50
	<b>0,68</b>		<b>2,54</b>		1073,6	<b>949,8</b>	<b>TOTAL</b>
Coeficiente de transmissão térmica					<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C) = 0,39</b>		
Coeficiente de transmissão térmica máximo admissível							1,25

Quadro 5.18 - Cobertura em Lajetas de Betão – Fluxo ascendente

COBERTURA EXTERIOR - Lajetas de Betão							fluxo descendente
Elemento Construtivo	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	$R_{ij}$ (m².°C/W)	$\rho$ (kg/m³)	$M_T$ (kg/m²)	$M_{\pm}$ (kg/m²)	Referência
Resistência Térmica Superficial - Rsi (descendente)	-	-	0,17	-	-	-	ITE 50
estruque projectado 750	0,02	0,3	0,07	750	15,0	15,0	ITE 50
placas de gesso cartonado	0,25	0,25	1,00	875	218,8	218,8	ITE 50
betão armado (armadura >2%)	0,20	2,5	0,08	2400	480,0	480,0	ITE 50
betão normal 2000-2300kg/m³	0,1	1,65	0,06	2150	215,0	215,0	ITE 50
membranas flexíveis impregnadas com betume	0,02	0,23	0,09	1050	21,0	21,0	ITE 50
XPS	0,04	0,037	1,08	33	1,3		ITE 50
betão normal 2300-2600kg/m³	0,05	2	0,03	2450	122,5		ITE 50
Resistência Térmica Superficial - Rse (descendente)	-	-	0,04	-	-	-	ITE 50
	<b>0,68</b>		<b>2,61</b>		1073,6	<b>949,8</b>	<b>TOTAL</b>
Coeficiente de transmissão térmica					<b>U (W/m².°C) = 0,38</b>		
Coeficiente de transmissão térmica máximo admissível							1,25

Quadro 5.19 - Cobertura em Lajetas de Betão – Fluxo descendente

#### 5.4.4.2.2 Cobertura com Godo

Laje em betão armado com 0,2 m de espessura seguido de camada de betonilha de regularização com 0,1 m de espessura, membrana de impermeabilização (0,02 m), sobre a qual será colocado isolamento térmico de 0,04 m de poliestireno extrudido e revestimento exterior em godo (0,05 m), gesso cartonado (0,25 m) e estuque projectado pelo interior com 0,02 m. No caso do fluxo ascendente com  $U = 0,39 \text{ W/m}^2.\text{°C}$  (quadro 5.20) e no caso do fluxo descendente com  $U = 0,38 \text{ W/m}^2.\text{°C}$  (quadro 5.21).

COBERTURA EXTERIOR - Godo							fluxo ascendente
Elemento Construtivo	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	$R_{ij}$ (m².°C/W)	$\rho$ (kg/m³)	$M_T$ (kg/m²)	$M_{\pm}$ (kg/m²)	Referência
Resistência Térmica Superficial - Rsi (ascendente)	-	-	0,10	-	-	-	ITE 50
estruque projectado 750	0,02	0,3	0,07	750	15,0	15,0	ITE 50
placas de gesso cartonado	0,25	0,25	1,00	875	218,8	218,8	ITE 50
betão armado (armadura >2%)	0,20	2,5	0,08	2400	480,0	480,0	ITE 50
betão normal 2000-2300kg/m³	0,1	1,65	0,06	2150	215,0	215,0	ITE 50
membranas flexíveis impregnadas com betume	0,02	0,23	0,09	1050	21,0	21,0	ITE 50
XPS	0,04	0,037	1,08	33	1,3		ITE 50
areia, gravilha, seixo, brita	0,05	2	0,03	1950	97,5		ITE 50
Resistência Térmica Superficial - Rse (ascendente)	-	-	0,04	-	-	-	ITE 50
	<b>0,68</b>		<b>2,54</b>		1048,6	<b>949,8</b>	<b>TOTAL</b>
Coeficiente de transmissão térmica					<b>U (W/m².°C) = 0,39</b>		
Coeficiente de transmissão térmica máximo admissível							1,25

Quadro 5.20 - Cobertura em Godo – Fluxo ascendente

COBERTURA EXTERIOR - Godo							fluxo descendente
Elemento Construtivo	$d_i$ (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	$R_{ij}$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$M_T$ (kg/m <sup>2</sup> )	$M_a$ (kg/m <sup>2</sup> )	Referência
Resistência Térmica Superficial - Rsi (descendente)	-	-	0,17	-	-	-	ITE 50
estruque projectado 750	0,02	0,3	0,07	750	15,0	15,0	ITE 50
placas de gesso cartonado	0,25	0,25	1,00	875	218,8	218,8	ITE 50
betão armado (armadura > 2%)	0,20	2,5	0,08	2400	480,0	480,0	ITE 50
betão normal 2000-2300kg/m <sup>3</sup>	0,1	1,65	0,06	2150	215,0	215,0	ITE 50
membranas flexíveis impregnadas com betume	0,02	0,23	0,09	1050	21,0	21,0	ITE 50
XPS	0,04	0,037	1,08	33	1,3	-	ITE 50
areia, gravilha, seixo, brita	0,05	2	0,03	1950	97,5	-	ITE 50
Resistência Térmica Superficial - Rse (descendente)	-	-	0,04	-	-	-	ITE 50
	<b>0,68</b>		<b>2,61</b>		<b>1048,6</b>	<b>949,8</b>	<b>TOTAL</b>
Coeficiente de transmissão térmica					<b>U (W/m<sup>2</sup>.°C) = 0,38</b>		
Coeficiente de transmissão térmica máximo admissível							1,25

Quadro 5.21 - Cobertura em Godo – Fluxo descendente

### 5.4.5 Portas

Segundo o mapa de acabamentos as portas interiores são tipo placarol, folheadas a MDF hidrófugo, a porta de entrada é de alta segurança constituída por estrutura de aço com acabamento exterior em pintura de esmalte clara. O valor do U encontrado foi de 5.81 W/m°C.

### 5.4.6 Cálculo da Inércia Térmica

A inércia está relacionada com a estrutura opaca da fracção autónoma e com a sua massa específica. A massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento calcula-se através da seguinte expressão:

$$I_t = \frac{\sum i M_{Si} r S_i}{A_p} \quad [\text{kg/m}^2]$$

Em que :

$M_{Si}$  - Massa superficial útil do elemento  $i$ , [kg/m<sup>2</sup>];

$r$  - Factor de redução da massa superficial útil;

$S_i$  - Área da superfície interior do elemento  $i$ , [m<sup>2</sup>];

$A_p$  - Área interior útil de pavimento, [m<sup>2</sup>].

A classe de inércia térmica do edifício ou fracção determina-se conforme a tabela 5.4, isto é, de acordo com o valor da massa superficial útil por superfície de área de pavimento.

Tabela 5.4 - Classes da Inércia Térmica Interior – Fonte [22]

Classe de inércia térmica	$I_t$ [kg/m <sup>2</sup> ]
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

A inércia térmica que se obteve (tabela 5.5) para a F.A. é de 512 kg/m<sup>2</sup>. Com este valor concluímos que a F.A., segundo a tabela 5.4., tem uma classe de inercia térmica “Forte”.

Tabela 5.5 – Cálculo da Inércia Térmica

Inércia Térmica Interior		Área $S_i$ (m <sup>2</sup> )	$M_{si}$ (kg/m <sup>2</sup> )	factor de correção (r)	$M_{si} \cdot r \cdot$ $S_i$ (kg)
Paredes exteriores PE	N	2,54	103	1	261,62
	S	8,50	103	1	875,50
	E	32,46	103	1	3343,38
	O	52,20	103	1	5376,60
PTP Pilar	E	1,59	150	1	238,50
Parede ENU Estacionamento	<b>btr = 0,7</b>	15,64	150	1	2345,25
Parede ENU Tratamento da Roup	<b>btr = 0,1</b>	3,71	150	1	556,50
Parede ENU Arrumos	<b>btr = 0,7</b>	6,70	150	1	1005,00
Paredes de comp. Interior -Pi		109,84	118	1	12961,42
Cobertura Piso 0		13,12	150	1	1968,00
Cobertura com lajeta		28,37	150	1	4255,50
Cobertura com godo		56,22	150	1	8433,00
Laje de cobertura interior		50,08	300	1	15024,00
Pavimento Interior ENU - Estacionamento	<b>btr = 0,7</b>	21,78	150	1	3267,00
Pavimento Solo		63,88	150	1	9582,00
				Área útil	135,74
Massa superficial útil por m <sup>2</sup> de área de pavimento $I_t$ (kg/m <sup>2</sup> )					512
Classe de Inércia					Forte

## 5.4.7 Descrição e caracterização dos Vãos Envidraçados

No caso de estudo, todos os vãos envidraçados são verticais em vidro duplo 6+6+6 mm em vácuo com o factor solar de 0.5. As caixilharias são de correr, metálicas, com corte térmico, termo- lacadas e na cor cinza escuro.

A protecção solar é exterior com estores motorizados de lâminas horizontais, na cor cinza escuro, com comando electromecânico. O quadro 5.22 foi retirado da folha de cálculo da certificação energética (ITeCons – V1.06 de 28 da Agosto de 2014), e os valores dos factores obedecem aos procedimentos que se encontram no ponto 7 do Despacho 15793 C-L [22].

