

ANÁLISE FUNCIONAL E ECONÓMICA DE EDIFÍCIOS COM PAREDES EM BLOCOS DE ARGILA EXPANDIDA

SUMÁRIO

A introdução de novos materiais e soluções construtivas deve dotar os edifícios de uma boa qualidade funcional, designadamente, no domínio térmico e acústico bem como não introduzir aumentos significativos de custo.

A garantia de condições de conforto térmico e acústico nos edifícios pressupõe o cumprimento de um conjunto de critérios regulamentares, designadamente, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), o Regulamento Geral do Ruído (RGR) e o Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios (RRAE), que devem ser cumpridos na fase de projeto e corretamente implementados na fase de execução.

Este trabalho tem como principal objetivo a análise funcional e económica de edifícios com paredes exteriores em blocos de argila expandida. Para o efeito proceder-se-á à caracterização dos blocos de argila expandida, efetuar-se-á a análise térmica e acústica de um caso de estudo onde serão utilizados estes blocos na envolvente exterior e efetuar-se-á a análise técnica e económica desta solução.

PALAVRAS CHAVE: Isolamento Térmico; Isolamento Acústico; Blocos de Argila Expandida; Solução Construtiva.

ANALYSIS FUNCTIONAL AND ECONOMICAL OF BUILDINGS WITH EXTERIOR WALLS FILLED WITH EXPANDED CLAY BLOCKS

ABSTRACT

The introduction of new materials and construction solutions must provide a better functional quality to the buildings, particularly on thermal and acoustic behavior, but should not increase significantly its cost.

To guarantee comfort conditions in buildings the construction solutions must respect a variety of criterias, in particular three regulations: RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios), RGR (Regulamento Geral do Ruído) and RRAE (Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios). These rules must be taken into account in the project stage and also correctly implemented during the construction stage.

The main purpose of this dissertation is to analyze functionally and economically buildings which have exterior walls filled with expanded clay blocks. These blocs will be fully characterized and applied to a case study, analyzing its thermal and acoustic behavior and finally studying this solution technically and economically.

KEYWORDS: Thermal Insulation; Acoustic Insulation; Expanded Clay Blocks; Construction Solution.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Doutor Rui Penha, a sugestão da realização de uma pequena tese sobre esta temática na unidade curricular de Gestão e Qualidade na Construção.

Agradeço também à Professora Doutora Fátima Farinha, o empenhamento e a disponibilidade, que através das suas sugestões, dúvidas e críticas, me ajudou a tornar mais completa e clara a informação presente nesta dissertação.

Agradeço ainda a todas as restantes pessoas e organizações que comigo colaboraram, na obtenção dos conhecimentos e da informação para o presente trabalho, sem as quais não teria sido possível realizá-lo.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivo	1
1.2	Motivação	1
1.3	Estrutura da dissertação	2
2	BLOCOS DE ARGILA EXPANDIDA E ISOLAMENTO TÉRMICO	3
2.1	Argila expandida	3
2.2	Evolução histórica	4
2.3	Isolamento térmico pelo exterior (ETICS)	11
3	EXIGÊNCIAS TÉRMICAS	14
3.1	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios	14
3.1.1	Âmbito de aplicação	14
3.1.2	Parâmetros fundamentais	15
3.1.3	Parâmetros de caracterização térmica	16
3.1.4	Requisitos mínimos regulamentares	22
3.1.5	Requisitos energéticos	23
3.2	ITE 50	28
3.2.1	Âmbito de aplicação	29
3.2.2	Parâmetros	29
4	EXIGÊNCIAS ACÚSTICAS	35
4.1	Regulamento Geral do Ruído (RGR)	35
4.1.1	Âmbito de aplicação	36
4.1.2	Classificação de zonas e valores limite de exposição exterior	36
4.1.3	Instalação e funcionamento de atividades ruidosas permanentes	37
4.1.4	Avaliação do critério de incomodidade	38
4.1.5	Atividades ruidosas temporárias	38
4.1.6	Ruídos de vizinhança	38
4.1.7	Planeamento territorial	39
4.1.8	Exigências aplicáveis a processos de licenciamento	39
4.2	Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE)	40
4.2.1	Tipificação dos edifícios	40
4.2.2	Parâmetros utilizados no novo RRAE e suas definições	40

4.2.3	Requisitos acústicos dos edifícios	44
5	CASO DE ESTUDO	51
5.1	Descrição do edifício	51
5.2	Soluções construtivas adotadas	53
5.3	Análise térmica	60
5.3.1	Considerações gerais	60
5.3.2	Coefficientes de transmissão térmica	69
5.3.3	Inércia térmica	74
5.3.4	Fator solar dos vãos envidraçados	75
5.3.5	Identificação dos espaços não úteis	75
5.3.6	Ventilação	76
5.3.7	Necessidades nominais anuais de energia útil	76
5.3.8	Necessidades de energia para água quente sanitária	76
5.3.9	Necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária	77
5.3.10	Classe energética final	78
5.3.11	Emissões de dióxido de carbono	78
5.4	Análise acústica	79
5.4.1	Considerações gerais	79
5.4.2	Classificação da zona em estudo	79
5.4.3	Requisitos acústicos	79
6	ANÁLISE FUNCIONAL E ECONÓMICA	83
6.1	Análise funcional	83
6.1.1	Solução construtiva preconizada no caso de estudo	84
6.1.2	Parede de pano duplo	85
6.1.3	Análise comparativa	87
6.2	Análise económica	91
6.2.1	Materiais	91
6.2.2	Mão de obra	97
7	CONCLUSÃO	98
7.1	Trabalhos futuros	99
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
	ANEXOS	102

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Classificação dos agregados segundo a NP-ENV 206-12007 5.5.2 [3, 14]	5
Tabela 2.2 - Peças do “Sistema Isolbloco” e principais características [28]	9
Tabela 2.3 - Peças da “Artebel” e principais características [21]	10
Tabela 2.4 - Obras realizadas em blocos [21]	11
Tabela 3.1 - Valores do coeficiente τ [16, Tabela IV.1]	18
Tabela 3.2 - Classes de exposição ao vento das fachadas do edifício ou da fração autónoma [16, Quadro IV.2]	19
Tabela 3.3 - Valores convencionais de R_{ph} para edifícios de habitação [16, Quadro IV.1]	20
Tabela 3.4 - Valores do fator de correção da seletividade angular dos envidraçados (F_w) – Situação de verão [16, Tabela V.3]	22
Tabela 3.5 – Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados com mais de 5% da área útil do espaço que servem [16, Quadro IX.2]	23
Tabela 3.6 – Verificação regulamentar imposta [16]	24
Tabela 3.7 – Valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento [16]	25
Tabela 3.8 – Valores limites das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento [16]	26
Tabela 3.9 - Número convencional de ocupantes em função da tipologia da fração autónoma [16, Quadro VI.1]	26
Tabela 3.10 – Número anual de dias de consumo de AQS [16, Quadro VI.2]	27
Tabela 3.11 – Fatores de conversão de energia útil para energia primária [16]	28
Tabela 3.12 – Valores de referência para a eficiência nominal dos equipamentos utilizados [16]	28
Tabela 3.13 – Coeficiente de transmissão térmica de paredes simples de fachada, com isolamento pelo exterior [9, Quadro II.2]	31
Tabela 3.14 – Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos sobre espaços exteriores, com isolamento térmico pelo exterior [9, Quadro II.8]	32
Tabela 3.15 – Coeficiente de transmissão térmica de coberturas inclinadas, com isolamento térmico sobre a esteira horizontal [9, Quadro II.19]	33
Tabela 3.16 – Coeficientes de transmissão térmica de vãos envidraçados em caixilharia metálica, com corte térmico [9, Quadro III.2]	34

Tabela 4.1 - Termos de adaptação [6, 18]	44
Tabela 4.2 – Valores referentes aos termos de adaptações [6]	44
Tabela 4.3 - Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras (artigo 5º) [6]	45
Tabela 4.4 - Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edificios industriais (artigo 6º) [6] (Parte I)	46
Tabela 4.5 - Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edificios industriais (artigo 6º) [6] (Parte II)	47
Tabela 4.6 - Edifícios escolares e similares, e de investigação (artigo 7º) [6] (Parte I)	47
Tabela 4.7 - Edifícios escolares e similares, e de investigação (artigo 7º) [6] (Parte II)	48
Tabela 4.8 - Edifícios hospitalares e similares (artigo 8º) [6] (Parte I)	48
Tabela 4.9 - Edifícios hospitalares e similares (artigo 8º) [6] (Parte II)	49
Tabela 4.10 – Recintos desportivos (artigo 9º) [6]	49
Tabela 4.11 – Estações de transporte de passageiros (artigo 10º) [6]	49
Tabela 4.12 – Auditórios e salas (artigo 10º-A) [6]	50
Tabela 5.1 – Dados climáticos de referência do concelho de Lagoa [16, Quadro III.1]	60
Tabela 5.2 - Energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul no inverno [16, Quadro III.8]	61
Tabela 5.3 - Valores médios da temperatura do ar exterior e da intensidade da radiação solar para o verão [13, Quadro III.9]	61
Tabela 5.4 - Referência à classe de exposição ao vento das fachadas da moradia em estudo [16, Quadro IV.2]	62
Tabela 5.5 – Legenda da definição dos tipos de envolvente considerados [19]	62
Tabela 5.6 – Áreas úteis de cada compartimento da moradia	68
Tabela 5.7 - Coeficiente de transmissão térmica da parede de fachada (Pe1)	69
Tabela 5.8 - Coeficiente de transmissão térmica das pontes térmicas da parede de fachada (PTPe1)	69
Tabela 5.9 - Coeficiente de transmissão térmica da parede interior (Pi1)	70
Tabela 5.10 - Coeficiente de transmissão térmica das pontes térmicas da parede interior (PTPi1)	70
Tabela 5.11 - Coeficiente de transmissão térmica da porta interior em contacto com espaço não útil (PO01)	70
Tabela 5.12 - Coeficiente de transmissão térmica da porta exterior (PO02)	71

Tabela 5.13 - Coeficiente de transmissão térmica da cobertura em terraço acessível (COB01)	71
Tabela 5.14 - Coeficiente de transmissão térmica da cobertura em terraço acessível (COB02)	71
Tabela 5.15 - Coeficiente de transmissão térmica da cobertura em terraço não acessível (COB03)	72
Tabela 5.16 - Coeficiente de transmissão térmica da cobertura sob espaço não útil (LAJ01 e LAJ02)	73
Tabela 5.17 - Coeficiente de transmissão térmica da laje de pavimento sobre espaço não útil (PAV01)	73
Tabela 5.18 - Coeficiente de transmissão térmica da laje de pavimento sobre espaço não útil (PAV02)	74
Tabela 5.19 - Coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados (ENVtipo01, ENVtipo02 e ENVtipo03)	74
Tabela 5.20 – Classificação da inércia térmica da moradia	74
Tabela 5.21 – Tipos de espaços não úteis existentes na moradia em estudo	76
Tabela 5.22 – Esolar	77
Tabela 5.23 – Necessidades de energia para AQS	77
Tabela 5.24 – Parâmetros considerados	77
Tabela 5.25 – Necessidades globais de energia primária	78
Tabela 5.26 – Tabela de classificação energética [22]	78
Tabela 5.27 – Cálculo da massa da parede exterior	80
Tabela 5.28 – RW do envidraçado	80
Tabela 5.29 – Cálculo da redução sonora aparente (Quarto1)	81
Tabela 5.30 – Cálculo do isolamento sonoro de condução aérea (Quarto1)	81
Tabela 5.31 – Cálculo da redução sonora aparente (Quarto2)	81
Tabela 5.32 – Cálculo do isolamento sonoro de condução aérea (Quarto2)	81
Tabela 5.33 – Cálculo da redução sonora aparente (Quarto3)	81
Tabela 5.34 – Cálculo do isolamento sonoro de condução aérea (Quarto3)	81
Tabela 5.35 – Cálculo da redução sonora aparente (Quarto4)	82
Tabela 5.36 – Cálculo do isolamento sonoro de condução aérea (Quarto4)	82
Tabela 5.37 – Cálculo da redução sonora aparente (Sala)	82

Tabela 5.38 – Cálculo do isolamento sonoro de condução aérea (Sala)	82
Tabela 6.1 – Principais aspetos responsáveis por anomalias da parede exterior de pano duplo [11]	86
Tabela 6.2 – Elementos constituintes de paredes exteriores de pano simples e de pano duplo [27]	87
Tabela 6.3 – Comparação do desempenho da envolvente dos edifícios, entre paredes exteriores de pano simples e de pano duplo [8]	88
Tabela 6.4 – Resultados da análise térmica referente à solução de parede exterior preconizada	90
Tabela 6.5 – Resultados da análise térmica referente à solução construtiva de parede exterior em pano duplo	90
Tabela 6.6 – Resultados da análise acústica referente a ambas as soluções de parede exterior analisadas	91
Tabela 6.7 – Custo dos tijolos cerâmicos furados [21, 33]	91
Tabela 6.8 – Custo da alvenaria referente a uma parede exterior em pano duplo de 11+15	92
Tabela 6.9 – Custo da alvenaria referente à solução de parede de pano simples preconizada no caso de estudo	93
Tabela 6.10 – Constituintes do sistema “Weber.therm Classic” e forma de comercialização	94
Tabela 6.11 – Custo do sistema “Weber.therm Classic” (Anexo IV)	95
Tabela 6.12 – Custos referentes ao isolamento térmico de uma parede exterior em pano duplo	95
Tabela 6.13 – Custo do “Styrofoam IB-A” [23]	96
Tabela 6.14 – Custo do tijolo cerâmico furado de 3cm	96
Tabela 6.15 – Custos referentes ao isolamento das pontes térmicas de parede exterior em pano duplo	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Forno rotativo [10]	3
Figura 2.2 - Panteão de Roma [29]	4
Figura 2.3 - Torre Picasso [34]	5
Figura 2.4 - Ponte Nordhordland [31]	6
Figura 2.5 - Ponte Stolma [32]	6
Figura 2.6 - Pavilhão de Portugal [30]	7
Figura 2.7 - Museu Guggenheim [28]	7
Figura 2.8 - Catedral do Ártico [35]	8
Figura 2.9 - Camadas constituintes do ETICS [24]	12
Figura 3.1 - Portugal continental. Zonas climáticas de inverno e de verão [20, Figuras III.1 e III.2 do RCCTE]	15
Figura 3.2 – Representação esquemática de um desvão de cobertura, não habitado (espaço não útil) [2]	17
Figura 3.3 – Esquema da verificação regulamentar do RCCTE [2]	24
Figura 4.1 - Diagrama de estimação do índice de isolamento sonoro para elementos de compartimentação simples e homogéneos, em função da sua massa superficial [6]	43
Figura 4.2 - Diagrama de estimação do índice de isolamento sonoro para envidraçados, em função da sua espessura ou da massa superficial [1]	43
Figura 4.3 – Representação esquemática do artigo 5º, em que cada quarto equivale a um fogo [6]	46
Figura 5.1 - Planta síntese (Digitalização fornecida pela Câmara Municipal de Lagoa)	52
Figura 5.2 - Fachada principal (alçado Norte)	52
Figura 5.3 - Ângulo entre alçado Nascente e alçado Norte	53
Figura 5.4 - Ângulo entre alçado Norte e alçado Poente	53
Figura 5.5 - Vista geral do alçado Poente	53
Figura 5.6 - Vista do arranjo exterior	53
Figura 5.7 - Pormenor da parede exterior e viga, em corte (Pe1)	54
Figura 5.8 - Pormenor em planta, de ligação entre as paredes exteriores e os pilares (PTPe1)	54
Figura 5.9 - Pormenor da parede e viga de separação entre espaços úteis e não úteis, em corte (Pi1 e PTPi1)	55