Vãos Envidraçados Exteriores	Classe da Caixilharia	Permeabilidade da Caixa de Estore	Fracção Envidraçada Fg	Factor Solar do vidro <sup>(III)</sup> g <sup>vi</sup>	FS Global Prot. Perm. e Móveis <sup>(IV)</sup> g <sup>T</sup>	FS Global Prot. Perm. <sup>(V)</sup> g <sup>TP</sup>	FS de Inverno g <sub>i</sub>	FS de Verão g <sub>v</sub>	FS de Verão de Referência g <sub>v REF</sub>
1 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,70	0,50	0,06	0,50	0,45	0,21	0,40
2 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,70	0,50	0,06	0,50	0,45	0,19	
3 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,70	0,50	0,06	0,50	0,45	0,21	
4 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,70	0,50	0,06	0,50	0,45	0,21	
5 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,70	0,50	0,06	0,50	0,45	0,21	
6 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,70	0,50	0,06	0,50	0,45	0,21	
7 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,70	0,50	0,06	0,50	0,45	0,21	
8 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,70	0,50	0,06	0,50	0,45	0,21	
9 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,70	0,50	0,06	0,50	0,45	0,21	
10 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,70	0,50	0,06	0,50	0,45	0,21	
11 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,70	0,50	0,06	0,50	0,45	0,40	
12 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,70	0,50	0,06	0,50	0,45	0,21	

Quadro 5.22 – Caracterização dos Vãos Envidraçados

## 5.4.8 Pontes Térmicas

### 5.4.8.1 Pontes Térmicas Planas (PTP)

Nas zonas de ponte térmica plana correspondentes a heterogeneidades e na zona corrente opaca das fachadas (pilares, vigas, caixas de estore, etc.), o coeficiente de transmissão térmica (**U**) calculado na direcção perpendicular ao plano das mesmas não pode ter um valor superior ao dobro do calculado para a zona corrente [9].

No âmbito do cálculo das perdas planas de calor por condução através da envolvente, caso as soluções construtivas, designadamente o isolamento térmico contínuo pelo exterior e paredes exteriores em alvenaria de pedra, garantam a ausência ou reduzida contribuição de zonas de ponte térmica plana, dispensa-se a determinação rigorosa das áreas e dos coeficientes de transmissão térmica das zonas de pilares, vigas, caixas de estore e outras heterogeneidades, podendo ser considerado para estes elementos o coeficiente de transmissão térmica da zona corrente da envolvente [22].

Nas situações em que não existam evidências de que a solução construtiva garante a ausência ou reduzida contribuição de zonas de ponte térmica plana, dispensa-se a determinação rigorosa das áreas e dos coeficientes de transmissão térmica das zonas de pilares, vigas, caixas de estore e outras heterogeneidades, podendo ser considerado para estes elementos o coeficiente de transmissão térmica determinado para a zona corrente, agravado em 35% [22].

No caso de estudo, foram consideradas as pontes térmicas planas apenas na simulação em que o isolamento é na caixa-de-ar.

#### **5.4.8.2 Pontes Térmicas Lineares (PTL)**

São perdas térmicas resultantes das ligações entre os elementos da envolvente.

Para calcular as perdas de calor através de zonas de ponte térmica linear, podemos recorrer às normas europeias em vigor, nomeadamente a Norma EN ISO 10211, recorrer a catálogos de pontes térmicas para várias geometrias e soluções construtivas típicas (de acordo com a Norma Europeia EN ISO 14683) ou ainda considerar-se os valores constantes da tabela 5.6.

Nos pontos seguintes, serão estudadas os tipos de pontes térmicas lineares existentes nesta F.A.. Os coeficientes de transmissão térmica lineares ( $\psi$ ) considerados são os valores que constam na tabela 5.6.

Tabela 5.6- Valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica lineares  $\Psi$  [W/(m.°C)] –  
Fonte [22]

Tipo de ligação		Sistema de isolamento das paredes		
		Isolamento interior	Isolamento exterior	Isolamento repartido ou na caixa de ar de parede dupla
Fachada com pavimentos térreos		0,80	0,70	0,80
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	Isolamento sob o pavimento	0,75	0,55	0,75
	Isolamento sobre o pavimento	0,10	0,50	0,35
Fachada com pavimento de nível intermédio <sup>(1)</sup>		0,60	0,15 <sup>(2)</sup>	0,50 <sup>(3)</sup>
Fachada com varanda <sup>(4)</sup>		0,60	0,60	0,55
Fachada com cobertura	Isolamento sob a laje de cobertura	0,10 <sup>(4)</sup>	0,70	0,60
	Isolamento sobre a laje de cobertura	1,0	0,80	1,0
Duas paredes verticais em ângulo saliente		0,10	0,40	0,50
Fachada com caixilharia	O isolante térmico da parede contacta com a caixilharia	0,10	0,10	0,10
	O isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia	0,25	0,25	0,25
Zona da caixa de estores		0,30	0,30	0,30

(1) Os valores apresentados dizem respeito a metade da perda originada na ligação.

(2) (3) (4) Majorar quando existe um tecto falso em: (2) 25%; (3) 50%; (4) 70%.

Não se contabilizam pontes térmicas lineares em:

a) Paredes de compartimentação que intersectam paredes, coberturas e pavimentos em contacto com o exterior ou com espaços não úteis;

b) Paredes interiores separando um espaço interior útil de um espaço não útil ou de um edifício adjacente, desde que  $btr \leq 0,7$ .

#### 5.4.8.2.1 Fachada com o pavimento térreo

Se o isolamento das fachadas exteriores for na caixa-de-ar, o valor de  $\Psi$  será 0.8 W/m°C. Caso o isolamento seja pelo exterior, o valor de  $\Psi$  desce para 0.7 W/m°C.

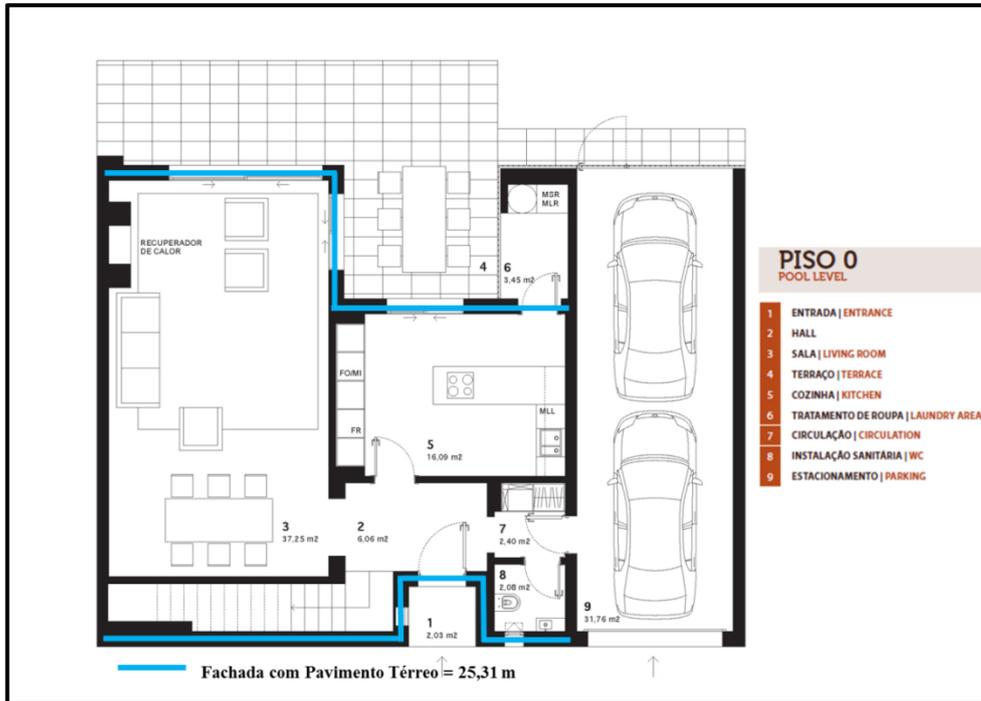


Figura 5.18 – PTL – Fachada com Pavimento Têrreo

#### 5.4.8.2.2 Fachada com pavimento sobre o exterior ou ENU

Se o isolamento das fachadas exteriores for na caixa-de-ar, o valor de  $\psi$  será 0.75 W/m°C. Caso o isolamento seja pelo exterior, o valor de  $\psi$  desce para 0.55 W/m°C.

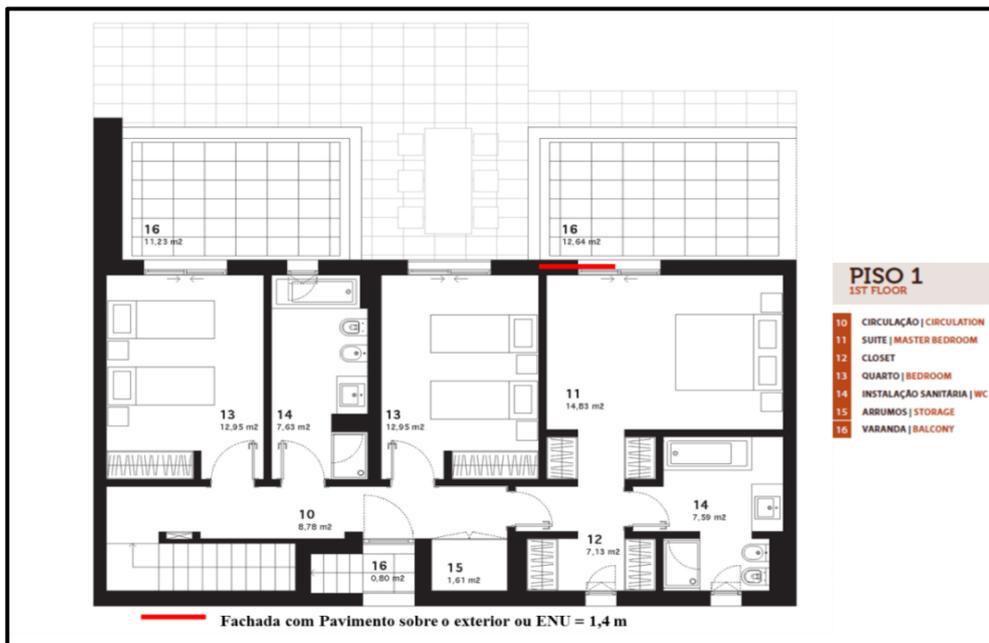


Figura 5.19 – PTL – Fachada com Pavimento sobre o Exterior ou ENU

### 5.4.8.2.3 Fachada com pavimentos intermédios

Se o isolamento das fachadas exteriores for na caixa-de-ar, o valor de  $\psi$  será 0.5 W/m°C. Caso o isolamento seja pelo exterior o valor de  $\psi$  desce para 0.15 W/m°C.