Figura 5.10 - Pormenor da cobertura horizontal acessível em laje maciça, em corte (COB01)	56
Figura 5.11 - Pormenor da cobertura horizontal acessível em laje aligeirada, em corte (COB02)	56
Figura 5.12 - Pormenor da cobertura horizontal não acessível, em corte (COB03)	57
Figura 5.13 - Pormenor da cobertura inclinada com laje horizontal, em corte (LAJ01 e LAJ02)	57
Figura 5.14 - Pormenor do pavimento térreo da cave, sobre o terreno, em corte	58
Figura 5.15 - Pormenor do pavimento sobre a garagem, em corte (PAV01)	58
Figura 5.16 - Pormenor do pavimento do piso térreo, no rés do chão, em corte (PAV02)	59
Figura 5.17 - Pormenor do pavimento do piso, em corte	60
Figura 5.18 - Foto digital com a distância à costa (Google Earth)	61
Figura 5.19 - Planta da cave com a delimitação das envolventes	63
Figura 5.20 - Planta do rés do chão com a delimitação das envolventes	64
Figura 5.21 - Planta do 1º piso com a delimitação das envolventes	65
Figura 5.22 - Planta da cobertura com a delimitação das envolventes	66
Figura 5.23 - Cortes AA' a CC', com a delimitação das envolventes	67
Figura 5.24 - Cortes DD' e EE', com a delimitação das envolventes	68
Figura 6.1 – Diferentes tipos de aplicação de isolamento térmico [5]	84
Figura 6.2 - Consequências de uma parede dupla mal executada [13]	87
Figura 6.3 - Pormenor da parede exterior de pano duplo e viga, em corte (Pe1 e PTPe1)	89
Figura 6.4 - Pormenor da parede e viga de separação entre espaços úteis e não úteis, em corte (Pi1 e PTPi1)	90
Figura 6.5 - Pormenor em corte, da parede de pano duplo de 36cm de espessura	92
Figura 6.6 - Pormenor em planta, da parede de pano duplo de 36cm de espessura	92
Figura 6.7 - Pormenor em corte, da solução preconizada de parede de pano simples	93
Figura 6.8 - Pormenor em planta, da solução preconizada de parede de pano simples	93
Figura 6.9 - Pormenor construtivo do sistema “Weber.therm Classic”	94

1 INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, têm sido procuradas soluções construtivas para fachadas, paredes divisórias e lajes constituídas por materiais menos densos, facto este que está relacionado com a intenção de diminuir o peso, o tempo e o custo da construção. No entanto, esta evolução tem contribuído para uma maior transmissão sonora e térmica entre o exterior e o interior das habitações, contribuindo para a diminuição da qualidade das mesmas.

Em Portugal o desempenho térmico e acústico foi durante muito tempo descurado nos edifícios, sendo a sua obrigatoriedade apenas na década de 90. Hoje é, portanto, fundamental garantir que os edifícios cumpram a nível térmico a satisfação das condições ambientais nos espaços interiores, tanto no inverno como no verão, impondo limites ao dispêndio excessivo de energia, e ainda ter em conta a minimização dos efeitos patológicos nos elementos de construção devido à ocorrência de condensações superficiais ou internas, que influenciem a durabilidade dos elementos de construção e a qualidade do ar interior. A nível acústico, devem ser cumpridas as exigências regulamentares, designadamente, os índices de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão.

1.1 Objetivo

O objetivo da presente dissertação, consiste na análise funcional e económica de edifícios com paredes exteriores em blocos de argila expandida. Para o efeito procede-se à caracterização dos blocos e à análise térmica e acústica de um caso de estudo onde são utilizados estes blocos na envolvente exterior. É ainda realizada uma análise técnica e económica desta solução.

1.2 Motivação

A expansão da construção civil, a necessidade constante da redução de custos e a imposição de cumprimento dos requisitos atuais da regulamentação, foram os principais incentivos da investigação de novos materiais e a implantação de diferentes sistemas construtivos.

O desenvolvimento de novos sistemas de construção de alvenarias, com base num modelo de tijolo e em elementos acessórios, de forma a adaptarem-se aos pontos singulares da alvenaria, conduziu à produção de elementos cerâmicos com características favoráveis ao desempenho

térmico, mecânico e acústico. A sua aplicação, tem particular interesse ao nível da melhoria do conforto térmico e acústico bem como, solucionar os problemas de penetração da humidade.

1.3 Estrutura da dissertação

A estrutura da dissertação encontra-se dividida em sete capítulos, sendo o primeiro correspondente à presente introdução, na qual se faz o enquadramento geral do trabalho e se refere o objetivo que se pretende alcançar e a motivação inerente à elaboração do trabalho. O segundo capítulo é alusivo aos blocos de argila expandida e ao sistema de isolamento térmico pelo exterior (ETICS). O terceiro e o quarto capítulos são referentes às exigências térmicas e acústicas, respetivamente. O quinto capítulo reporta ao caso de estudo, enquadrando sub-capítulos como a descrição do edifício, as soluções construtivas adotadas e as análises térmica e acústica efetuadas. O sexto capítulo reporta à análise funcional e económica, entre parede de pano simples de alvenaria em blocos de argila expandida e parede dupla de alvenaria em tijolo corrente. O sétimo capítulo refere-se à conclusão. Por fim apresentam-se as referências bibliográficas e os anexos que se encontram sub-divididos em peças desenhadas, fichas técnicas, folhas de cálculo e tabelas de preços.

2 BLOCOS DE ARGILA EXPANDIDA E ISOLAMENTO TÉRMICO

Neste capítulo procede-se à caracterização dos blocos de argila expandida e do isolamento térmico.

Na seção 2.1 é explicado o processo de fabricação da argila expandida e os seus campos de aplicação.

Ao longo da seção 2.2 apresentam-se algumas obras de referência, procede-se à análise da evolução histórica dos blocos de argila expandida em Portugal e especificam-se os principais tipos de blocos existentes.

Na seção 2.3 caracteriza-se o isolamento térmico pelo exterior, denominado por ETICS que significa em inglês “External Thermal Insulation Composite System” ou em português “Sistema Compósito de Isolamento Térmico pelo Exterior”.

2.1 Argila expandida

A argila expandida resulta da introdução de argila pura em fornos rotativos de 75m de comprimento (Figura 2.1), a temperaturas superiores a 1000°C, onde se dá a sua expansão controlada até sete vezes o seu volume inicial, através da libertação de gases como o dióxido de carbono (CO₂). No entanto, podem ser utilizados outros métodos para a expansão da argila.



Figura 2.1 – Forno rotativo [10]

Deste processo resulta a formação de grânulos que, no seu interior, contém milhares de micro poros fechados, contendo ar, o que confere leveza ao material. Sendo, o nível de emissões de CO₂ baixo e também por ser um produto mineral, durável, não tóxico e reciclável, constitui, um produto base para o desenvolvimento de soluções sustentáveis com aplicações em obras de construção de edifícios, reabilitação, geotecnia e paisagismo. A argila expandida pode ser

utilizada [10, 37]:

- como agregado de betão permitindo a redução do peso global da estrutura;
- em camadas de enchimento;
- em isolamentos térmicos e acústicos.

2.2 Evolução histórica

Os agregados leves são materiais cuja utilização data de há longos anos. O Coliseu e o Panteão de Roma, integraram na sua constituição agregados de lava, fragmentos de tijolo e pedra-pomes. O Panteão de Roma terá sido um dos primeiros edifícios a ser construído com agregados leves, surgindo entre os anos de 110 e 125 por ordem do imperador romano Adriano. Este edifício apresenta uma altura idêntica a um edifício de 15 pisos, possuindo uma altura e um diâmetro de 43m. Foi uma estrutura construída com um vão três vezes maior do que até então alguma estrutura tinha sido construída [3, 36]. Na figura 2.2 são apresentadas algumas imagens do Panteão de Roma.



Figura 2.2 - Panteão de Roma [29]

A construção com recurso a blocos de argila expandida ou betão leve com agregados em argila expandida, surgiu no final do século XX, altura em que se começou a desenvolver a produção industrial dos agregados leves. O betão leve com agregados de argila expandida, é obtido pela substituição da brita por agregados de argila expandida. Assim sendo, o betão leve difere do betão normal, essencialmente, pela baixa massa volúmica [3].

A especificação do betão é dada pela Norma Portuguesa NP ENV 206, que classifica como betões leves aqueles que possuem massas volúmicas inferiores a 2000kg/m^3 . Na tabela 2.1 é referida a classificação dos agregados segundo a Norma Portuguesa NP-ENV 206.

Tabela 2.1 - Classificação dos agregados segundo a NP-ENV 206-12007 5.5.2 [3, 14]

Designação do Betão	Massa Volúmica Absoluta
Betão Leve	$< 2000\text{kg/m}^3$
Betão de Peso Normal	$2000 \text{ e } 2800\text{kg/m}^3$
Betão Pesado	$> 2800\text{kg/m}^3$

Como referências históricas surgem na Europa várias obras em betão leve, entre as quais se destacam [3]:

- Torre Picasso, construída pelo Japonês Minoru Yamasaki no ano de 1988, em Madrid, Espanha. Até 2007 foi o edifício mais alto de Madrid devido aos seus 157m de altura e 43 andares (Figura 2.3);



Figura 2.3 - Torre Picasso [34]

- Ponte Nordhordland, construída sobre o fiorde Salhus em Bergen, na Noruega em 1993, com um comprimento total de 1615m que engloba uma parte flutuante de 1246m. A superestrutura é suportada por 10 pontões flutuantes construídos em betão leve, contribuindo para uma maior economia na construção (Figura 2.4);



Figura 2.4 - Ponte Nordhordland [31]

- Ponte Stolma, construída no ano de 1998 em Bergen, na Noruega com um comprimento de 467m dividido em 3 vãos, sendo o maior de 301m. É constituída por betão de baixa densidade (Figura 2.5);



Figura 2.5 - Ponte Stolma [32]

- Pavilhão de Portugal, projetado pelo arquiteto Álvaro Siza Vieira e construído no ano de 1998 em Lisboa. Foi responsável por abrigar a representação portuguesa na exposição mundial de 1998 (Expo'98), no Parque das Nações. Apresenta uma pala em betão leve que se baseia na ideia de uma folha de papel pousada em dois tijolos (Figura 2.6);



Figura 2.6 - Pavilhão de Portugal [30]

- Museu Guggenheim, projetado pelo arquiteto canadense naturalizado norte-americano Frank Gehry e construído em 1997 em Bilbao, Espanha. O museu é em betão leve e apresenta-se coberto por superfícies de titânio curvas em vários pontos, que lembram escamas de um peixe. Possui um átrio central com 50m de altura e assemelha-se à forma de um barco (Figura 2.7);



Figura 2.7 - Museu Guggenheim [28]

- Catedral do Ártico, projetada por Jan Inge Hovig no ano de 1965 em Tromso, na Noruega. É toda em betão leve e apresenta uma forma triangular, possuindo um vitral com 23m de altura, da autoria de Victor Sparre, que cobre toda a parede leste (Figura 2.8) [36].



Figura 2.8 - Catedral do Ártico [35]


A produção de betão leve com agregados de argila expandida, teve início em Portugal no ano de 1990, através do grupo europeu LECA® (Light Expanded Clay Aggregate). Os primeiros blocos leves em argila expandida, para alvenarias, surgiram em 1993 designados por “blocos térmicos”. Em 1999 surgiu o “Sistema Isolbloco” em argila expandida, destinado sobretudo à envolvente exterior de edifícios, apresentando blocos específicos para solucionar perdas térmicas, cantos e caixas de estore (Tabela 2.2), o que permite tanto uma diminuição do tempo de execução, como uma diminuição dos custos da mão de obra, devido à sua colocação simplificada [3]. Na tabela 2.2 são caracterizadas as diferentes peças do “Sistema Isolbloco”.

Tabela 2.2 - Peças do “Sistema Isolbloco” e principais características [28]

Tipo	Descrição
	<p>Peça base com dimensões 40x20x32(cm). É a peça base do sistema que permitirá construir paredes com 32cm de espessura.</p>
	<p>Peça base com dimensões 40x20x32(cm) com face lisa. É uma peça que servirá para rematar a parede junto a ombreiras de portas e janelas.</p>
	<p>Peça com dimensões 20x20x32(cm). Serve para fazer os remates junto a pilares e permite fazer o acerto para o assentamento da parede.</p>
	<p>Peça com dimensões 20x20x32(cm) com face lisa. Pode ter a mesma função da peça anterior mas também permite fazer o remate nas ombreiras das portas e janelas.</p>
	<p>Peça com dimensões 40x10x32(cm). Peça mais baixa para fazer os fechos junto à viga de bordo.</p>
	<p>Bloco de estore. Peça que permite a integração da caixa de estore no sistema.</p>
	<p>Forra térmica com dimensões 50x20x05(cm). Peça que permite corrigir as pontes térmicas em pilares e vigas de bordo.</p>





Em março de 2008, a “Artebel” surgiu com outra solução construtiva em blocos de argila expandida concebida para alvenarias de exterior simples, paredes em contacto com zonas não aquecidas, divisórias entre fogos, caixas de escada e elevadores (Tabela 2.3), em que todos os blocos apresentam encaixe macho-fêmea permitindo a realização de juntas verticais secas, isto é, sem preenchimento com argamassas [21]. Na tabela 2.3 são caracterizadas as peças da “Artebel”.

Tabela 2.3 - Peças da “Artebel” e principais características [21]

Tipo	Descrição
<p>Bloco Térmico (BT ou BTE)</p> 	<p>Bloco em betão leve de agregados de argila expandida, que possui encaixe macho-fêmea, permitindo a realização de juntas verticais secas (não preenchidas por argamassas). Dimensões: 50x20x15(cm); 50x20x20(cm); 50x20x25(cm) e 50x20x30(cm).</p>
<p>Bloco Lintel Térmico (LTE)</p> 	<p>Bloco em betão leve de agregados de argila expandida, que se assume como uma cofragem perdida de viga, e que quando conjugado com o bloco térmico e o bloco de cofragem de pilar, poderão executar-se paredes sem recurso a cofragem tradicional. Dimensões: 50x20x25(cm) e 50x20x30(cm).</p>
<p>Bloco Cofragem Pilar (BCP 30)</p> 	<p>Bloco em betão leve de agregados de argila expandida, que se assume como uma cofragem perdida de pilar. O bloco de cofragem de pilar integra um sistema construtivo destinado em especial a construções de baixo porte. O BCP permite rapidez e economia na cofragem, na betonagem e na execução de paredes, assumindo-se como uma cofragem perdida de pilar. Dimensões: 50x20x30(cm).</p>
<p>Bloco de Betão (BBE)</p> 	<p>Bloco fabricado em betão normal, mas também existe em betão leve de agregados de argila expandida. É utilizado em todos os tipos de construção e apresenta geometria tradicional, destinando-se à execução de paredes simples e duplas, exteriores ou interiores, de edifícios industriais, zonas comerciais, naves, caves, armazéns e muros. Dimensões: 50x20x28(cm).</p>
<p>Bloco Megatérmico (BMT)</p> 	<p>Bloco em betão leve de agregados de argila expandida, para construção de alvenarias simples. Aplica-se em paredes exteriores, em contacto com zonas não aquecidas e em divisórias entre fogos (caixas de escada e de elevadores). Dimensões: 35x19x38(cm).</p>
<p>Isoargila (Isoa)</p> 	<p>Bloco alveolado de isolamento acústico em betão leve de agregados de argila expandida, destinado à execução de paredes simples ou duplas, divisórias entre fogos, caixas de escada, elevadores ou divisórias entre outras zonas ruidosas. Dimensões: 40x19x15(cm); 40x19x20(cm) e 40x19x25(cm).</p>

Têm sido desenvolvidas várias obras em Portugal, ao nível de edifícios habitacionais, escolares, comerciais e outros. Na tabela 2.4 evidenciam-se algumas das obras realizadas.

Tabela 2.4 - Obras realizadas em blocos [21]

<p>Urbanização Cabanas em Tavira, a cargo da Construtora Edificadora Luz e Alves</p>  <p>Utilização do bloco isoargila</p>	<p>Hotel Aquashow em Quarteira, junto ao Parque Temático Aquashow (2010)</p>  <p>Utilização do bloco isoargila</p>
<p>El Corte Inglés em Coimbra</p>  <p>Utilização do bloco térmico</p>	<p>Creche e lar da Misericórdia de Soure, a cargo da construtora Vidal P. Gomes</p>  <p>Utilização do bloco térmico</p>

O bloco térmico (BT30) da “Artebel”, foi o bloco escolhido para a solução construtiva da moradia do caso de estudo. As fichas técnicas referentes aos blocos utilizados, encontram-se em anexo (Anexo I.1).

2.3 Isolamento térmico pelo exterior (ETICS)

O ETICS é um sistema que pode ser aplicado em paredes de alvenaria, ou seja, utilizando unidades unidas entre si por argamassa, como por exemplo, tijolos, blocos ou em paredes de betão (betonadas “*in situ*” ou pré-fabricadas).

O ETICS é constituído por uma camada de isolante térmico aplicada na face exterior da parede, que pode ser fixada através de um produto de colagem ou através de fixação mecânica, ou ainda por aplicação de ambos os métodos. As placas de isolante podem possuir uma espessura variável entre 40 e 100mm, dependendo da resistência térmica que se pretende obter, pelo que em Portugal as espessuras mais comuns são da ordem de 40 a 60mm. Existem três tipos de isolante térmico de aplicação mais frequente, sendo estes, o EPS (poliestireno expandido moldado), o XPS (poliestireno expandido extrudido) e o ICB (placas de aglomerado de cortiça expandida), no entanto o de utilização mais comum é o EPS. Sobre o isolante térmico é aplicada uma camada de

base, 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 [26].

Nos sistemas colados o produto usado como camada de base é em geral também usado como produto de colagem, ao passo que nos sistemas de fixação mecânica, a ligação ao suporte pode ser constituída por ancoragens diretas do isolante ao suporte ou por perfis metálicos ancorados ao suporte, nos quais encaixam as placas de isolante [26].

O ETICS permite a aplicação de uma grande diversidade de acabamentos, recorrendo a revestimentos por pintura com tintas, revestimentos plásticos espessos ou revestimentos minerais de silicatos ou de cimento. É ainda possível usar revestimentos descontínuos, de ladrilhos cerâmicos, placas de pedra ou de outra natureza embora não seja prática comum.

A figura 2.9 descreve a constituição do sistema de isolamento pelo exterior.

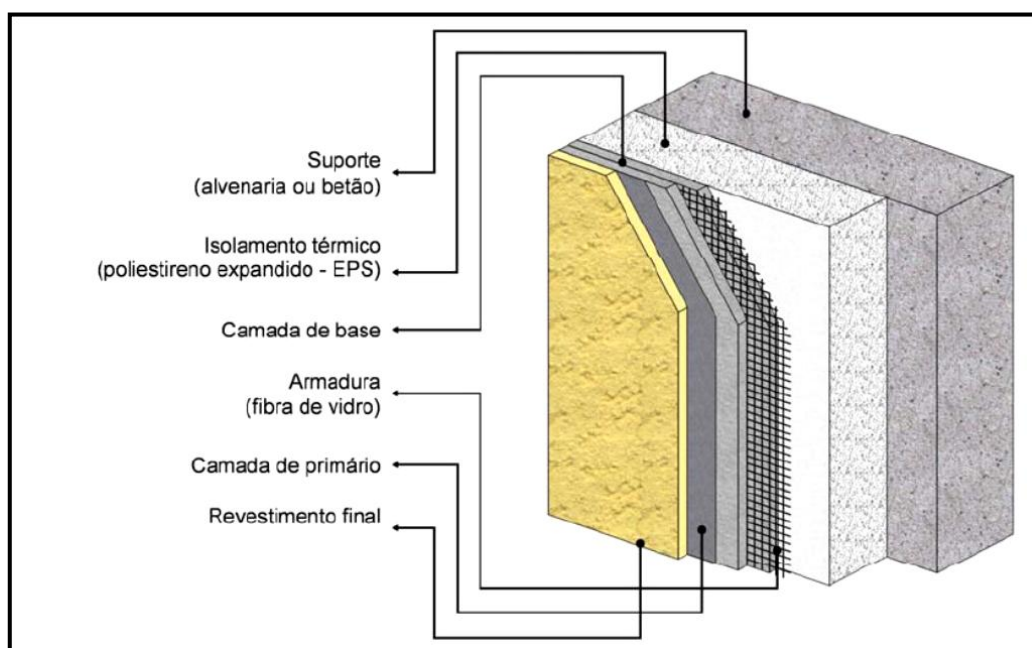


Figura 2.9 - Camadas constituintes do ETICS [24]

A conjugação do ETICS com o bloco térmico, permite melhorar o desempenho da parede, pois o bloco já apresenta características em termos de isolamento térmico, devido à inclusão da argila expandida no mesmo.

O sistema de isolamento térmico pelo exterior apresenta eficácia e vantagens funcionais adicionais relativamente aos outros tipos de isolamento, pois permite a correção das pontes

térmicas, reduzindo o problema das condensações no interior, melhora o desempenho térmico de verão, já que permite que toda a espessura da parede contribua para a inércia térmica e protege a estrutura e a alvenaria dos choques térmicos, contribuindo assim para o aumento da durabilidade desses elementos. Adicionalmente, apresenta ainda vantagens práticas, pois não reduz a área interior habitável, no caso de reabilitação produz o mínimo e incómodo para os usuários e permite uma grande liberdade de acabamentos que podem conferir aspetos mais tecnológicos e sóbrios ou mais tradicionais, semelhantes a revestimentos de reboco pintado, se for esse o objetivo do projetista. No entanto, existem algumas situações em que este tipo de sistema não deve ser utilizado, tal como, quando não se deve alterar o aspeto estético exterior do edifício ou quando não é aceitável uma redução significativa da capacidade de evaporação da água do interior da parede para o exterior, como é o caso de paredes antigas com água de capilaridade ascendente [26].

Para o caso em estudo foi utilizado o ETICS do grupo “Saint-Gobain Weber”, denominado por “Sistema ETICS Weber.therm Classic”, cujo valor da resistência térmica é de $1,41\text{m}^2\cdot\text{k}/\text{w}$ (Anexo I.2).

3 EXIGÊNCIAS TÉRMICAS

O objetivo deste capítulo é o de apresentar as principais exigências térmicas, em termos de regulamentação nacional.

Na seção 3.1 refere-se o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, em termos de âmbito de aplicação, parâmetros fundamentais, parâmetros de caracterização térmica, requisitos mínimos regulamentares e requisitos térmicos.

Na seção 3.2 é referido o ITE 50, em termos âmbito de aplicação, parâmetros e valores de cálculo convencionais.

3.1 Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) atualmente em vigor, foi aprovado pelo Decreto-lei nº 80/2006 de 4 de abril, cujos anexos I a IX fazem parte integrante [16].

3.1.1 Âmbito de aplicação

Relativamente ao âmbito de aplicação, o RCCTE independentemente da legislação específica, aplica-se a (artigo 2º):

- cada uma das frações autónomas de todos os novos edifícios de habitação e de todos os novos de serviços, que não tenham sistemas de climatização centralizados;
- grandes intervenções de remodelação, de alteração na envolvente ou nas instalações de preparação de águas quentes sanitárias dos edifícios de habitação e dos de serviços, que não possuam sistemas de climatização centralizados pré-existentes. Considera como grandes intervenções de remodelação sempre que o custo de intervenção seja superior a 25% do valor do edifício, calculado com base num valor de referência Cref por m² e por tipologia de edifício, definido anualmente em portaria conjunta dos ministros responsáveis pelas áreas da economia, das obras públicas, do ambiente, do ordenamento do território e habitação, publicada no mês de Outubro e válida para o ano civil seguinte;
- ampliações de edifícios existentes, exclusivamente na nova área construída.

Excluem-se, no entanto, os seguintes casos (artigo 2º, nº 9):

- edifícios destinados a serviços e que, se destinem a permanecer frequentemente abertos

ao contacto com o exterior e não sejam aquecidos nem climatizados;

- edifícios com utilização de culto ou industrial com afetação ao processo de produção, assim como garagens, armazéns, oficinas e edifícios agrícolas não residenciais;
- intervenções de remodelação, recuperação e ampliação de edifícios em zonas históricas ou em edifícios classificados, sempre que se verifiquem incompatibilidades com as exigências do RCCTE;
- infraestruturas militares, bem como imóveis afetos ao sistema de informações ou a forças de segurança que se encontrem sujeitos a regras de controlo e confidencialidade.

3.1.2 Parâmetros fundamentais

Para efeitos do RCCTE, o país foi dividido em três zonas climáticas de inverno (I1, I2 e I3) e em três zonas climáticas de verão (V1, V2 e V3) (Figura 3.1). As zonas de verão estão ainda divididas em região Norte e Sul.

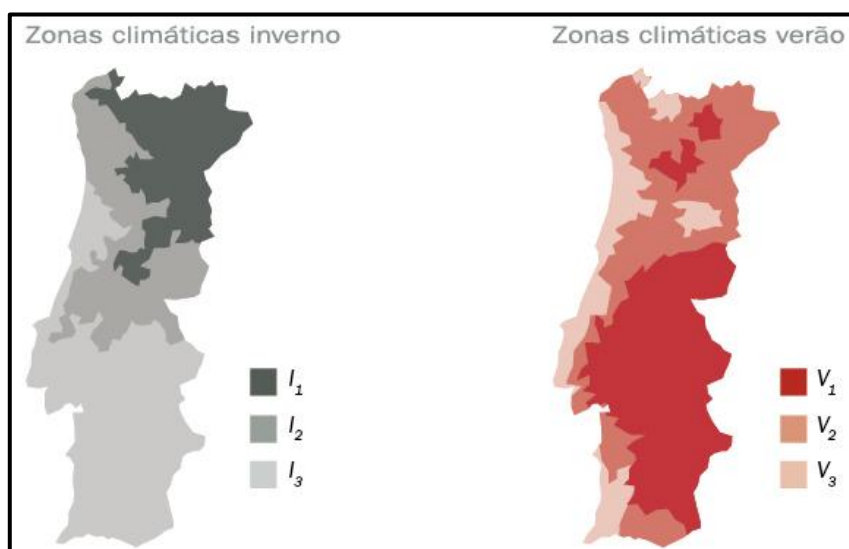


Figura 3.1 - Portugal continental. Zonas climáticas de inverno e de verão [20, Figuras III.1 e III.2 do RCCTE]

O zonamento climático foi discriminado por concelhos e estabeleceram-se diversos dados climáticos de referência tanto para o inverno como para o verão (RCCTE, Anexo III, Quadro III.1). Os dados climáticos consistem, no número de graus-dias de aquecimento na base de 20°C para o inverno, na duração em meses do período de inverno, na temperatura de projeto de verão e na amplitude térmica média diária do mês mais quente de verão. Entre outros, foram também estabelecidos dados relativos à energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul e valores médios da temperatura do ar exterior e da intensidade da radiação solar,

necessários para o cálculo das necessidades nominais de aquecimento e de arrefecimento, respetivamente (RCCTE, Anexo III, Quadros III.8 e III.9) [16].

Em Portugal, tanto a altitude a que se situa um edifício como a sua proximidade à costa litoral, são fatores de influência que têm que ser tidos em conta no ajustamento em relação ao zonamento climático de inverno e de verão (RCCTE, Anexo III, Quadros III.2 a III.7) [2, 16].

3.1.3 Parâmetros de caracterização térmica

Nesta seção é feita a quantificação e caracterização dos parâmetros térmicos, de acordo com o RCCTE.

➤ Coeficiente de transmissão térmica superficial

O coeficiente de transmissão térmica superficial em zona corrente (U) é definido como a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa, e é calculado pela fórmula 3.1, com as unidades em $W/m^2 \cdot ^\circ C$ [2, 16]:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad (3.1)$$

em que:

R_j - resistência térmica da camada j ;

R_{si} , R_{se} - resistências térmicas superficiais interior e exterior, respetivamente.

O anexo VII do RCCTE, apresenta o processo de cálculo deste parâmetro.

De acordo com o RCCTE, quando existe um espaço não útil (não aquecido) a separar um espaço aquecido interior do ambiente exterior, o cálculo das trocas térmicas é dirigido ao elemento construtivo que separa os espaços útil e não útil. Então, para o cálculo do valor de U de elementos que separam um espaço útil interior de um espaço não útil (elementos da envolvente interior) na fórmula 3.1, devem ser adotados valores das resistências superficiais exteriores (R_{se}) iguais aos interiores (R_{si}) (RCCTE, Anexo VII, Quadro VII.1), sendo o mesmo aplicado a coberturas inclinadas sobre desvão não habitado (Figura 3.2), a pavimento sobre desvão, nos quais o desvão seja um espaço não útil ou a paredes que confrontem com locais não aquecidos [2, 16].

A figura 3.2 representa esquematicamente, um desvão de cobertura não habitado, considerado espaço não útil.