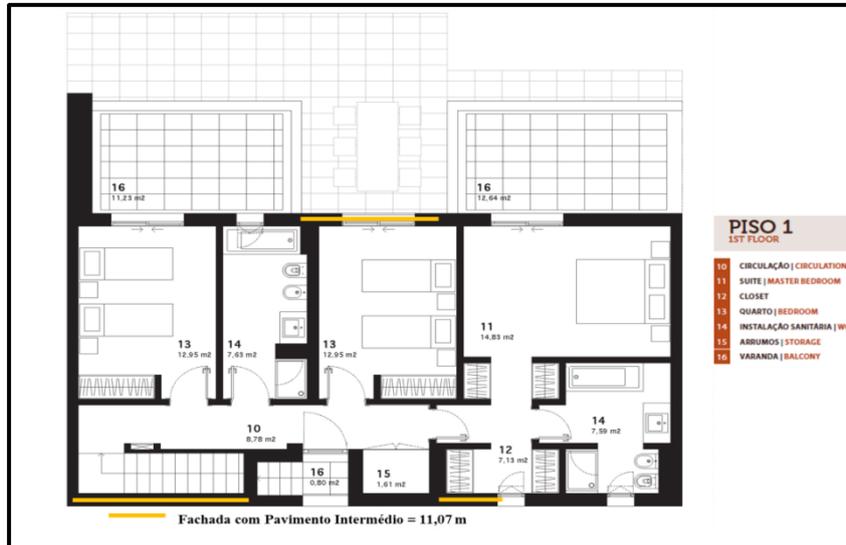


Figura 5.20 - PTL – Fachada com Pavimento Intermédio

### 5.4.8.2.4 Fachada com varanda

Se o isolamento das fachadas exteriores for na caixa-de-ar, o valor de  $\psi$  será 0.55 W/m°C. Caso o isolamento seja pelo exterior o valor de  $\psi$  sobe para 0.6 W/m°C.



Figura 5.21- PTL – Fachada com Varanda

#### 5.4.8.2.5 Fachada com cobertura

Se o isolamento das fachadas exteriores for na caixa-de-ar, o valor de  $\psi$  será 1 W/m°C. Caso o isolamento seja pelo exterior o valor de  $\psi$  desce para 0.8 W/m°C.



Figura 5.22 – PTL - Fachada com cobertura

#### 5.4.8.2.6 Duas paredes verticais em ângulo saliente

Se o isolamento das fachadas exteriores for na caixa-de-ar, o valor de  $\psi$  será 0.5 W/m°C, Caso o isolamento seja pelo exterior o valor de  $\psi$  desce para 0.4 W/m°C.

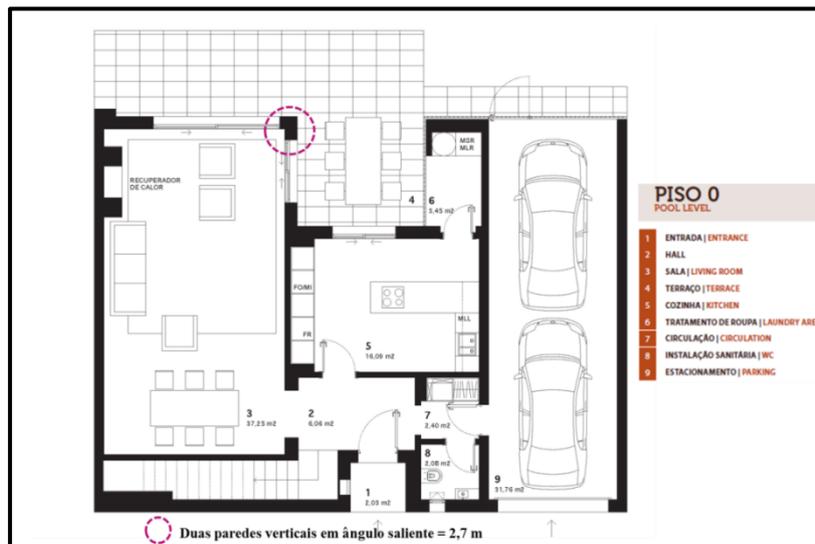


Figura 5.23 - PTL – Duas paredes verticais em ângulo saliente

### 5.4.8.2.7 Fachada com caixilharia

Se o isolamento das fachadas exteriores for na caixa-de-ar ou se for pelo exterior o valor da ponte térmica é igual nos dois casos ou seja  $\psi = 0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$

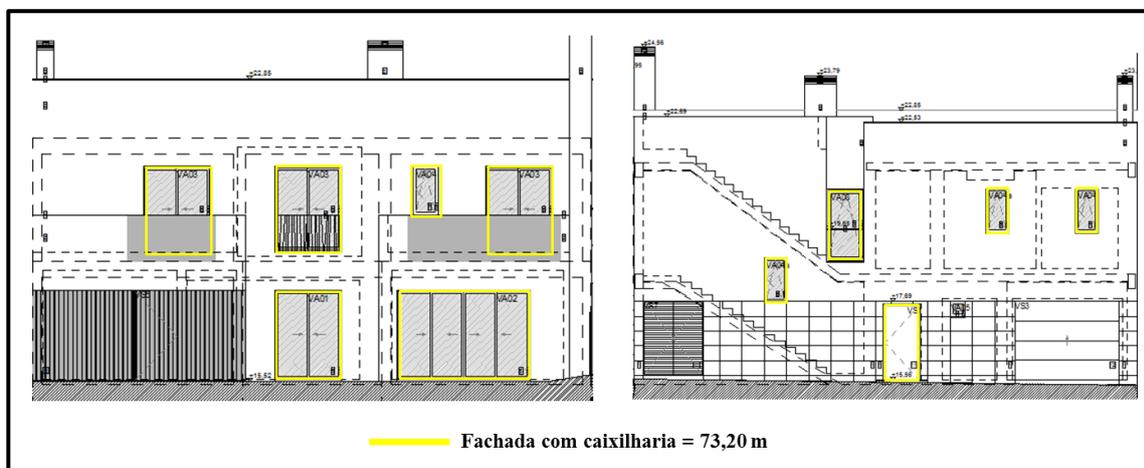


Figura 5.24 – Fachada com caixilharia

## 5.5 Definição do Sistema de Climatização

O sistema de climatização tem a função de aquecer e de arrefecer o ambiente através de unidades interiores do tipo mural. Estas unidades estão instaladas de origem na sala e, na zona dos quartos, apenas pré-instaladas.

O tipo de equipamento e as suas eficiências nominais encontram-se na tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Sistema de Climatização

<b>AQUECIMENTO</b>		Fonte de energia associada	Eficiência Nominal	Fracção servida %
Designação do Sistema	Tipo de Equipamento <sup>(1)</sup>			
Sistema 2	Unidades multi-split c/ permuta ar-ar	Electricidade	3,5	100
Sistema por defeito		Electricidade	1	0
<b>ARREFECIMENTO</b>		Fonte de energia associada	Eficiência Nominal	Fracção servida %
Designação do Sistema	Tipo de Equipamento <sup>(1)</sup>			
Sistema 2	Unidades multi-split c/ permuta ar-ar	Electricidade	3,2	100
Sistema por defeito		Electricidade	2,80	0

## 5.6 Definição do Sistema Ventilação

O cálculo do sistema de ventilação foi realizado recorrendo à ferramenta desenvolvida pelo LNEC designada por “Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS”.

O edifício localiza-se na região **A** a uma altura acima do solo inferior a 10 m o que, por consequência, conduz à rugosidade do tipo **II**. Este tem duas fachadas expostas ao exterior (Nascente e Poente) e a sua altura total (dois pisos) é de 7,2 m.

Foram calculadas grelhas auto-reguláveis a 10 Pa com caudal nominal total de 357 (m<sup>3</sup>/h). As grelhas devem ser “uniformemente” distribuídas pelas diferentes fachadas e devem ter um isolamento sonoro (Dnei) não inferior a 36 (-1,-3) dB. As caixas de estores têm uma baixa permeabilidade ao ar, as caixilharias têm classificação 3 e a área dos vãos envidraçados é de 28.02 m<sup>2</sup>.

Podemos observar o balanço de energia do edifício no quadro 5.23.

<b>Resultados</b>	<b>Valor</b>
<b>Balanço de Energia - Edifício</b>	
$R_{ph,i} h^{-1}$ - Aquecimento	0,59
$R_{ph,v} h^{-1}$ - Arrefecimento	0,6
Wvm (kWh)	0
<b>Balanço de Energia - Edifício de Referência</b>	
$R_{ph,Ref} h^{-1}$	0,59
<b>Caudal mínimo de ventilação</b>	
$R_{ph}$ estimada em condições nominais ( $h^{-1}$ )	0,5
Requisito mínimo de ventilação ( $h^{-1}$ )	0,4
Critério $R_{ph}$ mínimo	Satisfatório

Quadro 5.23 – Balanço de Energia

## 5.7 Definição do Sistema de AQS

O sistema centralizado de produção de água quente é composto por um sistema de painéis solares em circuito fechado apoiado por esquentador automático.

Por sua vez, o sistema de painéis é constituído por um colector do tipo “*Hewelex KS 2100 TLP*” instalado na cobertura - com área total de 1,8 m<sup>2</sup> - e por um depósito de 200 litros. O colector serve apenas esta fracção e está orientado a sul, tendo uma inclinação de 33° (figura 5.25).