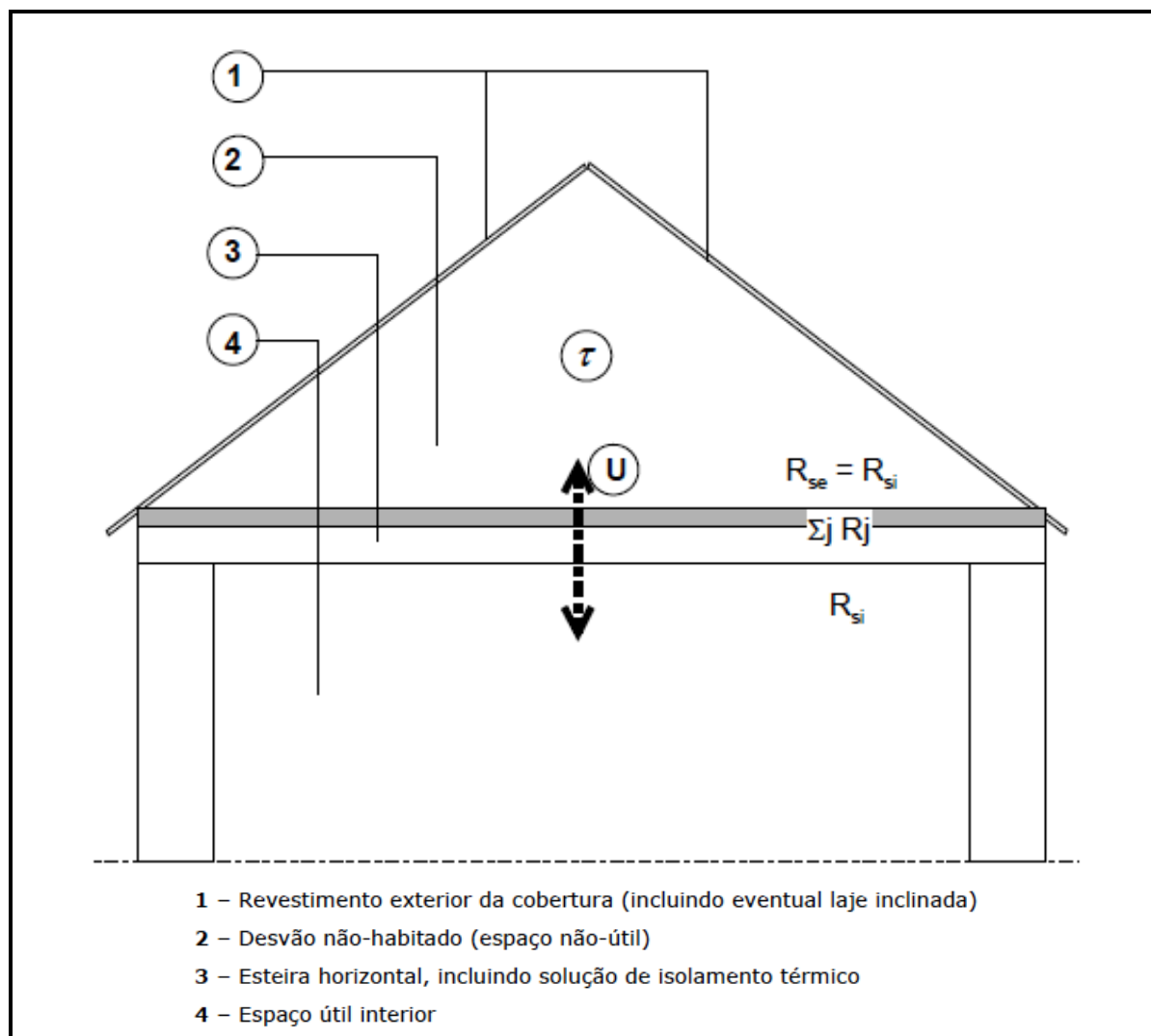


Figura 3.2 – Representação esquemática de um desvão de cobertura, não habitado (espaço não útil) [2]

A temperatura dos espaços não aquecidos, apresenta um valor intermédio entre as temperaturas interior e exterior, pelo que de acordo com o RCCTE, as perdas térmicas através dos elementos da envolvente interior e dos principais espaços não aquecidos, tais como, circulações comuns, espaços comerciais, armazéns, garagens, varandas e marquises fechadas, desvãos não-habitados, são afetadas do correspondente coeficiente τ , cujos valores estão indicados na tabela 3.1 [2, 16].

Tabela 3.1 - Valores do coeficiente τ [16, Tabela IV.1]

Tipo de espaço não útil	$\frac{A_i}{A_u}$ (1)		
	De 0 a 1	De 1 a 10	Maior que 10
1 Circulação comum:			
1.1 Sem abertura direta para o exterior	0,6	0,3	0
1.2 Com abertura permanente para o exterior (ventilação ou defumagem):			
a) Área de aberturas permanentes/volume total $< 0,05\text{m}^2/\text{m}^3$	0,8	0,5	0,1
b) Área de aberturas permanentes/volume total $\geq 0,05\text{m}^2/\text{m}^3$	0,9	0,7	0,3
2 Espaços comerciais	0,8	0,6	0,2
3 Edifícios adjacentes	0,6	0,6	0,6
4 Armazéns	0,95	0,7	0,3
5 Garagens:			
5.1 Privada	0,8	0,5	0,3
5.2 Coletiva	0,9	0,7	0,4
5.3 Pública	0,95	0,8	0,5
6 Varandas, marquises e similares (2)	0,8	0,6	0,2
7 Coberturas sobre desvão não habitado (acessível ou não) (3):			
7.1 Desvão ventilado (pavimento com caixa de ar)	0,8	0,6	0,4
7.2 Desvão fracamente ventilado	0,9	0,7	0,5
7.3 Desvão fortemente ventilado	1	1	1

Notas: (1) A_i é a área do elemento que separa o espaço útil do espaço não útil e A_u é a área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior.
 (2) Corresponde aos espaços em que a envolvente de separação com os espaços aquecidos deve satisfazer obrigatoriamente, os requisitos mínimos de coeficiente de transmissão térmica (U) definidos no anexo IX.
 (3) Os valores de τ indicados neste ponto, aplicam-se aos desvãos não habitados (não úteis) de coberturas inclinadas, acessíveis ou não.

➤ Pontes térmicas

Pontes térmicas são zonas de heterogeneidades ou singularidades inseridas na parede exterior de um edifício, nomeadamente, pilares, vigas, ombreiras e lajes, que constituem perdas térmicas planas. As perdas térmicas que ocorrem nos pontos singulares da envolvente são contabilizadas individualmente através de coeficientes de transmissão térmica lineares, Ψ (W/m.°C) [16].

As principais situações de ponte térmica são, as pontes térmicas lineares devidas ao contacto de pavimentos térreos e de paredes (enterradas) com o terreno (RCCTE, Anexo IV, Tabelas IV.2, IV.2.1 e IV. 2.2) e as pontes térmicas lineares correspondentes às seguintes ligações (Anexo IV, Tabela IV.3 do RCCTE) [2, 16]:

- ligação da fachada com os pavimentos térreos;
- ligação da fachada com pavimentos sobre locais não-aquecidos ou exteriores;
- ligação da fachada com pavimentos intermédios;
- ligação da fachada com cobertura inclinada ou em terraço;

- ligação da fachada com varanda;
- ligação entre duas paredes verticais;
- ligação da fachada com caixa de estore;
- ligação da fachada com padieira, ombreira ou peitoril.

O RCCTE impõe limites para o valor de U nas zonas de pontes térmicas planas (pilares, vigas e caixas de estore), definindo valores máximos admissíveis (RCCTE, Anexo IX, Quadro IX.1). É ainda imposto que, estes elementos da envolvente, não apresentem valores de U superiores ao dobro do dos elementos semelhantes em zona corrente (RCCTE, Anexo IX, 2).

➤ Taxas de renovação de ar

Os edifícios devem possuir características construtivas ou dispositivos apropriados para garantirem a ventilação permanente dos espaços, por razões de higiene e conforto dos seus ocupantes. Para a quantificação do número nominal de renovações de ar (R_{ph}), em edifícios ventilados naturalmente sem recurso a meios mecânicos, com exceção do exaustor da cozinha, é necessário determinar-se a classe de exposição à ação do vento e definir a permeabilidade ao ar, da caixilharia que se pretende utilizar entre outros [16].

A classe de exposição à ação do vento depende da altura do edifício acima do solo, da região em que o edifício se situa (A e B) e da rugosidade da zona envolvente (I, II e III), tal como está definido no anexo IV do RCCTE. As diferentes classes de exposição consideradas no regulamento estão sintetizadas na tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Classes de exposição ao vento das fachadas do edifício ou da fração autónoma [16, Quadro IV.2]

Altura a cima do solo	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
Menor que 10 m	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
De 10 m a 18 m	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
De 18 m a 28 m	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
Superior a 28 m	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 4	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 4

Notas: Região A – Todo o território nacional, exceto os locais pertencentes à região B.

Região B – Regiões autónomas dos Açores e da Madeira e as localidades situadas numa faixa de 5km de largura junto à costa e ou de altitude superior a 600m.

Rugosidade I – edifícios situados no interior de uma zona urbana.

Rugosidade II – edifícios situados na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural.

Rugosidade III - edifícios situados em zonas muito expostas (sem obstáculos que atenuem o vento).

Uma vez conhecida a classe de exposição do edifício e a permeabilidade ao ar da caixilharia a instalar, a taxa de renovação de ar horária nominal a adotar é obtida por consulta da tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Valores convencionais de R_{ph} para edifícios de habitação [16, Quadro IV.1]

Classe de exposição	Dispositivos de admissão na fachada	Permeabilidade ao ar das caixilharias (de acordo com a norma EN 12207)								Edifícios conformes com a NP 1037-1
		Sem classificação - Caixa de estore		Classe 1 - Caixa de estore		Classe 2 - Caixa de estore		Classe 3 - Caixa de estore		
		Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	
1	Sim	0,90	0,80	0,85	0,75	0,80	0,70	0,75	0,65	0,60
	Não	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	
2	Sim	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	0,80	0,70	
	Não	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	
3	Sim	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	
	Não	1,10	1,00	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	
4	Sim	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	
	Não	1,15	1,05	1,10	1,00	1,05	0,95	1,00	0,90	

Notas: 1 – Quando os dispositivos instalados para admissão de ar nas fachadas não garantirem que, para diferenças de pressão entre 20Pa e 200Pa, o caudal não varie mais de 1,5 vezes, os valores do quadro IV.1 devem ser agravados de 0,10.

2 – Quando a área de envidraçados for superior a 15% da área útil de pavimento, os valores do quadro IV.1 devem ser agravados de 0,10.

3 – Se todas as portas do edifício ou fração autónoma forem bem vedadas por aplicação de borrachas ou equivalente em todo o seu perímetro, os valores indicados no quadro IV.1 para edifícios não conformes com a NP 1037-1 podem ser diminuídos de 0,05.

➤ Inércia térmica

A inércia térmica (I_t) interior de um edifício, representa a aptidão que este tem de contrariar as variações de temperatura no seu interior, devido à capacidade de armazenamento de calor que os locais ou espaços apresentam, através dos seus elementos construtivos. A massa superficial de cada um dos elementos construtivos constituintes, determina a inércia térmica de um edifício, pois esta influi sobre o comportamento do edifício no inverno, ao determinar a capacidade de utilização dos ganhos solares e no verão ao influenciar a capacidade do edifício de absorver os picos de temperatura.

O RCCTE define três classes de inércia térmica, sendo estas forte, média e fraca, em que cada classe é definida pelo valor resultante do cálculo da massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento, calculado pela fórmula 3.2 [16]:

$$I_t = \sum M_{si} \cdot S_i / A_p \quad (3.2)$$

em que:

M_{si} - massa superficial útil do elemento i ;

S_i - área da superfície interna do elemento i ;

A_p - área útil de pavimento.

➤ Fatores solares

Para o cálculo das necessidades nominais de energia útil de aquecimento e de arrefecimento devem ser contabilizados os ganhos solares através dos vãos envidraçados que ocorrem, respetivamente, durante as estações de aquecimento (inverno) e de arrefecimento (verão) [2].

Os ganhos solares brutos no inverno e no verão através dos vãos envidraçados, são dados respetivamente, pelas fórmulas 3.3 e 3.4, com as unidades em kwh:

$$Q_s = G_{sul} \cdot \sum_j [X_j \sum_n (A \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f \cdot F_g \cdot F_w \cdot g_{\perp})] \cdot M \quad (3.3)$$

$$Q_s = \sum_j [I_{rj} \sum_n (A \cdot F_o \cdot F_f \cdot F_g \cdot F_w \cdot g_{\perp})] \quad (3.4)$$

em que:

G_{sul} - valor médio mensal da energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul de área unitária durante o inverno;

X_j - fator de orientação para as diferentes exposições;

A - área total do vão envidraçado, ou seja, área da janela incluindo vidro e caixilho;

n - índice que corresponde a cada uma das superfícies com a orientação j ;

M - duração da estação de aquecimento, em meses;

F_h - fator de sombreamento do horizonte, devido a obstruções longínquas exteriores ao edifício ou por outros elementos do próprio edifício;

F_o - fator de sombreamento por elementos horizontais sobrepostos ao vão envidraçado, devido a palas ou varandas;

F_f - fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao vão envidraçado, devido a palas verticais, outros corpos ou partes do mesmo edifício;

F_g - fração envidraçada, que traduz a redução da transmissão da energia solar associada à existência da caixilharia, sendo dada pela relação entre a área envidraçada (vidro) e a área total do vão envidraçado;

F_w - fator de correção devido à variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar;

g_{\perp} - factor solar do vão envidraçado que representa a relação entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado em relação à radiação solar incidente na direção normal ao envidraçado;

I_{rj} - intensidade média de radiação total incidente em cada orientação (j) durante toda a estação de arrefecimento.

Os fatores de sombreamento F_h , F_o e F_f assumem valores distintos para o inverno e para o verão, devido aos diferentes ângulos de incidência da radiação solar. Sendo que para a estação de verão não é considerado o fator F_h .

Na estação de inverno, os fatores F_h , F_o e F_f são obtidos pelas tabelas IV.5, IV.6 e IV.7 do anexo IV do RCCTE, enquanto que na estação de verão, os fatores F_o , F_f e F_w são obtidos pelas tabelas V.1, V.2 e V.3 do anexo V do RCCTE.

Na situação de inverno, o valor a adotar para o fator F_w , é de 0,9 para vidros correntes simples e duplos. Para a situação de verão, os valores típicos para este fator, encontram-se na tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Valores do fator de correção da seletividade angular dos envidraçados (F_w) – Situação de verão [16, Tabela V.3]

Tipo de vidro	N.	NE./NW.	E./W.	SE./SW.	S.	Horizontal
Vidro simples	0,85	0,90	0,90	0,90	0,80	0,90
Vidro duplo	0,80	0,85	0,85	0,85	0,75	

O produto dos fatores F_h , F_o e F_f denominado por fator de obstrução (F_s), representa a redução na radiação solar que incide no vão envidraçado, devido ao sombreamento permanente causado por obstáculos exteriores ao edifício e/ou por elementos do mesmo, variando entre os valores de 0 e 1. Na ausência de palas, deverá considerar-se o efeito de sombreamento do vão, considerando o valor 0,9 para o produto dos fatores F_o e F_f . No caso, de ausência de informação o fator F_h deve ser calculado por defeito adotando um ângulo de 45° na zona urbana e de 20° fora da mesma, para edifícios isolados. Em caso algum, o produto dos fatores X_j , F_h , F_o e F_f deve ser menor que 0,27.

O RCCTE considera para o fator solar (g_{\perp}) do vão envidraçado no inverno, que os dispositivos móveis de proteção solar interiores ou exteriores, estão abertos para permitir os ganhos solares. No entanto, o mesmo regulamento também define que, sempre que seja previsível a utilização de dispositivos que normalmente permanecem fechados durante a estação de aquecimento, estes devem ser considerados no cálculo do fator solar do vão envidraçado. Pelo que neste caso, no setor residencial, deve ser considerada a existência de cortinas interiores muito transparentes de cor clara. Os valores a adotar para o fator solar na estação de inverno, estão definidos no nº 4.3.2 do anexo IV e são de 0,70 para vidro simples e 0,63 para vidro duplo, tendo em conta que para outros tipos de vidro é necessário consultar a tabela IV.4 do anexo IV. No caso do verão, o valor a considerar resulta da soma de 30% do fator solar do vidro com 70% do fator solar do vão envidraçado com a respetiva proteção solar [16].

3.1.4 Requisitos mínimos regulamentares

Nesta seção faz-se referência aos requisitos mínimos regulamentares, de acordo com o RCCTE.

➤ Envoltente opaca

O RCCTE estabelece valores máximos admissíveis para os coeficientes de transmissão térmica superficial de elementos opacos, consoante a zona climática de inverno e o tipo de elemento da envoltente em zona corrente, tais como, paredes e coberturas (RCCTE, Quadro IX.1, Anexo IX). Os elementos opacos são distinguidos por envoltente exterior e envoltente interior, sendo que a primeira é definida pelo conjunto dos elementos do edifício ou da fração autónoma que

estabelecem a fronteira entre o espaço útil interior e o ambiente exterior, enquanto a segunda é definida pela fronteira que separa a fração autónoma dos espaços anexos não úteis (não climatizados), como garagens, marquises, armazéns, sótãos, caves não habitadas e ainda frações autónomas adjacentes em edifícios vizinhos [16].

Nas zonas não correntes da envolvente (pilares, vigas e caixas de estore), os valores de U não deverão ser superiores ao dobro do dos elementos semelhantes (horizontais ou verticais) em zona corrente (RCCTE, Anexo IX, 2), sem ultrapassar os valores indicados no quadro IX.1 do RCCTE.

➤ Vãos envidraçados

O fator solar de um vão envidraçado é definido pelo quociente entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado e a energia que nele incide.

O RCCTE impõe valores máximos admissíveis para o fator solar de vãos envidraçados com mais de 5% da área útil do espaço que servem, desde que não estejam orientados a norte (entre noroeste e nordeste) [14]. Os valores limites impostos ao vão envidraçado com os dispositivos de proteção 100% ativos, são expressos em função da zona climática de verão e da inércia térmica do edifício, estando presentes na tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados com mais de 5% da área útil do espaço que servem [16, Quadro IX.2]

Classe de inércia térmica, fator solar:	Zona climática		
	V ₁	V ₂	V ₃
Fraca	0,15	0,15	0,10
Média	0,56	0,56	0,50
Forte	0,56	0,56	0,50

3.1.5 Requisitos energéticos

Para cada edifício deve-se proceder ao cálculo das necessidades energéticas de aquecimento (N_{ic}), de arrefecimento (N_{vc}) e de águas quentes sanitárias (N_{ac}). A soma ponderada das necessidades acima mencionadas, exprime a quantidade de energia primária (N_{tc}) correspondente, sendo este valor definido pelas necessidades nominais globais de energia primária.

Os valores obtidos para as necessidades energéticas referidas devem ser, inferiores aos valores limites de referência impostos pelo RCCTE, para as necessidades nominais de energia útil de

aquecimento (Ni), arrefecimento (Nv), preparação de águas quentes sanitárias (Na) e energia primária (Nt). A tabela 3.6 sintetiza a exigência regulamentar, assim como a figura 3.3 [16].

Tabela 3.6 – Verificação regulamentar imposta [16]

Tipo de necessidades	Limites de referência
Nic (aquecimento)	< Ni
Nvc (arrefecimento)	< Nv
Nac (AQS)	< Na
Ntc (energia primária)	< Nt

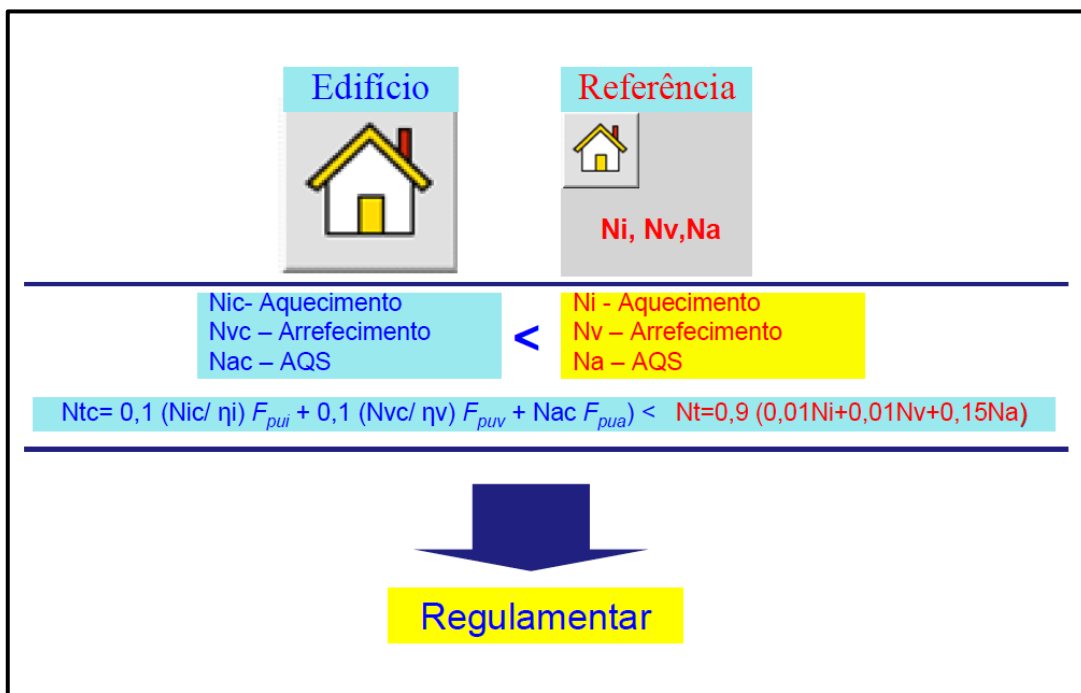


Figura 3.3 – Esquema da verificação regulamentar do RCCTE [2]

➤ **Limitação das necessidades nominais de energia útil para aquecimento**

As necessidades nominais de energia útil para aquecimento (Nic), são definidas pela quantidade de energia útil necessária para manter em permanência um edifício a uma temperatura interior de 20°C, durante a estação de aquecimento, resultando da fórmula 3.5, com as unidades em kWh/m².ano:

$$Nic = (Q_t + Q_v + Q_{gu})/A_p \tag{3.5}$$

em que:

Q_t – perdas de calor por condução através da envolvente dos edifícios;

Q_v – perdas de calor resultantes da renovação de ar;

Q_{gu} – ganhos de calor úteis, resultantes da iluminação, dos equipamentos, dos ocupantes e dos ganhos solares através dos envidraçados;

A_p – área útil de pavimento.

Os valores limites das necessidades nominais de energia (Ni), dependem do fator de forma (FF) da fração e dos graus-dias (GD) do clima local, conforme prescrito no artigo 15° do RCCTE. A tabela 3.7 sintetiza os valores de Ni.

Tabela 3.7 – Valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento [16]

Limites referentes ao fator de forma (FF)	Valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento (Ni)
$FF \leq 0,5$	$Ni=4,5+0,0395.GD$
$0,5 < FF \leq 1$	$Ni=4,5+(0,021+0,037.FF).GD$
$1 < FF \leq 1,5$	$Ni=[4,5+(0,021+0,037.FF).GD] (1,2-0,2.FF)$
$FF > 1,5$	$Ni=4,05+0,068.85.GD$

O valor de FF, é definido pelo quociente entre o somatório das superfícies da envolvente exterior e interior do edifício, afetado do respetivo tau e o volume útil interior.

➤ Limitação das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento

As necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (Nvc), são definidas pela quantidade de energia útil necessária para manter em permanência um edifício a uma temperatura interior de 25°C, durante a estação de arrefecimento em que se consideram 4 meses (junho a setembro), resultando da fórmula 3.6, com as unidades em kWh/m².ano:

$$Nvc = (Q_g \cdot (1 - \eta)) / A_p \quad (3.6)$$

em que:

Q_g – ganhos totais brutos do edifício resultantes da soma das:

- cargas individuais devidas a cada componente da envolvente, devidas aos fenómenos combinados da diferença de temperatura interior-exterior e da incidência da radiação solar;
- cargas devidas à entrada da radiação solar pelos envidraçados;
- cargas devidas à renovação do ar;
- cargas internas devidas aos ocupantes, equipamentos e iluminação artificial.

η – fator de utilização dos ganhos;

A_p – área útil de pavimento.

Os valores limites das necessidades nominais de energia útil (Nv), dependem das diferentes zonas climáticas de verão do local e encontram-se tabelados pelo RCCTE no artigo 15°. A tabela 3.8 apresenta os valores de Nv.

Tabela 3.8 – Valores limites das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento [16]

Zona climática	Valores limites das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (Nv)
Zona V1 (norte)	Nv=16kwh/m ² .ano
Zona V1 (sul)	Nv=22kwh/m ² .ano
Zona V2 (norte)	Nv=18kwh/m ² .ano
Zona V2 (sul)	Nv=32kwh/m ² .ano
Zona V3 (norte)	Nv=26kwh/m ² .ano
Zona V3 (sul)	Nv=32kwh/m ² .ano

➤ **Limitação das necessidades nominais de energia útil para produção de AQS**

O RCCTE obriga ao uso de coletores solares térmicos para aquecimento de águas sanitárias, tendo por base 1m² de coletor por ocupante. Sendo o número de ocupantes definido em função da tipologia da fração autónoma de acordo com a tabela 3.9.

Tabela 3.9 - Número convencional de ocupantes em função da tipologia da fração autónoma [16, Quadro VI.1]

Tipologia	T0	T1	T2	T3	...	Tn
Número de ocupantes	2	2	3	4	...	n + 1

As necessidades nominais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias (Nac), são definidas pela quantidade de energia útil necessária para aquecer o consumo médio anual de referência de águas quentes sanitárias (AQS) a uma temperatura de 60°C e resultam da fórmula 3.7, com as unidades em kWh/m².ano:

$$Nac = ((Q_a - E_{solar} - E_{ren})/\eta_a)/A_p \quad (3.7)$$

em que:

Q_a – energia útil despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS;

E_{solar} – contribuição de sistemas de coletores solares para aquecimento de AQS;

E_{ren} – contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis para preparação de AQS;

η_a – eficiência de conversão do sistema de preparação de AQS;

A_p – área útil de pavimento.

Na fórmula 3.7 os valores de η_a podem assumir os valores indicados no n° 3 do anexo VI do RCCTE, tendo ainda em conta que estes valores devem ser diminuídos de 0,10 se a rede de distribuição água quente não for isolada com pelo menos 10mm de isolamento térmico. O valor de Q_a é obtido pela fórmula 3.8, com as unidades em kWh/ano:

$$Q_a = (M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot \eta_d) / 3600000 \quad (3.8)$$

em que:

M_{AQS} - consumo médio diário de referência de AQS;

ΔT - diferencial de temperatura (ΔT = 60-15 = 45°C), que representa o aumento de temperatura necessária para preparar as AQS;

η_d - número anual de dias de consumo de AQS.

Na fórmula 3.8 tanto os valores assumidos para η_d como para M_{AQS} , variam em função do tipo de edifício e da sua utilização, estando os primeiros indicados na tabela 3.10. O valor de M_{AQS} para o setor residencial, obtém-se pela quantidade média de água quente diária necessária a uma pessoa, estimada em 40l, e o número de ocupantes em função da tipologia da fração, conforme a tabela 3.9.

Tabela 3.10 – Número anual de dias de consumo de AQS [16, Quadro VI.2]

Tipo de edifícios	Utilização	Número de dias de consumo de AQS
Edifícios residenciais	Permanente	365
Edifícios de serviços	Permanente	365
	Encerrado um dia por semana	313
	Encerrado um dia e meio por semana	287
	Encerrado dois dias por semana	261

O limite das necessidades de energia para preparação de águas quentes (N_a), é estabelecido em função do consumo médio diário de referência de águas quentes sanitárias, do número anual de dias de consumo de AQS e da área útil de pavimento, com base na expressão 3.9:

$$N_a = 0,081 \cdot M_{AQS} \cdot \eta_d / A_p \quad (3.9)$$

em que:

M_{AQS} - consumo médio diário de referência de AQS;

η_d - número anual de dias de consumo de AQS;

A_p – área útil de pavimento.

➤ Necessidades globais de energia primária

As necessidades nominais anuais globais de energia primária (N_{tc}), exprimem a quantidade de energia primária correspondente à soma ponderada das necessidades nominais de aquecimento (N_{ic}), de arrefecimento (N_{vc}) e de preparação de águas quentes sanitárias (N_{ac}), tendo em consideração os sistemas adotados ou, na ausência da sua definição, sistemas convencionais de referência, e os padrões correntes de utilização desses sistemas. N_{tc} é definido pela expressão 3.11, com as unidades em $\text{kgep/m}^2 \cdot \text{ano}$ [16]:

$$N_{tc} = 0,1 (N_{ic}/\eta_i) F_{pui} + 0,1 (N_{vc}/\eta_v) F_{puv} + N_{ac} F_{pua} \quad (3.11)$$

em que:

N_{ic} – necessidades nominais de aquecimento;

N_{vc} - necessidades nominais de arrefecimento;

N_{ac} – necessidades de energia para a preparação das águas quentes sanitárias;

η_i – eficiência nominal dos equipamentos utilizados para o sistema de aquecimento;

η_v – eficiência nominal dos equipamentos utilizados para o sistema de arrefecimento;

F_{pui} , F_{puv} e F_{pua} – fatores de conversão de energia útil para energia primária.

Os fatores de conversão (F_{pu}) de energia útil para energia primária adotados pelo regulamento, encontram-se especificados na tabela 3.11 e os valores de referência para a eficiência nominal dos equipamentos utilizados (η_i e η_v), estão indicados na tabela 3.12.

Tabela 3.11 – Fatores de conversão de energia útil para energia primária [16]

Tipo de energia	Fatores de conversão F_{pu} (kgep/kWh)
Eletricidade	0,290
Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos	0,086

Tabela 3.12 – Valores de referência para a eficiência nominal dos equipamentos utilizados [16]

Tipos de equipamentos	Valores de referência da eficiência nominal (η_i e η_v)
Resistência elétrica	1,00
Caldeira a combustível gasoso	0,87
Caldeira a combustível líquido	0,80
Caldeira a combustível sólido	0,60
Bomba de calor (aquecimento)	4,00
Bomba de calor (arrefecimento)	3,00
Máquina frigorífica (ciclo de compressão)	3,00
Máquina frigorífica (ciclo de absorção)	0,80

Quando não estiver previsto um sistema específico de aquecimento, arrefecimento ambiente ou de aquecimento de água quente sanitária, considera-se, para efeitos do cálculo do N_{tc} que o sistema de aquecimento é uma resistência elétrica, o sistema de arrefecimento é uma máquina frigorífica com eficiência (COP) de 3 e que a produção de AQS é feita através de um termoacumulador elétrico com 50mm de isolamento térmico em edifícios sem alimentação a gás, ou por um esquentador a gás natural ou GPL quando estiver previsto o respetivo abastecimento.

O valor limite N_t determina-se pela fórmula 3.12, com as unidades em $kgep/m^2 \cdot ano$:

$$N_t = 0,9(0,01 N_i + 0,01 N_v + 0,15 N_a) \quad (3.12)$$

em que:

N_i – necessidades nominais de aquecimento máximas;

N_v – necessidades nominais de arrefecimento máximas;

N_a – valor máximo para as necessidades de energia, para preparação de AQS.