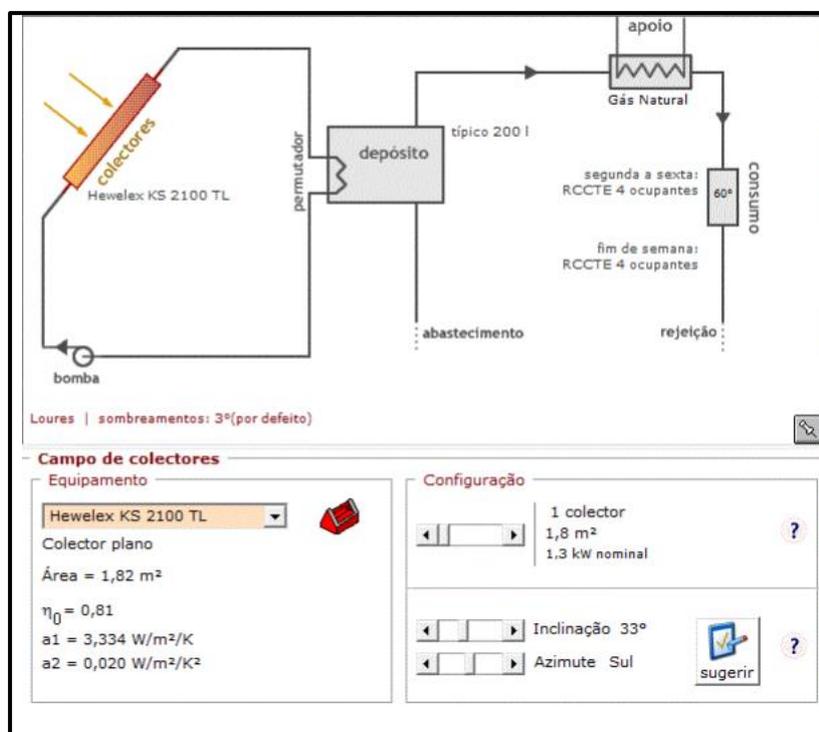


Figura 5.25 – Esquema do sistema térmico - *Solterm*

O sistema energético de apoio, que entra unicamente em funcionamento quando o sistema solar não consegue satisfazer as necessidades de AQS, nesta instalação, será um esquentador automático “*Vulcano WRD-KME14*” alimentado a gás natural, com rendimento de 0,87. Toda rede de água quente está isolada com espuma elastómera à base de borracha sintética, resultando numa  $E_{\text{Solar}} = 1622 \text{ kWh/ano}$ . Sendo um edifício de habitação, considerou-se um número anual de dias de consumo (365 dias - utilização

permanente). Não está prevista a contribuição de outros sistemas de energias renováveis para a preparação de AQS.

Na figura 5.26, podemos observar o desempenho do sistema térmico calculado através do *software Solterm*.

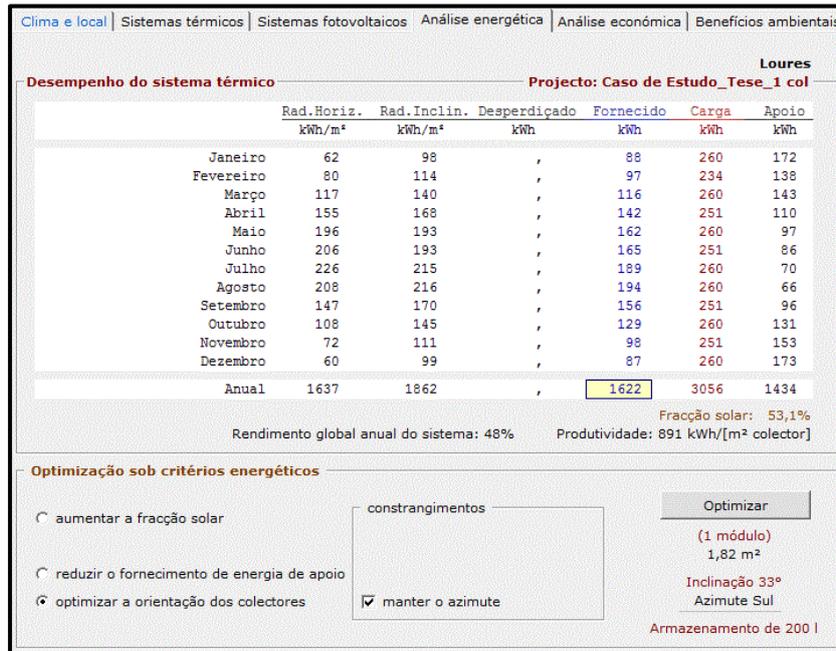


Figura 5.26 - Desempenho do sistema térmico - *Solterm*

Analisando os resultados, concluímos que o rendimento global anual do sistema (48%) é bom, uma vez que o valor obtido está dentro do intervalo recomendado (40% a 50%) e não existe energia desperdiçada. Relativamente à fracção solar, o valor de 53.1% é satisfatório.

A fracção solar corresponde ao quociente entre a energia captada pelo sistema solar térmico e as necessidades energéticas dos consumidores.

## 5.8 Necessidades Nominais de Energia Primária, Ntc

Como foi referido no ponto 1.3.4 deste trabalho, as necessidades nominais de energia primária (Ntc) são a soma das necessidades nominais específicas de energia primária relacionadas com os vários tipos de utilizações existentes na F.A., como o aquecimento (Nic), o arrefecimento (Nvc), produção de AQS (Qa/Ap) e a ventilação mecânica (Wvm/Ap) deduzidas de eventuais contribuições de fontes de energia renovável (Eren,p/Ap).

A expressão abaixo corresponde à equação (25) do Despacho nº15793-I/2013 [22], a qual permite realizar o cálculo de Ntc.

$$N_{tc} = \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left( \sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \cdot F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p} \quad \left[ \frac{\text{kWh}_{EP}}{\text{m}^2 \cdot \text{ano}} \right]$$

em que:

$N_{ic}$  - Necessidades de energia útil para aquecimento, supridas pelo sistema k [kWh/(m<sup>2</sup>.ano)];

$f_{i,k}$  - Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k;

$N_{vc}$  - Necessidades de energia útil para arrefecimento, supridas pelo sistema k [kWh/(m<sup>2</sup>.ano)];

$f_{v,k}$  - Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k;

$Q_a$  - Necessidade de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema k [kWh/ano];

$f_{a,k}$  - Parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS supridas pelo sistema k;

$\eta_k$  - Eficiência do sistema k, que toma o valor de 1 no caso de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável, à excepção de sistemas de queima de biomassa sólida em que deve ser usada a eficiência do sistema de queima;

$j$  - Todas as fontes de energia incluindo as de origem renovável;

$p$  - Fontes de origem renovável;

$E_{ren,p}$  - Energia produzida a partir de fontes de origem renovável  $p$ , [kWh/ano], incluindo apenas energia consumida;

$W_{vm}$  - Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores, [kWh/ano];

$A_p$  - Área interior útil de pavimento [m<sup>2</sup>];

$F_{pu,j}$  e  $F_{pu,p}$  - Fator de conversão de energia útil para energia primária, [kWhEP/kWh]

$\delta$  - Igual a 1, excepto para o uso de arrefecimento ( $N_{vc}$ ) em que pode tomar o valor 0 sempre que o factor de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respectivo factor de referência, o que representa as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado.

De acordo com o Decreto-lei nº 118/2013 [2] o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento não podem exceder os respectivos valores máximos de energia útil. No quadro 5.24 podemos observar os valores obtidos para as necessidades energéticas com a solução base, os quais estão em conformidade com o regulamentado.

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ( $N_{ic}$ ) continuam a ser a parcela que mais pesa na contabilização da energia primária, representando 69% das necessidades nominais anuais globais de energia primária ( $N_{tc}$ ). As intervenções para redução desta energia passam por alterações na envolvente exterior.

Sigla	Descrição	Valor	Referência
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	23,85	43,71
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	14,10	15,77
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	2377	2377
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis (kWh/ano)	1622	
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWhEP/m <sup>2</sup> .ano)	34,52	68,60

Quadro 5.24- Necessidades de Energia

## 5.9 Determinação da Classe Energética

A classe energética é determinada através do rácio de classe energética ( $R_{NT}$ ):

$$R_{NT} = \frac{N_{tc}}{N_T} \Leftrightarrow \frac{34.52}{68.60} = 0.5$$

A escala de classificação energética dos edifícios é composta por 8 classes, correspondendo a cada classe um intervalo de valores de  $R_{NT}$ , de acordo com o apresentado na tabela 5.8.

Tabela 5.8- Escala de classificação energética- Fonte [22]

Classe Energética	Valor de $R_{nt}$
A +	$R_{nt} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{nt} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{nt} \leq 0,75$
B -	$0,76 \leq R_{nt} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{nt} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{nt} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{nt} \leq 2,50$
F	$R_{nt} \geq 2,51$

O valor obtido para o caso de estudo de  $R_{NT}$  é de 0,5 o que corresponde à classe energética “A”.

## 5.10 Emissões de CO<sub>2</sub>

Em concentrações normais a presença do CO<sub>2</sub> na atmosfera é necessária, uma vez que ele é um dos principais responsáveis por um efeito que mantém a temperatura média da Terra em 15°C, denominado “efeito estufa” (imagem 5.2). Este efeito é bastante semelhante ao ocorrido numa estufa de plantas. Na estufa, as paredes e o tecto permitem que a radiação solar entre mas dificultam a sua saída. Dado que o calor libertado é muito pouco o ambiente mantém-se aquecido. Se fizermos esta analogia com a Terra,

que recebe a energia do Sol, compreendemos que parte desta é absorvida pela superfície terrestre, enquanto que a restante é reflectida pela própria superfície na forma de radiações infravermelhas (não visíveis). Ao passar pela atmosfera, uma quantidade dessa radiação reflectida é absorvida pelos gases de efeito de estufa, formando uma espécie de “cobertor” evitando que parte da radiação escape para o espaço aumentando, desta forma, a temperatura da Terra.



Imagem 5.2 - Efeito de Estufa [30]

O CO<sub>2</sub> é o gás que mais contribui para o efeito de estufa com uma participação de 64 %. Em segundo lugar, encontra-se o metano (CH<sub>4</sub>) com 19 %, enquanto que o óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) o hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>) o hidrofluorcarboneto (HFC) e o polifluorcarboneto (CFCs) são responsáveis pelos restantes 17%.

Com aumento de gases nocivos na atmosfera é expectável que surjam alterações climáticas com graves consequências. As secas, o derretimento de calotes polares potenciando por consequência a elevação do volume dos oceanos e causando inundações das regiões costeiras, colocam em risco a segurança das populações e das infra-estruturas, provocando crises socioeconómicas e alterações profundas nos ecossistemas.

No sector da energia, estes gases são libertados pela queima de combustíveis fósseis, nomeadamente nas indústrias energéticas, transformadoras, de construção e dos transportes. A incineração de resíduos e a deposição de resíduos sólidos nas terras são fontes de gases com efeito de estufa.

#### ❖ Determinação do Valor das Emissões de CO<sub>2</sub>

Segundo o Despacho nº15793-D/2013 [22], na determinação das emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao consumo de energia nos edifícios os factores de conversão de energia primária para emissões de CO<sub>2</sub> são os que se apresentam na tabela 5.9.

Tabela 5.9- Factores de conversão [22]

Fonte de energia	Fator de conversão [kgCO <sub>2</sub> /kWh]
Eletricidade	0,144
Gasóleo	0,267
Gás Natural	0,202
GPL canalizado (propano)	0,170
GPL garrafas	
Renovável	0,0

Na F:A. em estudo as necessidades nominais de energia primária (Ntc) são iguais a 34.52. kWh/m<sup>2</sup>.ano, o que corresponde à emissão de **0.73** ton CO<sub>2</sub>/ano.

## **6 Benefícios Económicos e Ambientais**

Neste capítulo, pretende-se demonstrar os benefícios económicos e ambientais associados às soluções ETICS nas fachadas da envolvente opaca dos edifícios. Os resultados em termos de economia de energia podem ser traduzidos quer em termos económicos, quer em termos de redução das emissões de CO<sub>2</sub>. A análise económica terá em conta o custo das soluções aplicadas e os custos de energia. Relativamente à análise ambiental, como já foi referido no ponto 5.10 deste trabalho, considera-se o factor de conversão de energia primária para emissões de CO<sub>2</sub> de 0,144 kg CO<sub>2</sub>/kWh para a fonte de energia eléctrica, e de 0.202 kg CO<sub>2</sub>/kWh para o gás natural.

### **6.1 Comparação dos Sistemas**

#### **6.1.1 Custos Associados às Soluções Construtivas**

Os custos das soluções construtivas contemplam os materiais, a mão-de-obra de aplicação e os custos com encargos da empresa fornecedora. Foram solicitados orçamentos para as cinco soluções construtivas a vários fornecedores. Os valores finais são valores médios.

Nestes valores não estão contemplados o reboco e o estuque no interior da F.A. sendo que não sofrem quaisquer alterações nas cinco simulações.

##### **6.1.1.1 Solução Base**

A descrição detalhada da solução construtiva com isolamento na caixa-de-ar encontra-se na tabela 6.1 e o custo estimado é de 50 € / m<sup>2</sup>.

Tabela 6.1 – Custo Estimado da Solução Base

Identificação da Solução	Solução associada a ...	Descrição Sucinta da Solução	Descrição detalhada da Solução	Custo estimado /m <sup>2</sup> (€)
Base	Envolventes Opacas - Paredes Exteriores	Aplicação de isolamento térmico -XPS- na caixa de ar	Execução de parede dupla de alvenaria de tijolo cerâmico furado 0,11 +0,11 m, com isolamento térmico ocupando parcialmente a caixa-de-ar de 0,06 m e encostado ao seu pano interior em placas rígidas de poliestireno extrudido com 0,04 m de espessura, execução de reboco pelo exterior e pintura na cor clara .	50,00

### 6.1.1.2 Soluções ETICS

Na tabela 6.2 e 6.3 encontram-se descritas as quatro soluções ETICS que têm vindo a ser estudadas neste TFM.

Os valores por m<sup>2</sup> diferem fundamentalmente devido ao preço do material isolante.

Com exceção da solução com EPS, todas as restantes levam uma camada de reboco para regularização do suporte antes da colocação das placas de isolamento, aumentando assim, o valor final. A mão-de-obra também é superior nas três soluções.

Tabela 6.2 - Custos Estimados das Soluções ETICS - EPS

Identificação da Solução	Solução associada a ...	Descrição Sucinta da Solução	Descrição detalhada da Solução	Custo estimado /m <sup>2</sup> (€)
ETICS-EPS	Envolventes Opacas - Paredes Exteriores	Aplicação de isolamento térmico -EPS- pelo exterior.	Execução de parede de alvenaria com tijolo de 22 x 20 x 30 (cm ), impermeabilização ascendente e colocação de perfil de arranque de 6 cm.Colocação das placas de EPS com 6 cm de espessura, fixação mecânica com 6 buchas prego de 9 cm por m <sup>2</sup> . Barramento de toda a superfície e aplicação de perfis de canto para reforço de cantos e perfis de pingadeira em janelas e portas. Aplicação da rede de fibra de vidro com o segundo barramento.Aplicação de primário e barramento final na cor clara.	49,20

Tabela 6.3 - Custos Estimados das Soluções ETICS –XPS –ICB-MW

Identificação da Solução	Solução associada a ...	Descrição Sucinta da Solução	Descrição detalhada da Solução	Custo estimado /m² (€)
ETICS-XPS	Envoltentes Opacas - Paredes Exteriores	Aplicação de isolamento térmico -XPS - pelo exterior.	Execução de parede de alvenaria com tijolo de 22 x 20 x 30 (cm ), aplicação de uma camada de reboco para regularização do suporte. Impermeabilização ascendente e colocação de perfil de arranque de 6 cm.Colocação das placas de XPS com 6 cm de espessura, fixação mecânica com 6 buchas prego de 9 cm por m². Barramento de toda a superfície e aplicação de perfis de canto para reforço de cantos e perfis de pingadeira em janelas e portas. Aplicação da rede de fibra de vidro com o segundo barramento.Aplicação de primário e barramento final na cor clara.	56,50
ETICS-ICB	Envoltentes Opacas - Paredes Exteriores	Aplicação de isolamento térmico -ICB - pelo exterior.	Execução de parede de alvenaria com tijolo de 22 x 20 x 30 (cm ), aplicação de uma camada de reboco para regularização do suporte. Impermeabilização ascendente e colocação de perfil de arranque de 6 cm.Colocação das placas de ICB com 6 cm de espessura, fixação mecânica com 6 buchas prego de 9 cm por m². Barramento de toda a superfície e aplicação de perfis de canto para reforço de cantos e perfis de pingadeira em janelas e portas. Aplicação da rede de fibra de vidro com o segundo barramento.Aplicação de primário e barramento final na cor clara.	65,60
ETICS-MW	Envoltentes Opacas - Paredes Exteriores	Aplicação de isolamento térmico - MW - pelo exterior.	Execução de parede de alvenaria com tijolo de 22 x 20 x 30 (cm ), aplicação de uma camada de reboco para regularização do suporte. Impermeabilização ascendente e colocação de perfil de arranque de 6 cm.Colocação das placas de lã de rocha (MW) com 6 cm de espessura, fixação mecânica com 6 buchas prego de 9 cm por m². Barramento de toda a superfície e aplicação de perfis de canto para reforço de cantos e perfis de pingadeira em janelas e portas. Aplicação da rede de fibra de vidro com o segundo barramento.Aplicação de primário e barramento final na cor clara.	62,60

Das quatro soluções apresentadas, a solução mais cara é a solução com aglomerado negro de cortiça expandida (ICB) que ascende ao valor de 65,60 €/m² e a mais barata é a solução com o poliestireno expandido (EPS) com o valor de 49,20 €/m².

A solução com lã de rocha tem o mesmo coeficiente de transmissão térmica (U) que o poliestireno expandido (EPS). No entanto o custo do material isolante é duas vezes e meia superior ao custo do EPS fazendo, assim, com que esta seja a segunda solução mais cara (62.60 €/m²) enquanto que a solução com XPS é a segunda mais barata (56.5 €/m²).

## 6.1.2 Custos anuais Globais de Energia útil

Os custos anuais globais de energia útil foram calculados com a folha de cálculo da certificação energética (ITeCons – V1.06 de 28 de Agosto de 2014). O preço da electricidade considerado nestes cálculos é de 0,17 €/kWh e o do gás natural é de 0.09 €/kWh. Os custos anuais são constituídos pelos custos das necessidades nominais de energia primária para aquecimento e arrefecimento e pelos das necessidades globais de energia primária para produção de AQS e para ventilação mecânica. Na nossa F.A. não existem necessidades globais de energia primária para ventilação mecânica.

### 6.1.2.1 Solução Base

No quadro 6.1 encontram-se as três parcelas que fazem parte dos custos anuais globais de energia útil para a solução base.

SOLUÇÃO BASE												
Identificação do Imóvel		Quinta do Aqueduto - Lote 6										
Area útil de Pavimento, Ap (m <sup>2</sup> )		135,74	Ntc (kWhEP/(m <sup>2</sup> .ano))				34,52	Nt (kWhEP/(m <sup>2</sup> .ano))				68,60
Classe de Desempenho Energético		A	Custos Anuais Globais de Energia útil (€/ano)									337,93
			Emissões de CO2 (tonCO2/ano)									0,73
G.1 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO												
AQUECIMENTO	Fonte de Energia	Nic kWh/(m <sup>2</sup> .ano)	fi	δ	ηi	Fpui kWhEP/kWh	fi.δ.Nic.Fpui/ηi (kWhEP/(m <sup>2</sup> .ano))	Custo por vector energético (€/kWh)	Custos Anuais de energia útil (€/m <sup>2</sup> )	Custos Anuais (€)	Factor de Conversão de Energia Primária para Emissões de CO2 (kgCO2/kWh)	
Sistema 2	Electricidade	23,85	1,00	1	3,50	2,5	17,04	0,17 €/kWh	1,16 €/m <sup>2</sup>	157,24 €	0,144	
Sistema por defeito	Electricidade		0,00		1,00	2,5	0,00	0,17 €/kWh	0,00 €/m <sup>2</sup>	0,00 €	0,144	
<b>TOTAL</b>										<b>157,24 €</b>		
G2 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO												
ARREFECIMENTO	Fonte de Energia	Nvc kWh/(m <sup>2</sup> .ano)	fv	δ	ηv	Fpuv kWhEP/kWh	fv.δ.Nvc.Fpuv/ηv (kWhEP/(m <sup>2</sup> .ano))	Custo por vector energético (€/kWh)	Custos Anuais de energia útil (€/m <sup>2</sup> )	Custos Anuais (€)	Factor de Conversão de Energia Primária para Emissões de CO2 (kgCO2/kWh)	
Sistema 2	Electricidade	14,10	1,00	1,00	3,20	2,5	11,01	0,17 €/kWh	0,75 €/m <sup>2</sup>	101,64 €	0,144	
Sistema por defeito	Electricidade		0,00		2,8	2,5	0,00	0,17 €/kWh	0,00 €/m <sup>2</sup>	0,00 €	0,144	
<b>TOTAL</b>										<b>101,64 €</b>		
G.3 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS												
AQS	Fonte de Energia	Qa/AP kWh/(m <sup>2</sup> .ano)	fa	δ	ηa	Fpua kWhEP/kWh	fa.δ.(Qa/AP).Fpua/ηa (kWhEP/(m <sup>2</sup> .ano))	Custo por vector energético (€/kWh)	Custos Anuais de energia útil (€/m <sup>2</sup> )	Custos Anuais (€)	Factor de Conversão de Energia Primária para Emissões de CO2 (kgCO2/kWh)	
Sistema 1	Gás Natural	17,51	0,32	1	0,86	1	6,47	0,09 €/kWh	0,58 €/m <sup>2</sup>	79,04 €	0,202	
Sistema 3	Renovável Térmica		0,68		1,00	1	11,95	0,00 €/kWh	0,00 €/m <sup>2</sup>	0,00 €	0	
Sistema por defeito	Gás Natural		0,00		0,86	1	0,00	0,09 €/kWh	0,00 €/m <sup>2</sup>	0,00 €	0,202	
<b>TOTAL</b>										<b>79,04 €</b>		