3.2 ITE 50

O ITE 50 é uma publicação da responsabilidade do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), atualizada em 2006.

3.2.1 Âmbito de aplicação

O ITE 50, destina-se a apoiar estudos no setor do desempenho térmico dos edifícios e a aplicação do RCCTE. São apresentados os valores convencionais de cálculo de condutibilidades térmicas de materiais, resistências térmicas superficiais de espaços de ar não ventilados e de elementos opacos de construção, bem como coeficientes de transmissão térmica de soluções correntes de envolventes opacas e envidraçada dos edifícios [9].

3.2.2 Parâmetros

Os diversos valores dos parâmetros são considerados com base em soluções construtivas caracterizadas, sendo sintetizados sob a forma de tabelas, em três anexos [9]:

- no anexo I, apresentam-se valores de cálculo de condutibilidades térmicas (λ) de isolantes térmicos, de vários materiais e produtos de construção, resistências térmicas (R) superficiais de espaços de ar não ventilados e resistências térmicas de paredes de alvenaria e de pavimentos aligeirados;
- no anexo II, apresentam-se valores de cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U) de elementos opacos da envolvente, tais como, paredes de fachada simples e duplas, pavimentos sobre espaços exteriores e coberturas horizontais e inclinadas;
- no anexo III, apresentam-se valores de cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U) de vãos envidraçados, sendo estes, representativos das soluções correntes em Portugal.

➤ Condutibilidade térmica

A condutibilidade térmica (λ), consiste na propriedade térmica típica de um material ou produto, e representa a quantidade de calor que atravessa uma espessura unitária de um material, quando entre duas faces planas e paralelas se estabelece uma diferença unitária de temperatura. Sendo expressa em $W/(m \cdot ^\circ C)$ [9, 16].

➤ Resistências térmicas

De acordo com o anexo II do RCCTE, a resistência térmica (R) de um elemento de construção consiste no inverso da quantidade de calor por unidade de tempo e por unidade de área que atravessa o elemento construtivo, por unidade de diferença de temperatura entre as suas duas faces, ou seja, corresponde à dificuldade de transmissão de calor e é determinada pelo quociente entre a espessura do material e a sua condutibilidade térmica, com base na fórmula 3.13, com as unidades em $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$:

$$R = \frac{E}{\lambda} \quad (3.13)$$

em que:

E – espessura do material;

λ – condutibilidade térmica.

Logo, a resistência térmica total, consiste no inverso do coeficiente de transmissão térmica.

As resistências térmicas são classificadas em resistências térmicas superficiais, interior e exterior (R_{si} e R_{se}), de espaço de ar ventilados e não ventilados, de elementos de construção opacos da envolvente dos edifícios e de vãos envidraçados.

No caso especial das resistências térmicas superficiais, evidenciam-se casos particulares relevantes em que são adotados valores específicos, sendo estes [9]:

- elementos da envolvente que separam um espaço útil interior do ambiente exterior;
- elementos da envolvente, tais como, paredes, vãos envidraçados ou pavimentos, que separam um espaço útil interior de um local interior não aquecido, nomeadamente garagens, armazéns, zonas comuns de circulação, varandas, marquises fechadas, etc; neste caso adota-se $R_{se} = R_{si}$;
- pavimentos sobre espaço de ar ventilado; neste caso também se assume $R_{se} = R_{si}$, tendo em linha de conta o sentido do fluxo de calor, pois este pode ser ascendente ou descendente de acordo com a estação convencional de aquecimento e de arrefecimento, respetivamente;
- elementos de construção, verticais ou horizontais, que incluam um espaço de ar fortemente ventilado com ar exterior, e esteiras inclinadas ou sob desvão ventilado não habitado, de coberturas inclinadas (Figura 3.2); neste caso adota-se $R_{se} = R_{si}$.

➤ **Coeficiente de transmissão térmica**

O coeficiente de transmissão térmica (**U**) de um elemento da envolvente, é expresso nas unidades $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ e foi apresentado no sub-capítulo 3.1.3.

A caracterização das paredes simples e duplas de fachada, abrange diversas soluções definidas em função da [8]:

- solução construtiva da parede, em termos do tipo de material aplicado;
- solução de isolamento térmico, em termos do modo de aplicação e do tipo de material aplicado.

Como exemplo de coeficientes de transmissão térmica de uma solução de parede simples de fachada, apresenta-se a tabela 3.13.

Tabela 3.13 – Coeficiente de transmissão térmica de paredes simples de fachada, com isolamento pelo exterior [9, Quadro II.2]

Isolante térmico			Pano de alvenaria				Parede de betão
			tijolo furado	blocos de betão normal	blocos de betão leve	pedra	
Produto (massa vol.) [kg/m ³]	λ [W/(m.°C)]	esp. [mm]	Espessura da alvenaria [m]				
			0,20 a 0,24	0,20 a 0,30	0,20 a 0,30	0,40 a 0,60	0,10 a 0,20
EPS (15-20)	0,040	30	0,67	0,78	0,67	0,90	0,98
		40	0,58	0,65	0,58	0,74	0,79
		60	0,45	0,49	0,45	0,54	0,56
		80	0,37	0,40	0,37	0,42	0,44
MW (100-180)	0,042	30	0,69	0,80	0,69	0,93	1,0
		40	0,59	0,68	0,59	0,76	0,82
		60	0,46	0,51	0,46	0,56	0,59
		80	0,38	0,41	0,38	0,44	0,46

Os pavimentos, são caracterizados de acordo com a sua localização na envolvente dos edifícios, pelo que estes podem estar localizados sobre [9]:

- espaços exteriores;
- locais interiores não aquecidos ou não úteis, nomeadamente, garagens, arrecadações, armazéns, zonas comuns de circulação, varandas, marquises fechadas, etc;
- outros espaços não aquecidos ou ventilados, designadamente, caixas de ar, pisos técnicos e lojas sem climatização com abertura para o exterior.

Deste modo, definem-se várias soluções de pavimentos, em função do tipo de estrutura resistente e da solução de isolamento térmico.

A tabela 3.14 surge como exemplo de coeficientes de transmissão térmica de pavimentos sobre espaços exteriores.

Tabela 3.14 – Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos sobre espaços exteriores, com isolamento térmico pelo exterior [9, Quadro II.8]

Isolante térmico			Estrutura resistente						
			Laje maciça	Laje aligeirada					
Produto (massa vol.) [kg/m ³]	λ [W/(m.°C)]	esp. [mm]		blocos cerâmicos		blocos de betão normal		blocos de betão leve	
			Espessura da laje [m]						
			0,10 0,20	0,13 0,15	0,33 0,35	0,13 0,15	0,33 0,35	0,13 0,15	0,33 0,35
XPS (25-40)	0,037	30	0,85	0,81	0,68	0,82	0,73	0,80	0,70
		40	0,70	0,67	0,58	0,68	0,62	0,67	0,60
		60	0,52	0,51	0,46	0,51	0,47	0,50	0,46
		80	0,42	0,41	0,38	0,41	0,39	0,41	0,38
		100	0,35	0,34	0,32	0,35	0,33	0,34	0,33
EPS (15-20) MW (35-100) PIR/PUR (20-50)	0,040	30	0,90	0,85	0,71	0,86	0,76	0,84	0,73
		40	0,74	0,71	0,61	0,72	0,64	0,70	0,62
		60	0,56	0,54	0,48	0,54	0,50	0,53	0,49
		80	0,45	0,43	0,40	0,44	0,41	0,43	0,40
		100	0,37	0,37	0,34	0,37	0,35	0,36	0,34
EPS (13-15)	0,042	30	0,93	0,87	0,72	0,88	0,78	0,86	0,74
		40	0,77	0,73	0,63	0,74	0,66	0,72	0,64
		60	0,58	0,55	0,49	0,56	0,52	0,55	0,50
		80	0,46	0,45	0,41	0,45	0,43	0,45	0,42
		100	0,39	0,38	0,35	0,38	0,36	0,38	0,36
EPS (11-13) ICB (90-140) MW (20-35)	0,045	30	0,97	0,90	0,75	0,92	0,80	0,90	0,77
		40	0,80	0,76	0,65	0,77	0,69	0,76	0,66
		60	0,61	0,58	0,52	0,59	0,54	0,58	0,53
		80	0,49	0,47	0,43	0,48	0,45	0,47	0,44
		100	0,41	0,40	0,37	0,40	0,38	0,40	0,37

As coberturas são definidas por horizontais em terraço, podendo ser acessíveis ou não e inclinadas com ou sem desvão. Relativamente às coberturas horizontais, estas podem ser representadas através de várias soluções, tendo em linha de conta o tipo de estrutura resistente, as soluções de isolamento térmico e de proteção exterior. As coberturas inclinadas, podem ser representadas por duas soluções considerando apenas a localização do isolamento térmico, que pode estar nas vertentes ou sobre a esteira horizontal [9].

A título de exemplo, apresenta-se a tabela 3.15, que sintetiza valores referentes a coeficientes de transmissão térmica de uma solução de cobertura.

Tabela 3.15 – Coeficiente de transmissão térmica de coberturas inclinadas, com isolamento térmico sobre a esteira horizontal [9, Quadro II.19]

Isolante térmico			Esteira horizontal						
			Laje maciça	Laje aligeirada					
Produto (massa vol.) [kg/m ³]	λ [W/(m.°C)]	esp. [mm]		blocos cerâmicos		blocos de betão normal		blocos de betão leve	
			Espessura da laje [m]						
			0,10	0,13	0,33	0,13	0,33	0,13	0,33
			0,20	0,15	0,35	0,15	0,35	0,15	0,35
XPS (25-40)	0,037	30	0,91	0,86	0,72	0,87	0,78	0,85	0,74
		40	0,73	0,70	0,60	0,70	0,64	0,69	0,62
		60	0,52	0,51	0,45	0,51	0,48	0,50	0,46
		80	0,41	0,40	0,37	0,40	0,38	0,40	0,37
		100	0,33	0,33	0,30	0,33	0,31	0,33	0,31
EPS (15-20) MW (35-100) PIR/PUR (20-50)	0,040	30	0,96	0,90	0,75	0,92	0,81	0,89	0,78
		40	0,77	0,74	0,63	0,75	0,68	0,73	0,65
		60	0,56	0,54	0,48	0,54	0,51	0,54	0,49
		80	0,44	0,42	0,39	0,43	0,40	0,42	0,39
		100	0,36	0,35	0,32	0,35	0,34	0,35	0,33
EPS (13-15) PIR/PUR Proj. (20-50)	0,042	30	0,99	0,93	0,77	0,95	0,84	0,92	0,80
		40	0,80	0,76	0,65	0,78	0,70	0,76	0,67
		60	0,58	0,56	0,50	0,57	0,52	0,56	0,51
		80	0,46	0,44	0,40	0,45	0,42	0,44	0,41
		100	0,37	0,37	0,34	0,37	0,35	0,36	0,34
EPS (11-13) ICB (90-140) MW (20-35)	0,045	30	1,0	0,98	0,80	1,0	0,87	0,97	0,83
		40	0,85	0,80	0,68	0,82	0,73	0,80	0,70
		60	0,62	0,59	0,52	0,60	0,55	0,59	0,53
		80	0,48	0,47	0,42	0,47	0,44	0,47	0,43
		100	0,40	0,39	0,36	0,39	0,37	0,39	0,36

Os vãos envidraçados verticais podem apresentar diferentes soluções, em função dos seguintes elementos [9]:

- tipo de vão envidraçado (uma ou duas janelas);
- número de vidros (simples ou duplo);
- material da caixilharia (madeira, metal ou plástico);
- tipo de caixilharia (com ou sem corte térmico).

Como exemplo de coeficientes de transmissão térmica de vãos envidraçados, afigura-se a tabela 3.16.

Tabela 3.16 – Coeficientes de transmissão térmica de vãos envidraçados em caixilharia metálica, com corte térmico [9, Quadro III.2]

Tipo de vão envidraçado	Número de vidros	Tipo de janela	Esp. da lâmina de ar [mm]	$U_w^{(1)}$ [W/(m ² . °C)]	$U_{wdn}^{(2)}$ [W/(m ² . °C)]		
					Dispositivo de oclusão noturna		
					Cortina interior opaca	Outros dispositivos	
Com permeabilidade ao ar elevada	Com permeabilidade ao ar baixa						
Simples (1 janela)	1 (vidro simples)	fixa, giratória ou de correr	—	5,4	4,5	4,1	3,6
	2 (vidro duplo)		6	3,7			
			16	3,3	2,9	2,8	2,5
			16 low ϵ ⁽³⁾	3,0	2,7	2,6	2,3

Notas: 1 – U_w , coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, aplicável a locais sem ocupação noturna.

2 – U_{wdn} , coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado, aplicável a locais com ocupação noturna. Se o vão envidraçado não dispõe de dispositivos de oclusão noturna, $U_{wdn} = U_w$.

3 – Para os vidros com baixa emissividade (low ϵ) considera-se $\epsilon = 0.40$.

4 EXIGÊNCIAS ACÚSTICAS

O objetivo deste capítulo é o de sintetizar as principais exigências acústicas, em termos de regulamentação.

Na seção 4.1 refere-se o Regulamento Geral do Ruído, em termos de âmbito de aplicação, exigências regulamentares, definições, classificação de zonas, atividades ruidosas permanentes e temporárias, planeamento territorial e exigências aplicáveis a processos de licenciamento.

A seção 4.2 sintetiza o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, em termos de tipificação dos edifícios, análise de parâmetros utilizados e requisitos acústicos dos edifícios.

4.1 Regulamento Geral do Ruído (RGR)

O Regulamento Geral do Ruído (RGR) atualmente em vigor, foi aprovado pelo Decreto-lei n.º 9/2007 de 17 de janeiro [17].

Com a entrada deste regulamento, foi revogado o anterior Regime Legal Sobre Poluição Sonora (RLSPS), aprovado pelo Decreto-lei n.º 292/2000, de 14 de novembro.

Este novo regulamento, à semelhança do anterior RLSPS, define de uma forma global uma política de prevenção e combate ao ruído, tendo em vista a salvaguarda da saúde e o bem-estar das populações. Em relação ao RLSPS, este novo regulamento introduz alguns ajustamentos e/ou adaptações, decorrentes, em grande parte, da transposição da diretiva comunitária n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente.

O RGR remete para disposições legais e regulamentos específicos aplicáveis designadamente no que diz respeito a [6]:

➤ Edifícios

Regulamento de Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho, onde se estabelecem os requisitos acústicos dos edifícios, com vista à melhoria das condições de qualidade acústica dos edifícios.

➤ Locais de Trabalho

Decreto-Lei n.º 182/2006, de 6 de setembro, relativo à exposição ao ruído em locais de trabalho (ruído ocupacional), que visam a proteção dos trabalhadores contra os riscos da exposição ao ruído durante o trabalho.

Decreto-Lei n.º 46/2006, de 24 de fevereiro, relativo à exposição a vibrações em locais de trabalho.

➤ **Avaliação e Gestão do ruído ambiente**

Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de julho, relativo à avaliação e gestão do ruído ambiente, visa essencialmente a elaboração de mapas de ruído que determinem a exposição ao ruído ambiente exterior, com base em métodos de avaliação harmonizados ao nível da União Europeia.