Quadro 6.1 -- Custos Anuais Globais de Energia Útil

Os custos anuais globais de energia útil para a solução base são de 337.93 €/ano, como se pode verificar no quadro 6.1. A parcela que mais pesa neste valor é, naturalmente, a dos custos das necessidades nominais de energia primária para aquecimento.

### 6.1.2.2 Soluções com ETICS

Os valores dos custos calculados para as soluções de ETICS encontram-se no quadro 6.2. Estes foram calculados no mesmo programa e com as mesmas premissas da solução base. Os valores para estas soluções são mais baixos do que a solução base, vindo de encontro ao que era expectável.

Descrição	EPS	XPS	ICB	MW
Custos anuais Globais de Energia útil (€)	325,54	323,61	328,46	325,54

Quadro 6.2 - Custos Anuais Globais de Energia Útil – Soluções ETICS

### 6.1.3 Redução Anual da Factura Energética

Na sequência dos cálculos realizados anteriormente podemos agora calcular os valores da redução anual da factura energética (quadro 6.3). Estes valores são a diferença entre os custos anuais globais de energia útil da solução base e os valores das soluções ETICS.

A solução que apresenta maior redução é a solução ETICS-XPS, seguindo-se o EPS e a MW, ficando em último lugar a solução com o aglomerado negro de cortiça expandida (ICB).

Descrição	Base	EPS	XPS	ICB	MW
Redução Anual da Factura Energética (€)	0,00	12,38	14,32	9,47	12,38

Quadro 6.3- Redução Anual da Factura Energética

#### 6.1.4 Emissões de CO<sub>2</sub>

As emissões de CO<sub>2</sub> estão directamente relacionadas com as necessidades de energia primária. No quadro 6.4 estão os valores calculados para as cinco soluções. A solução mais penalizadora é a solução base com 0.73 tonCO<sub>2</sub>/ano. Sendo o valor mais baixo de 0.70 tonCO<sub>2</sub>/ano igual para as três soluções (EPS,XPS;MW). A solução com o isolamento aglomerado negro de cortiça expandida apresenta o valor intermédio de 0.71 tonCO<sub>2</sub>/ano.

Descrição	Base	EPS	XPS	ICB	MW
Emissões de CO <sub>2</sub> (t/ano)	0,73	0,70	0,70	0,71	0,70

Quadro 6.4 – Emissões de CO<sub>2</sub>

#### 6.1.5 Resumo das Comparações

No quadro 6.5 encontram-se os valores dos indicadores que foram comparados nos pontos anteriores.

Fazendo a análise dos indicadores aqui expostos a solução que apresenta melhor desempenho é a solução ETICS-XPS, seguida das soluções do EPS e da MW e em último lugar a solução ETICS-ICB. As cinco soluções têm os valores muito próximos entre si e o rácio de classe energética (Rnt) indica-nos a classe energética **A**.

<b>Sigla</b>	<b>Descrição</b>	<b>Base</b>	<b>EPS</b>	<b>XPS</b>	<b>ICB</b>	<b>MW</b>	<b>Ref.</b>
Nic	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	23,85	21,48	21,21	21,90	21,48	43,71
Nvc	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	14,10	14,54	14,53	15,56	14,54	15,77
Qa	Água Quente Sanitária (kWh/ano)	2377	2377	2377	2377	2377	2377
Eren	Energia de Fontes Renováveis (kWh/ano)	1622	1622	1622	1622	1622	
Ntc	Necessidades Globais de Energia Primária (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	34,52	33,18	32,97	33,49	33,18	68,60
Ntc/Nt		0,50	0,48	0,48	0,49	0,48	
	Classe Energética	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	
	Emissões de CO <sub>2</sub> (t/ano)	0,73	0,70	0,70	0,71	0,70	
	Custos anuais Globais de Energia útil (€)	337,93	325,54	323,61	328,46	325,54	
	Redução Anual da Factura Energética (€)	0,00	12,30	14,23	9,40	12,30	
	Redução das Emissões de CO <sub>2</sub> (ton CO <sub>2</sub> /Ano)	0,00	0,03	0,03	0,02	0,03	

Quadro 6.5 – Resumo das Comparações

## 6.2 Rentabilidade Económica

Com os valores dos indicadores obtidos nas cinco simulações podemos observar no quadro 6.6 as percentagens de redução em cada um deles, quando comparados com a solução base. A redução mais significativa ocorre nas necessidades nominais anuais para a energia útil para o aquecimento com um valor médio para as quatro soluções de 10 %. O cálculo energético da F.A. do caso de estudo apresenta necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, e nas soluções ETICS, estas sofrem um ligeiro aumento de 3% relativamente à solução base. Assim, os valores das necessidades nominais globais de energia primária apresentam uma redução com um valor médio de 4%.

Relativamente às emissões de carbono e aos valores da factura energética, a redução que se verifica é de 4% para os dois indicadores

<b>Sigla</b>	<b>Descrição</b>	<b>Base</b>	<b>EPS</b>	<b>XPS</b>	<b>ICB</b>	<b>MW</b>
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	23,85	21,48	21,21	21,90	21,48
	Redução	0%	10%	11%	8%	10%
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	14,10	14,54	14,53	14,56	14,54
	Redução	0%	-3%	-3%	-3%	-3%
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> .ano)	34,52	33,18	32,97	33,49	33,18
	Redução	0%	4%	4%	3%	4%
	Emissões de CO <sub>2</sub> (ton/ano)	0,73	0,70	0,70	0,71	0,70
	Redução	0%	4%	4%	3%	4%
	Custos anuais Globais de Energia útil (€)	337,93	325,54	323,61	328,46	325,54
	Redução Anual da Factura Energética (€)	0,00	12,39	14,33	9,48	12,39
	Redução	0%	4%	4%	3%	4%

Quadro 6.6 – Percentagens de Redução

Como foi já referido anteriormente, as soluções acima expostas apresentam os valores dos indicadores muito próximos entre elas, no entanto, observa-se que a solução ETICS-XPS é a que apresenta maiores reduções e que a solução ETICS-ICB é a que apresenta menores reduções.

Os valores da coluna “diferencial de custo” do quadro 6.7 são a diferença entre os valores estimados do custo da solução base e os valores das soluções ETICS. Os custos por m<sup>2</sup> para as cinco soluções são os valores calculados no ponto 6.1.1 deste trabalho. Neste quadro é feita a comparação das cinco soluções, onde se verifica que a solução ETICS-EPS é a solução mais vantajosa do ponto de vista económico.

A solução ETICS-EPS apresenta uma solução construtiva com um custo estimado/m<sup>2</sup> mais baixo do que a solução base, tendo à partida um ganho de 108.28 euros.

Solução	Custo estimado /m <sup>2</sup> (€)	Ap (m <sup>2</sup> )	Custo estimado total (€)	Diferencial de Custo (€)	Redução Anual da Fatura Energética (€)	Novo Nt (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Novo Ntc (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
<b>Base</b>	50,00	135,74	6787,00	----	----	----	----
<b>ETICS-EPS</b>	49,20	135,74	6678,72	-108,28	12,38	68,60	33,18
<b>ETICS-XPS</b>	56,50	135,74	7668,79	881,79	14,32	68,60	32,97
<b>ETICS-ICB</b>	65,60	135,74	8905,21	2118,20	9,47	68,60	33,49
<b>ETICS-MW</b>	62,60	135,74	8497,70	1710,70	12,38	68,60	33,18

Quadro 6.7-Custo Estimado de Investimento

As soluções ETICS-ICB/MW são as que apresentam valores de investimento mais elevados. A redução anual da factura energética (receita) é muito baixa, dando origem a períodos de retorno muito elevados. Tão elevados, que do ponto de vista económico a sua análise não faz sentido. Desta forma torna-se claro que a única solução ETICS vantajosa para este caso é a solução com EPS.

## 7 Conclusões

O aumento da população e o desenvolvimento tecnológico geraram o aumento do consumo de energia. A União Europeia, para colmatar a dependência excessiva do exterior de energia primária, veio criar regulamentação com o objectivo de melhorar a eficiência energética dos seus membros.

Em 2008 foi aprovado em Portugal o PNAEE (Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética), igualmente designado “Portugal Eficiência 2015”, que integra as políticas e medidas de eficiência energética a desenvolver até 2015. Este plano foi actualizado em 2013 e abrange seis áreas específicas relacionadas com a actividade económica nacional: Transportes, Residencial e Serviços, Indústria, Estado, Comportamentos e Agricultura.

Inserida na medida “Residencial e Serviços” surge o sistema da eficiência energética nos edifícios. Com a regulamentação existente foi realizada, neste TFM, a certificação energética de um caso real com o objectivo de verificar a contribuição do isolamento térmico na melhoria da eficiência energética em edifícios.

O caso de estudo é uma moradia T3 , localizada no conselho de Loures, que se encontra geminada a Norte e a Sul com moradias semelhantes. Esta tem uma fachada exterior exposta a Nascente e a outra a Poente. No cálculo da sua certificação energética foram consideradas as soluções construtivas apresentadas no projecto e no mapa de acabamentos.

Para verificar a contribuição do isolamento térmico na melhoria da eficiência energética, foi realizada a análise de cinco soluções construtivas das paredes exteriores, tendo sido designado por “solução base” a solução com o isolamento na caixa-de-ar e como alternativa as soluções ETICS com diferentes materiais isolantes.

Os materiais isolantes para as soluções ETICS alvos deste estudo são os materiais mais utilizados no isolamento térmico pelo exterior, ou seja, o poliestireno expandido (EPS) e extrudido (XPS), o aglomerado de cortiça expandida (ICB), e a lã de rocha (MW).

Conforme o estudo realizado, não existem quaisquer danos ambientais provocados por estes materiais desde a sua origem até ao final do seu período de vida.

Nas cinco simulações aqui expostas, foram mantidas todas as premissas do projecto, fazendo variar em cada uma delas apenas as soluções construtivas das paredes exteriores.

Comparando a solução base com as soluções ETICS, obtém-se uma redução de 10% nas necessidades energéticas de aquecimento e 4% nas necessidades globais de energia primária.

Em termos energéticos, a solução mais eficiente é a solução ETICS-XPS e a menos eficiente é a ETICS-ICB. As soluções com EPS e MW têm o mesmo coeficiente de transmissão térmica (U), logo o seu desempenho energético é igual, ficando entre as outras duas soluções.

Analisando o desempenho ambiental, a solução base é a solução que apresenta o valor de emissões de CO<sub>2</sub> mais desfavorável, seguida da solução com o material isolante aglomerado negro de cortiça expandida. O valor mais favorável é o de 0.70 ton CO<sub>2</sub>/ano para as soluções ETICS-EPS/XPS/MW. As reduções alcançadas entre a solução base e as soluções ETICS são de 4%.

Todas as simulações têm a classe energética “A”. Nesse sentido, os valores obtidos para as cinco soluções são muito próximos uns dos outros e específicos para este caso de estudo. Não se pode generalizar para outros casos, uma vez que estes dependem da localização geográfica, do tipo de exposição solar e ainda das soluções construtivas adoptadas na elaboração do projecto.

A solução ETICS-EPS apresenta uma solução construtiva com um custo estimado/m<sup>2</sup> mais baixo do que a solução base, enquanto as soluções ETICS-ICB/MW, devido sobretudo ao custo do material isolante, são as que apresentam valores de investimento mais elevados. A redução anual da factura energética (receita) é muito baixa, dando origem a períodos de retorno muito elevados. Tão elevados, que do ponto de vista económico a sua análise não faz sentido. Concluindo-se que a solução ETICS mais vantajosa é a solução com EPS.

A solução encontrada como a mais favorável para este caso de estudo foi a que foi executada, no entanto não quer dizer que seja a melhor solução para outros projectos.

A solução seleccionada deverá adequar-se às características do projecto. As soluções ETICS-XPS/ICB/MW, não são economicamente viáveis no caso estudado, no entanto podem existir projectos com requisitos específicos e nesses casos a questão económica não ser um factor eliminatório. Podendo existir também situações em que as soluções que aqui foram apontadas como sendo as mais desfavoráveis, possam vir a ser altamente compensadoras se analisadas à luz de critérios diversos (ex: seguros, acústica).

A localização do edifício novo ou existente é um dos factores preponderantes, para a decisão da espessura do material isolante a utilizar no isolamento térmico. Em regiões com maiores necessidades de aquecimento devem-se aplicar maiores espessuras, não sendo significativo nos custos de investimento, podendo no entanto ser significativo nos desempenhos energéticos, económicos e ambientais.

Os valores obtidos na redução (4%) das necessidades globais de energia primária no caso de estudo, não são muito expressivos, no entanto se pensarmos que neste projecto residencial 60% das moradias estão nas mesmas condições, a redução já se torna mais expressiva. Isto quer dizer que, se em cada habitação construída em Portugal se conseguir reduzir (por pequenas que sejam) as necessidades de energia primária à custa da utilização das soluções ETICS, podemos concluir que os isolamentos térmicos contribuem para a melhorar a eficiência energética.

O estágio que realizei na *Kenótecil* deu-me a oportunidade de acompanhar a execução de um sistema de isolamento térmico pelo exterior com EPS e verificar *in-loco* as diferentes fases do processo. Desta forma foi-me possível fazer a ponte entre os fundamentos teóricos e a execução prática dos mesmos, permitindo assim perceber e consolidar os conhecimentos. No anexo A encontram-se fotografias da execução do sistema nas diferentes fases.



## 8 Referências Bibliográficas

1. **FREITAS, Vasco Peixoto de; GUIMARÃES, Ana; FERREIRA, Claudia; ALVES, Sandro.** *Edifícios Existentes - Medidas de melhoria de desempenho energético e da qualidade do ar interior - Conceção, instalação e condução de sistemas.* Edição ADENE - Agência para a Energia, 2011.
2. *Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto- Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).* Lisboa : Diário da República, 2013.
3. **ACEP - Associação Industrial de Poliestireno Expandido-** *Guia de reabilitação de edifícios com a aplicação de EPS.* Lisboa 02 de Junho de 2014.
4. **Energuaia -** *Guia da eficiência energética nos edifícios - Revistas: Indústria e Ambiente e Construção Magazine;* 8ª Edição, Maio de 2014.
5. *Documento de Homologação n.º 911/ Dezembro 2010- Weber.therm classic -Sistema composto de isolamento térmico pelo exterior .* Lisboa :Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC.
6. *Documento de Homologação n.º 914/ Julho de 2011- Weber.therm extra -Sistema composto de isolamento térmico pelo exterior .* Lisboa :Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC.
7. *Aprovação Técnica Europeia - ETA 11/ 0287/ Novembro de 2011- Weber.therm classic -Sistema composto de isolamento térmico pelo exterior .* Lisboa :Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC.
8. *Aprovação Técnica Europeia - ETA 11/ 0369/ Dezembro de 2012- Weber.therm extra -Sistema composto de isolamento térmico pelo exterior .* Lisboa :Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC.
9. **Weber-Saint Gobain-** *Manual técnico- Fachadas Eficientes* Weber.therm , Saint Gobain Weber Portugal, SA, 2012.
10. **Weber-Saint Gobain-** *Ficha técnica Sistema Weber.therm classic* , Saint Gobain Weber Portugal, SA, 2012.
11. **Weber-Saint Gobain-** *Ficha técnica Sistema Weber.therm extra*, Saint Gobain Weber Portugal, SA, 2012.
12. **Weber-Saint Gobain-** *Ficha técnica Sistema Weber.therm natura*, Saint Gobain Weber Portugal, SA, 2012.
13. **Weber-Saint Gobain-** *Ficha técnica Sistema Weber.therm mineral* , Saint Gobain Weber Portugal, SA, 2010.
14. **Weber-Saint Gobain-** *Declaração Ambiental de Produto - Sistema Weber.therm natura* , Saint Gobain Weber Portugal, SA, 2012.
15. **Saint Gobain Glass -** *Manual do Vidro. Santa Iria de Azóia* : Saint Gobain Glass Portugal, Vidro Plano, SA, 2008.
16. **SANTOS, C.A.Pina dos e MATIAS, L. M. Cordeiro.** *Coefficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente de edifícios - ITE 50.* Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC, 2006.

17. **Isocor** - Aglomerado Negro de Cortiça Expandida - *Ficha Técnica - Isocor - Aglomerados de Cortiça, A.C.E.- Lisboa.*
18. **Amorim - Amorim Isolamentos SA** - *Ficha Técnica, Amorim, Aglomerados de Cortiça, A.C.E.- Meladas 4535 Mozelos VFR, Portugal.*
19. **IberFibran- FibranXPS** - *Ficha técnica , IberFibran, Poliestireno Extrudido S.A -Ovar Portugal.*
20. **Tecnovite- EPS 100** - *Ficha técnica , Tecnovite – Industria de Esferovite, LDA-ColmeiasPortugal.*
21. **Rocterm- PN100** - *Certificado de Conformidade , Rocterm– Isolamentos Termo-Acusticos, S.A..*
22. *Despacho (extrato) n.º 15793-C- L/2013: Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, Direcção-Geral de Energia e Geologia , Lisboa : Diário da República , 2.ª série - N.º 234 - 3 de Dezembro de 2013.*
23. *Portaria n.º 349-B/2013, Lisboa :Diário da República, 1.ª série- N.º 232 - 29 de Novembro de 2013.*
24. *Portaria n.º 349-C/2013, Lisboa :Diário da República, 1.ª série - N.º 233- 2 de Dezembro de 2013.*
25. *Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Lisboa : Diário da República, 2006.*
26. **ADENE. Guia de Eficiência Energética Versão 2012.** Lisboa : Agência para a Energia - ADENE, 2011.