➤ **Produção / Instalação de equipamentos**

Regulamento das Emissões Sonoras de Equipamento para Utilização no Exterior (RESEUE), relativo ao controlo sonoro dos equipamentos para utilização no exterior (fora dos edifícios), aprovado pelo Decreto-lei n.º 76/2002 de 26 de março e alterado pelo Decreto-lei n.º 221/2006 de 8 de novembro.

4.1.1 Âmbito de aplicação

O Regulamento Geral do Ruído aplica-se a atividades ruidosas permanentes e temporárias e a outras fontes de ruído suscetíveis de causar incomodidade, designadamente:

- construção, reconstrução, ampliação, alteração ou conservação de edificações;
- obras de construção civil;
- laboração de estabelecimentos industriais, comerciais e de serviços;
- equipamentos para utilização no exterior;
- infraestruturas de transporte, veículos e tráfegos;
- espetáculos, diversões, manifestações desportivas, feiras e mercados;
- sistemas sonoros de alarme.

e ainda a ruído de vizinhança.

O RGR não se aplica à sinalização sonora de dispositivos de segurança relativos a infraestruturas de transporte ferroviário, designadamente de passagens de nível.

4.1.2 Classificação de zonas e valores limite de exposição exterior

O regulamento considera, de acordo com o artigo 3º, o indicador de ruído diurno-entardecer-noturno (Lden), associado ao incómodo global de longa duração (um ano). O Lden, depende de três indicadores, sendo estes:

- Ld (ruído diurno) - nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na norma

NP 1730-1:1996, ou na versão atualizada correspondente, determinado durante uma série de períodos diurnos representativos de um ano;

- Le (ruído do entardecer) - nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na norma NP 1730-1:1996, ou na versão atualizada correspondente, determinado durante uma série de períodos do entardecer representativos de um ano;
- Ln (ruído noturno) - nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na norma NP 1730-1:1996, ou na versão atualizada correspondente, determinado durante uma série de períodos noturnos representativos de um ano.

Os locais podem classificar-se, segundo o artigo 11º, como zonas sensíveis ou mistas, sendo necessária a elaboração de mapas de ruído para se efetuar esta classificação, que segundo o artigo 7º do RGR, é da competência das Câmaras Municipais [6]:

- a zona sensível, é uma área com o uso vocacionado para ocupação humana sensível (habitações, escolas, hospitais ou similares, espaços de recreio, de lazer ou de recolhimento existentes ou previstos), podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local (cafés, outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional), sem funcionamento no período noturno (das 23 às 7 horas); os valores limites de exposição máximos admissíveis no exterior para as zonas sensíveis são: $L_{den} < 55\text{dB(A)}$ (dia / entardecer / noite); $L_n < 45\text{dB(A)}$;
- a zona mista, é uma área onde ocorre ocupação humana sensível e outros usos do solo compatíveis com a ocupação humana em ambiente urbano como comércio e serviços, existentes ou previstos; os valores limites de exposição máximos admissíveis no exterior para as zonas mistas são: $L_{den} < 65\text{dB(A)}$; $L_n < 55\text{dB(A)}$.

Enquanto não estiver definida a classificação de zonas, aplicam-se aos recetores sensíveis os seguintes limites máximos: $L_{den} \leq 63\text{dB(A)}$; $L_n \leq 53\text{dB(A)}$.

4.1.3 Instalação e funcionamento de atividades ruidosas permanentes

De acordo com o artigo 13º, atividade ruidosa é qualquer tipo de atividade que provoca ruído nocivo ou incorporativo para recetores sensíveis próximos, distinguindo-se as atividades ruidosas permanentes das atividades ruidosas temporárias que assumem carácter esporádico como é o caso de obras de construção civil e festividades.

A instalação e o exercício de atividades ruidosas permanentes em zonas mistas, nas envolventes das zonas sensíveis ou mistas ou na proximidade dos recetores sensíveis isolados estão sujeitos:

- ao cumprimento dos valores limite fixados no artigo 11º;
- ao cumprimento do critério de incomodidade, considerado como a diferença entre o valor do indicador LAeq do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular da atividade ou atividades em avaliação e o valor do indicador LAeq do ruído residual, diferença que não pode exceder 5dB(A) no período diurno, 4dB(A) no período do entardecer e 3dB(A) no período noturno, nos termos do anexo I do RGR.

4.1.4 Avaliação do critério de incomodidade

Segundo o artigo 13º, o critério de incomodidade é considerado como a diferença entre o valor do indicador LAeq (nível sonoro contínuo equivalente) do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular da atividade a ser avaliada e o valor do indicador LAeq do ruído residual. Sendo que esta diferença não pode exceder 5dB(A) no período diurno, 4dB(A) no período do entardecer e 3dB(A) no período noturno.

Por forma a cumprir o critério de incomodidade, é necessário que sejam adotadas medidas de redução na fonte de ruído, no meio de propagação de ruído e no recetor sensível.

4.1.5 Atividades ruidosas temporárias

O RGR, segundo o artigo 14º, proíbe o exercício de atividades ruidosas temporárias na proximidade de [6]:

- edifícios de habitação, aos sábados, domingos e feriados e nos dias úteis entre as 20 e as 8 horas (no antigo RLPS era das 18 às 7 horas);
- escolas, durante o respetivo horário de funcionamento;
- hospitais ou estabelecimentos similares.

O artigo 15º defende que o exercício pode ser autorizado, em casos excecionais e devidamente justificados, mediante emissão de licença especial de ruído pelo respetivo município.

4.1.6 Ruídos de vizinhança

Segundo o artigo 24º, este tipo de ruído está associado ao uso habitacional e às atividades que lhe são inerentes. Não fica dependente do cumprimento de nenhum requisito acústico, mas sim da intervenção das autoridades policiais através da apresentação de queixas.

4.1.7 Planeamento territorial

O artigo 12º considera da competência das Câmaras Municipais promover a elaboração de mapas de ruído e que é interdito o licenciamento ou a autorização de novos edifícios habitacionais, como de novas escolas, hospitais ou similares e espaços de lazer enquanto se verifique violação dos valores limite fixados no artigo 11º. O mesmo artigo defende ainda que, a utilização ou alteração da utilização de edifícios e suas frações está sujeita à verificação do cumprimento do projeto acústico a efetuar pela Câmara Municipal, no âmbito do respetivo procedimento de licença ou autorização da utilização, podendo a Câmara, para o efeito, exigir a realização de ensaios acústicos.

Os ensaios e medições acústicas necessárias, segundo o artigo 34º, à verificação do cumprimento do disposto no RGR são realizados por entidades acreditadas no âmbito do Sistema Português da Qualidade.

4.1.8 Exigências aplicáveis a processos de licenciamento

A Portaria n.º 232/2008, de 11 de março [15], determina quais os elementos a entregar em processos de pedidos de informação prévia, de licenciamento e de autorização referentes a todos os tipos de operações urbanísticas, e revoga a Portaria n.º 1110/2001 de 19 de setembro.

De acordo com a Portaria nº 232/2008 de 11 de março, são possíveis os seguintes processos:

- informação prévia de operações de loteamento, segundo o artigo 1º;
- informação prévia em obras de urbanização, segundo o artigo 2º;
- licenciamento de operações de loteamento, segundo o artigo 7º, devendo ser entregue um estudo que inclua a caracterização da atual situação de ruído (medições de ruído ambiente), a previsão de ruído futura após concretizado o loteamento bem como a demonstração do cumprimento do Regulamento Geral do Ruído (caso não se verifique, deverão ser indicadas medidas de minimização que permitam o cumprimento);
- informação prévia de obras de edificação (se incluir ocupação sensível), segundo o artigo 3º devendo ser entregue um extrato de mapa de ruído ou de plano municipal de ordenamento do território com classificação acústica. Se não existir, devem ser realizadas medições de ruído ambiente no exterior e entregue o correspondente relatório;
- licenciamento de obras de edificação, segundo o artigo 11º devendo ser entregue, juntamente com os restantes projetos de especialidade, o projeto de condicionamento

acústico;

- autorização de utilização e alteração de utilização, segundo o artigo 15º com vista à obtenção da licença de utilização e/ou de habitabilidade, deverá ser apresentada uma avaliação acústica que demonstre o cumprimento dos requisitos acústicos aplicáveis, através de ensaios acústicos e/ou de ruído.

4.2 Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE)

O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, foi inicialmente aprovado pelo Decreto-lei n.º 129/2002 de 11 de maio e posteriormente alterado pelo Decreto-lei n.º 96/2008 de 9 de junho. As alterações introduzidas atualizam os parâmetros de desempenho acústico dos edifícios e os indicadores do ruído de equipamentos e instalações, e estabelecem explicitamente procedimentos de avaliação de conformidade de acordo com as normas definidas no Regulamento Geral do Ruído (Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de janeiro) [6, 18].

4.2.1 Tipificação dos edifícios

As disposições do RRAE, segundo o artigo 1º, aplicam-se à construção, reconstrução, ampliação ou alteração dos seguintes tipos de edifícios [18]:

- edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras (artigo 5º);
- edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais (artigo 6º);
- edifícios escolares e similares, e de investigação (artigo 7º);
- edifícios hospitalares e similares (artigo 8º);
- recintos desportivos (artigo 9º);
- estações de transporte de passageiros (artigo 10º);
- auditórios e salas (10º-A).

4.2.2 Parâmetros utilizados no novo RRAE e suas definições

Para os efeitos do disposto no artigo 2º do RRAE, entende-se por [6]:

- **Tempo de reverberação ou tempo de reverberação médio**, correspondente à média aritmética dos valores obtidos para as bandas de oitava centradas nas frequências de 500Hz, 1000Hz e 2000Hz. Sendo este, o intervalo de tempo necessário para que a energia volúmica do campo sonoro de um recinto fechado se reduza a um milionésimo do seu valor inicial.

- **Isolamento sonoro de condução aérea padronizado em fachadas** ($D_{2m,nT,w}$), como sendo a diferença entre o nível médio de pressão sonora exterior, medido a 2 m da fachada do edifício ($L_{1,2m}$), e o nível médio de pressão sonora medido no local de receção L_2 , corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor, segundo a fórmula 4.1, com as unidades em dB:

$$D_{2m,nT,w} = D_{2m,n,w} + 10 \times \log\left(\frac{0,016V}{T_0}\right) \quad (4.1)$$

em que:

$D_{2m,n,w}$ — isolamento sonoro de condução aérea em fachadas ($L_{1,2m} - L_2$)

V - volume do compartimento recetor;

T_0 — tempo de reverberação de referência, em segundos; para compartimentos de habitação ou com dimensões comparáveis, $T_0 = 0,5$ s; para compartimentos em que haja tempo de reverberação atribuível em projeto, o valor de referência a considerar será o do respetivo tempo de dimensionamento.

No entanto, para fachadas, em projeto pode-se assumir a fórmula 4.2, com as unidades em dB [6]:

$$D_{2m,nT,w} \approx R_{wGlobal} + 10 \times \log\left(\frac{V}{6,25 \times S_{fs} \times T_0}\right) \quad (4.2)$$

em que:

$R_{wGlobal}$ — redução sonora aparente;

V - volume do compartimento recetor;

S_{fs} - área total da fachada;

T_0 — tempo de reverberação.

O valor de $D_{2m,nT,w}$ é sempre inteiro e deve ser sempre arredondado à unidade inferior (para baixo).

O valor da redução sonora aparente ($R_{wGlobal}$) é obtido através pela expressão 4.3, com as unidades em dB:

$$R_{wGlobal} = 10 \times \log\left(\frac{\sum_i S_i}{\sum_i S_i 10^{(-R_{wi}/10)}}\right) \quad (4.3)$$

em que:

R_{wi} — redução sonora;

S_i - área de cada elemento.

- **Isolamento sonoro de condução aérea padronizado entre compartimentos** ($D_{nT,w}$), como sendo a diferença entre o nível médio de pressão sonora medido no compartimento emissor (L_1) produzido por uma ou mais fontes sonoras e o nível médio de pressão sonora medido no compartimento recetor (L_2), corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor, segundo a fórmula 4.4, com as unidades em dB:

$$D_{nT,w} = D_{n,w} + 10 \times \log\left(\frac{0,016V}{T_0}\right) \quad (4.4)$$

em que:

$D_{n,w}$ — isolamento sonoro de condução aérea ($L_1 - L_2$)

- **Nível sonoro de percussão padronizado** ($L'_{nT,w}$), como sendo o nível sonoro médio (L_i) medido no compartimento recetor, proveniente de uma excitação de percussão normalizada exercida sobre um pavimento, corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor, segundo a fórmula 4.5, com as unidades em dB:

$$L'_{nT,w} = L'_{n,w} - 10 \times \log\left(\frac{0,016V}{T_0}\right) \quad (4.5)$$

em que:

$L'_{n,w}$ — é L_i

- **Nível de avaliação padronizado** ($L_{Ar,nT}$), como sendo o nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, durante um intervalo de tempo especificado, adicionado da correção devida às características tonais do ruído, K, e corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor, segundo a fórmula 4.6, com unidades em dB:

$$L_{Ar,nT} = L_{Ar} - 10 \times \log\left(\frac{T}{T_0}\right) \quad (4.6)$$

em que:

L_{Ar} — é ($L_A + K$)

O valor do índice de redução sonora ou índice de isolamento sonoro, R_W (dB), pode ser obtido através dos diagramas apresentados pelas figuras 4.1 e 4.2, para elementos de separação e para envidraçados, respetivamente. No entanto, para a determinação do R_W do vidro deve-se ter em ainda linha de conta, o tipo de caixilharia e a sua classificação.