#### **Sites na Internet:**

27. [http://www.ecocasa.pt/construcao\\_content.php?id=28.](http://www.ecocasa.pt/construcao_content.php?id=28)
28. *ISI.* [http://pt.wikipedia.org/wiki/Isolante\\_t%C3%A9rmico.](http://pt.wikipedia.org/wiki/Isolante_t%C3%A9rmico)
29. [http://www.construcaosustentavel.pt/index.php?/O-Livro-%7C%7C-Construcao-Sustentavel/Certificacao/Certificacao-Energetica-2%C2%AA-Edicao.](http://www.construcaosustentavel.pt/index.php?/O-Livro-%7C%7C-Construcao-Sustentavel/Certificacao/Certificacao-Energetica-2%C2%AA-Edicao)
30. [http://static.publico.pt/fichas/ambiente/efeito\\_estufa.html.](http://static.publico.pt/fichas/ambiente/efeito_estufa.html)

#### **Aplicações Informáticas:**

31. **Anos Meteorológicos de Referência para simulação dinâmica, versão 1.3 (7 de Janeiro 2014): LNEG.**
32. **Pinto, A.** - *Aplicação LNEC- Ventilação REH e RECS. Lisboa, LNEC, 2014. V2. 0a, 2014-02-12.*
33. **ITeCons** – *Folha de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético de Edifícios de acordo com o REH (decreto-lei nº 118/2013 de 20 de Agosto- versão VI.06 de 28 de Agosto de 2014).*
34. **SolTerm 5.0- Análise de desempenho de sistemas solares – LNEG.**

## Anexo A – Fotografias do Caso de Estudo

### ❖ Fases do sistema ETICS



Imagem Anexo A.1- Suporte de Alvenaria



Imagem Anexo A. 2 – Aplicação do EPS e Buchas



Imagem Anexo A. 3 – Barramento Armado com Tela de Vidro



Imagem Anexo A.4 – Revestimento Final

# Anexo B – Fichas de Desempenho Energético



**ITECons**  
Instituto de Investigação e Desenvolvimento  
Tecnológico em Ciências da Construção



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

**FICHA N.º 1**  
**REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO**  
**DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)**  
(nos termos da alínea d) do n.º 1.1)

**Câmara Municipal de**  Loures

**Edifício**

Empreendimento:  Quinta do Aqueduto - SOLUÇÃO BASE  Nº de frações:

Morada:

Freguesia:  SANTO ANTÃO DO TOJAL  Concelho:  Loures

**Tipo de intervenção**

Edifício Novo     Grande intervenção  
*(a preencher com base na informação do projeto de comportamento térmico)*

Caracterização:

Fração	Área interior útil de pavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito médio ponderado (m)	Tipologia
Lote 6	135,74	2,65	T3

Resumo de cálculo:

Fração	Tx. ren. (RPH)	Nic (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Ni (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Nvc (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Nv (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Qa (kWh/ano)	Ntc (kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano))	Nt (kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano))	E <sub>ren,p</sub> (kWh/ano)(*)	E <sub>ren,ext</sub> (kWh/ano)(**)
Lote 6	0,59	23,85	43,71	14,10	15,77	2377	34,52	68,60	1622	0

(\*) correspondente à totalidade das formas de energias renováveis, destinadas a suprir necessidades relativas aos usos de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e ventilação.  
(\*\*) correspondente à energia renovável que é exportada do edifício e/ou consumida em outros usos não incluídos em E<sub>ren,p</sub>.

**Técnico responsável pelo projeto de comportamento térmico**

Nome:  Maria do Rosário F. de Almeida Romão

Inscrito na:  Ordem dos Engenheiros Técnicos  Número de inscrição:  19173

Assinatura:

Imagem Anexo B.1- Ficha de Desempenho Energético - Solução Base

**FICHA N.º 1**  
**REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO**  
**DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)**  
(nos termos da alínea d) do n.º 1.1)

Câmara Municipal de Loures

**Edifício**

Empreendimento: Quinta do Aqueduto - SOLUÇÃO ETICS-EPS Nº de frações:           
Morada:           
Freguesia: SANTO ANTÃO DO TOJAL Concelho: Loures

**Tipo de intervenção**

Edifício Novo     Grande intervenção  
(a preencher com base na informação do projeto de comportamento térmico)

Caracterização:

Fração	Área interior útil de pavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito médio ponderado (m)	Tipologia
Lote 6	135,74	2,65	T3

Resumo de cálculo:

Fração	Tx. ren. (RPH)	Nic (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Ni (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Nvc (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Nv (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Qa (kWh/ano)	Ntc (kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano))	Nt (kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano))	E <sub>ren,p</sub> (kWh/ano)(*)	E <sub>ren,ext</sub> (kWh/ano)(**)
Lote 6	0,59	21,48	43,71	14,54	15,77	2377	33,18	68,60	1622	0

(\*) correspondente à totalidade das formas de energias renováveis, destinadas a suprir necessidades relativas aos usos de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e ventilação.

(\*\*) correspondente à energia renovável que é exportada do edifício e/ou consumida em outros usos não incluídos em E<sub>ren,p</sub>.

**Técnico responsável pelo projeto de comportamento térmico**

Nome: Maria do Rosário F. de Almeida Romão  
Inscrito na: Ordem dos Engenheiros Técnicos Número de inscrição: 19173  
Assinatura: \_\_\_\_\_

Imagem Anexo B. 2 - Ficha de Desempenho Energético - Solução ETICS-EPS

**FICHA N.º 1**  
**REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO**  
**DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)**  
(nos termos da alínea d) do n.º 1.1)

Câmara Municipal de  Loures

**Edifício**

Empreendimento:  Quinta do Aqueduto - SOLUÇÃO ETICS-XPS  Nº de fracções:    
Morada:    
Freguesia:  SANTO ANTÃO DO TOJAL  Concelho:  Loures

**Tipo de intervenção**

Edifício Novo  Grande intervenção

(a preencher com base na informação do projeto de comportamento térmico)

**Caracterização:**

Fração	Área interior útil de pavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito médio ponderado (m)	Tipologia
Lote 6	135,74	2,65	T3

**Resumo de cálculo:**

Fração	Tx. ren. (RPH)	Nic (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Ni (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Nvc (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Nv (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Qa (kWh/ano)	Ntc (kWh <sub>tep</sub> /(m <sup>2</sup> .ano))	Nt (kWh <sub>tep</sub> /(m <sup>2</sup> .ano))	E <sub>ren,p</sub> (kWh/ano)(*)	E <sub>ren,ext</sub> (kWh/ano)(**)
Lote 6	0,59	21,21	43,71	14,53	15,77	2377	32,97	68,60	1622	0

(\*) correspondente à totalidade das formas de energias renováveis, destinadas a suprir necessidades relativas aos usos de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e ventilação.

(\*\*) correspondente à energia renovável que é exportada do edifício e/ou consumida em outros usos não incluídos em E<sub>ren,p</sub>.

**Técnico responsável pelo projeto de comportamento térmico**

Nome:  Maria do Rosário F. de Almeida Romão   
Inscrito na:  Ordem dos Engenheiros Técnicos  Número de inscrição:  19173   
Assinatura:

Imagem Anexo B. 3 - Ficha de Desempenho Energético - Solução ETICS-XPS

**FICHA N.º 1**  
**REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO**  
**DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)**  
(nos termos da alínea d) do n.º 1.1)

Câmara Municipal de Loures

**Edifício**

Empreendimento: Quinta do Aqueduto - SOLUÇÃO ETICS-ICB Nº de frações         

Morada:         

Freguesia: SANTO ANTÃO DO TOJAL Concelho: Loures

**Tipo de intervenção**

Edifício Novo  Grande intervenção

(a preencher com base na informação do projeto de comportamento térmico)

Caracterização:

Fração	Área interior útil de pavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito médio ponderado (m)	Tipologia
Lote 6	135,74	2,65	T3

Resumo de cálculo:

Fração	Tx. ren. (RPH)	Nic (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Ni (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Nvc (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Nv (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Qa (kWh/ano)	Ntc (kWh <sub>ext</sub> /(m <sup>2</sup> .ano))	Nt (kWh <sub>ext</sub> /(m <sup>2</sup> .ano))	E <sub>ren,p</sub> (kWh/ano)(*)	E <sub>ren,ext</sub> (kWh/ano)(**)
Lote 6	0,59	21,90	43,71	14,56	15,77	2377	33,49	68,60	1622	0

(\*) correspondente à totalidade das formas de energias renováveis, destinadas a suprir necessidades relativas aos usos de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e ventilação.

(\*\*) correspondente à energia renovável que é exportada do edifício e/ou consumida em outros usos não incluídos em E<sub>ren,p</sub>.

**Técnico responsável pelo projeto de comportamento térmico**

Nome: Maria do Rosário F. de Almeida Romão

Inscrito na: Ordem dos Engenheiros Técnicos Número de inscrição: 19173

Assinatura:         

Imagem Anexo B. 4- Ficha de Desempenho Energético - Solução ETICS-ICB

**FICHA N.º 1**  
**REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO**  
**DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)**  
(nos termos da alínea d) do n.º 1.1)

**Câmara Municipal de**  Loures

**Edifício**

Empreendimento:  Quinta do Aqueduto - SOLUÇÃO ETICS-MW  Nº de frações

Morada:

Freguesia:  SANTO ANTÃO DO TOJAL  Concelho:  Loures

**Tipo de intervenção**

Edifício Novo  Grande intervenção  
(a preencher com base na informação do projeto de comportamento térmico)

**Caracterização:**

Fração	Área interior útil de pavimento (m <sup>2</sup> )	Pé direito médio ponderado (m)	Tipologia
Lote 6	135,74	2,65	T3

**Resumo de cálculo:**

Fração	Tx. ren. (RPH)	Nic (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Ni (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Nvc (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Nv (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	Qa (kWh/ano)	Ntc (kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano))	Nt (kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano))	E <sub>ren,p</sub> (kWh/ano)*	E <sub>ren,net</sub> (kWh/ano)**
Lote 6	0,59	21,48	43,71	14,54	15,77	2377	33,18	68,60	1622	0

(\*) correspondente à totalidade das formas de energias renováveis, destinadas a suprir necessidades relativas aos usos de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e ventilação.

(\*\*) correspondente à energia renovável que é exportada do edifício e/ou consumida em outros usos não incluídos em E<sub>ren,p</sub>.

**Técnico responsável pelo projeto de comportamento térmico**

Nome:  Maria do Rosário F. de Almeida Romão

Inscrito na:  Ordem dos Engenheiros Técnicos  Número de inscrição:  19173

Assinatura

Imagem Anexo B. 5 - Ficha de Desempenho Energético - Solução ETICS-MW