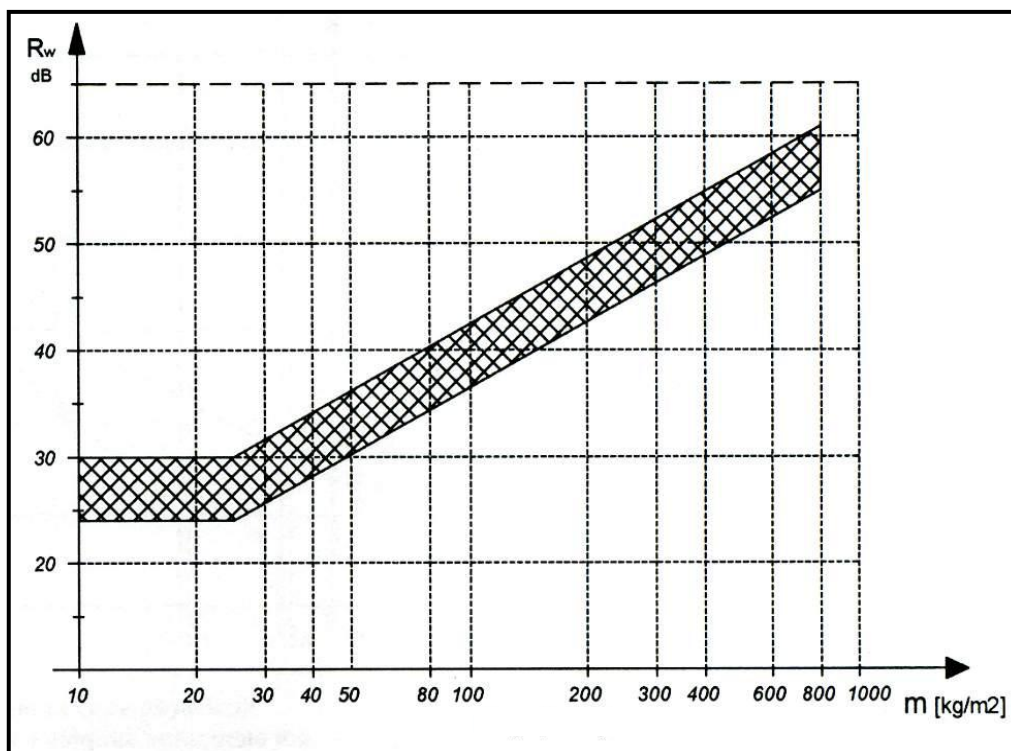


Figura 4.1 - Diagrama de estimacão do  ndice de isolamento sonoro para elementos de compartimentao simples e homog neos, em funo da sua massa superficial [6]

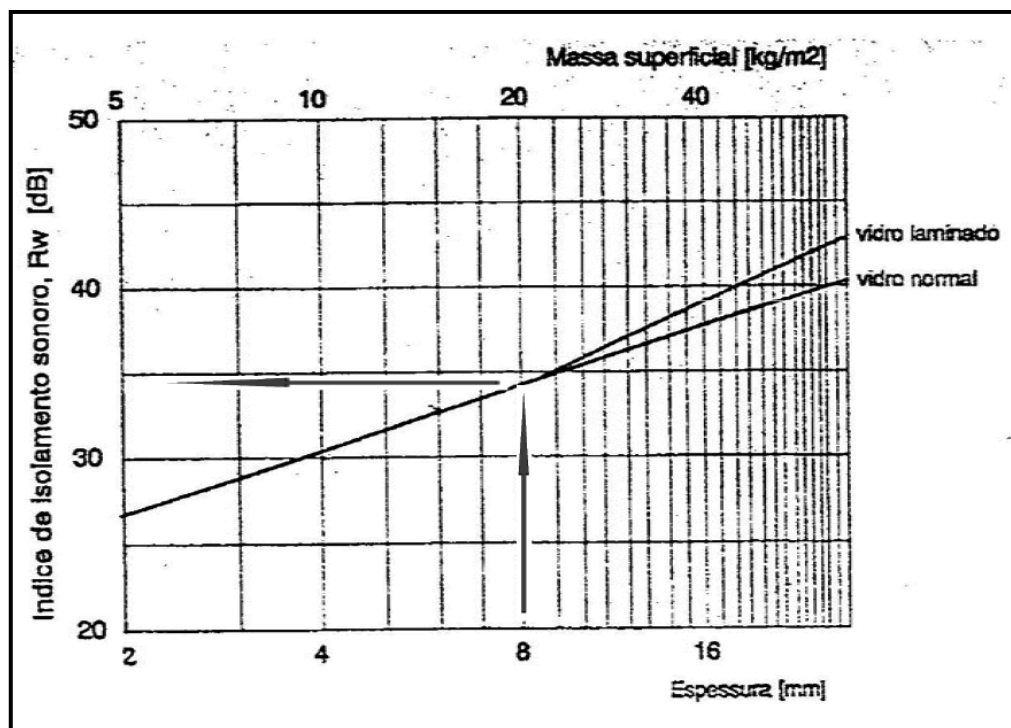


Figura 4.2 - Diagrama de estimacão do  ndice de isolamento sonoro para envidraçados, em funo da sua espessura ou da massa superficial [1]

Se a área translúcida for superior a 60% do elemento de fachada em análise, deve ser adicionado ao índice $D_{2m,nT,w}$ o termo de adaptação apropriado, C ou Ctr, conforme o tipo de ruído dominante na emissão [15].

Os termos de adaptação C ou Ctr, consistem da correção definida na EN ISO 717-1, em função das características espectrais do ruído na emissão (Tabelas 4.1 e 4.2).

Tabela 4.1 - Termos de adaptação [6, 18]

Tipo de fonte de ruído	Tipo de espectro	Termo de adaptação
Actividades humanas (palavra, música, rádio, TV) Brincadeiras de crianças Tráfego ferroviário de média ou alta velocidade Tráfego rodoviário (c/ baixo volume de pesados) para $V < 80$ km/h Avião a reação para curtas distâncias Maquinaria com emissão sobretudo em médias e altas frequências	Rosa	C
Tráfego rodoviário urbano Tráfego ferroviário de baixa velocidade Avião a hélice Avião a reação a grande distância Bares e discotecas Maquinaria de baixa rotação	Tráfego Urbano	Ctr

Notas: C - prazo de adaptação para o ruído rosa (ou seja, o som dominado por tons médio e alto).

Ctr - prazo de adaptação para o tráfego rodoviário de ruído (dominada por tons baixos e médios).

Tabela 4.2 – Valores referentes aos termos de adaptações [6]

Termo de adaptação	Valores aproximados
C	-1 → Elementos pesados (massa média $> 100\text{kg/m}^2$) -2 → Elementos leves (massa média $< 100\text{kg/m}^2$)
Ctr	-3 a -5 → Elementos pesados (massa média $> 100\text{kg/m}^2$) -5 a -8 → Elementos leves (massa média $< 100\text{kg/m}^2$)

4.2.3 Requisitos acústicos dos edifícios

O RRAE refere que os requisitos devem ser obrigatoriamente satisfeitos, relativamente aos valores mínimos.

Para edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras, os requisitos acústicos estão apresentados e representados na tabela 4.3 e figura 4.3, respetivamente.

Tabela 4.3 - Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras (artigo 5º) [6]

Ref.	Elemento / Local	Mínimo Regulamentar
1 a)	Entre o exterior e quartos ou zonas de estar (fachadas com envidraçados).	$D_{2m,nT,w^+} (C;Ctr) \geq 28dB$ – em zonas sensíveis reguladas pela alínea b) do nº1 do art. 11 do RGR. $D_{2m,nT,w^+} (C;Ctr) \geq 33dB$ – em zonas mistas ou zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do nº1 do art. 11º do RGR. $D_{2m,nT,w^+} (C;Ctr) \geq 36dB$ – quando se verifique o disposto no nº7 do art. 12º do RGR (zonas urbanas consolidadas com violação até 5dB(A) dos valores limite de exposição). C ou Ctr , somados a $D_{2m,nT,w}$, quando área translúcida superior a 60% do elemento de fachada (função do tipo de ruído dominante na emissão).
1 b) e 1 e)	Entre compartimentos de um fogo e quartos ou zonas de estar de outro fogo.	$D_{nT,w} \geq 50dB$ $L'_{nT,w} \leq 60dB$
1 c), 1 e) e 1 f)	Entre locais de circulação comum e quartos ou zonas de estar dos fogos.	$D_{nT,w} \geq 48dB$ $D_{nT,w} \geq 40dB$ se a circulação comum for caminho vertical e existir elevador. $D_{nT,w} \geq 50dB$ se a circulação comum for garagem de estacionamento automático. $L'_{nT,w} \leq 60dB$ ou não se aplica se a circulação comum for caminho vertical e existir elevador.
1 d) e 1 g)	Entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão e quartos ou zonas de estar dos fogos.	$D_{nT,w} \geq 58dB$ $L'_{nT,w} \leq 50dB$
1 h)	No interior dos quartos ou zonas de estar, o valor de $L_{Ar,nT}$ do ruído particular de equipamentos coletivos do edifício, deve satisfazer as condições:	$L_{Ar,nT} \leq 32dB(A)$ se o funcionamento for intermitente. $L_{Ar,nT} \leq 27dB(A)$ se o funcionamento for contínuo. $L_{Ar,nT} \leq 40dB(A)$ se for um grupo gerador elétrico de emergência.
5 e 6	Nas avaliações “in situ” destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos deve considerar-se:	+ 3dB para $D_{2m,nT,w}$ e para $D_{nT,w}$ - 3dB para $L'_{nT,w}$ e $L_{Ar,nT}$ - 3dB(A) para $L'_{nT,w}$ e $L_{Ar,nT}$

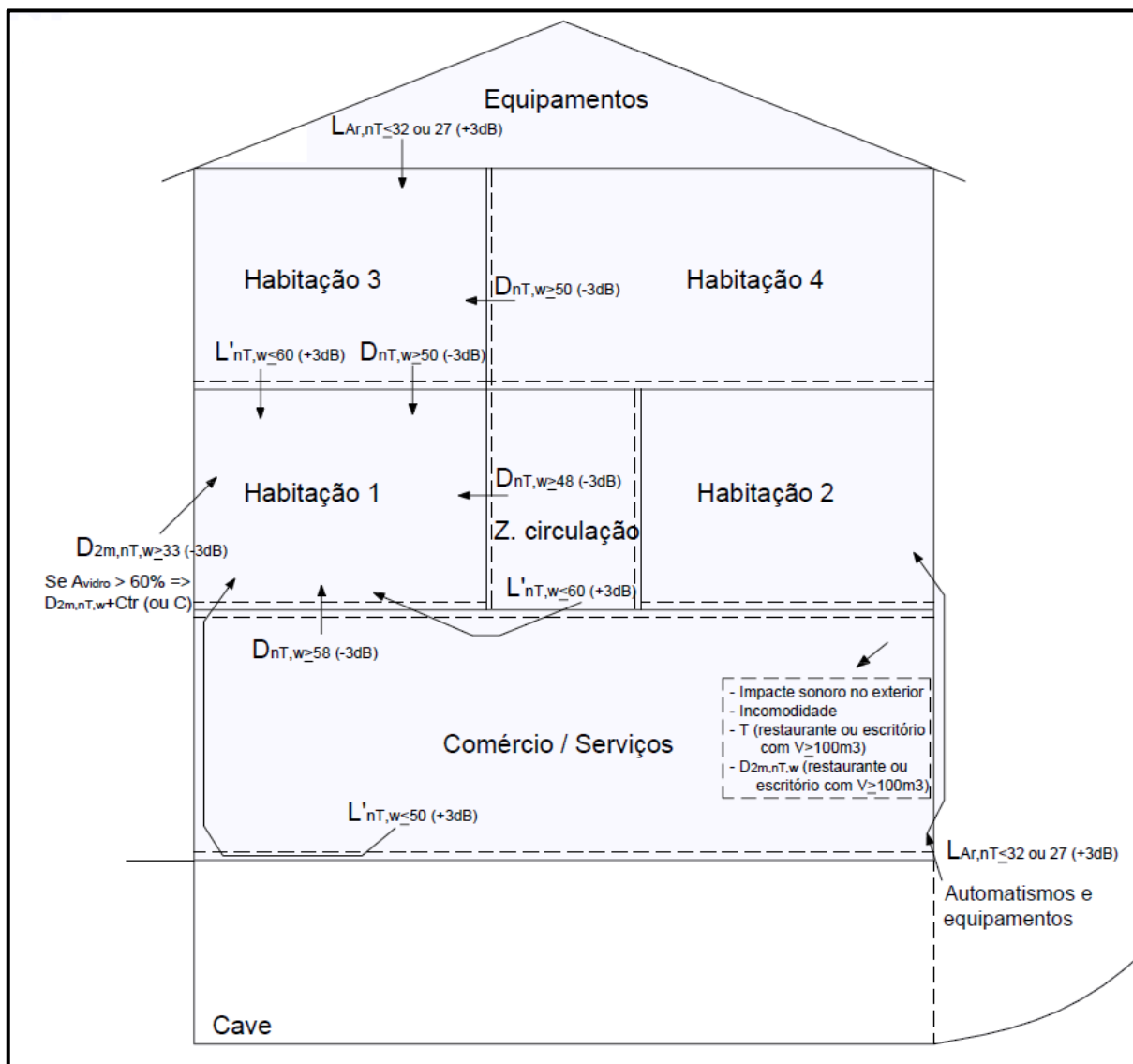


Figura 4.3 – Representação esquemática do artigo 5º, em que cada quarto equivale a um fogo [6]

Os requisitos referentes aos edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais, encontram-se expostos nas tabelas 4.4 e 4.5.

Tabela 4.4 - Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais (artigo 6º) [6] (Parte I)

Ref.	Elemento / Local	Mínimo Regulamentar
1 a)	Entre o exterior e escritórios, refeitórios públicos de reastauração.	$D_{2m,nT,w}^+ (C;Ctr) \geq 30dB$ – em em escritórios com $V \geq 100m^3$. $D_{2m,nT,w}^+ (C;Ctr) \geq 25dB$ – em refeitórios ou recintos públicos de restauração. C ou Ctr , somados a $D_{2m,nT,w}$, quando área translúcida superior a 60% do elemento de fachada (função do tipo de ruído dominante na emissão).
1 b)	Entre quaisquer locais do edificio e escritórios ($V \geq 100m^3$) ou recintos com vocação similar.	$L'_{nT,w} \leq 60dB$

Tabela 4.5 - Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edificios industriais (artigo 6º) [6] (Parte II)

Ref.	Elemento / Local	Mínimo Regulamentar
1 c)	Tempo de reverberação médio (500, 1000 e 2000Hz), T, com mobiliário e sem ocupação.	$T \leq 0,15 \times V^{1/3}$ [s] em refeitórios ou recintos públicos de restauração. $T \leq 0,15 \times V^{1/3}$ [s] em escritórios com $V \geq 100m^3$.
1 d)	Nos locais situados no interior do edifício, onde se exerçam atividades que requeiram concentração e sossego o valor de $L_{Ar,nT}$ do ruído particular de equipamentos do edifício deve ser:	$L_{Ar,nT} \leq 42dB(A)$ se o funcionamento for intermitente. $L_{Ar,nT} \leq 37dB(A)$ se o funcionamento for contínuo.
4 e 5	Nas avaliações “in situ” destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos deve considerar-se:	+ 3dB para $D_{2m,nT,w}$ - 3dB para $L'_{nT,w}$ e $L_{Ar,nT}$ - 3dB(A) para $L'_{nT,w}$ e $L_{Ar,nT}$ - 25% para T

No caso dos edifícios escolares e similares, e de investigação, os requisitos estão apresentados nas tabelas 4.6 e 4.7.

Tabela 4.6 - Edifícios escolares e similares, e de investigação (artigo 7º) [6] (Parte I)

Ref.	Elemento / Local	Mínimo Regulamentar
1 a)	Entre o exterior e os compartimentos recetores.	$D_{2m,nT,w} + (C;Ctr) \geq 28dB$ – em zonas sensíveis reguladas pela alínea b) do nº1 do art. 11 do RGR. $D_{2m,nT,w} + (C;Ctr) \geq 33dB$ – em zonas mistas ou zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do nº1 do art. 11º do RGR. C ou Ctr , somados a $D_{2m,nT,w}$, quando área translúcida superior a 60% do elemento de fachada (função do tipo de ruído dominante na emissão).
1 c)	Entre compartimentos recetores provenientes de outros locais do edifício.	$L'_{nT,w} \leq 60dB$ se o local emissor for corredor de grande circulação, ginásio, refeitório ou oficina. $L'_{nT,w} \leq 65dB$ se o local emissor for salas de aula, berçário ou salas polivalentes.
1 d)	Tempo de reverberação médio (500, 1000 e 2000Hz), T, com mobiliário e sem ocupação.	$T \leq 0,15 \times V^{1/3}$ [s] em salas de aula, salas polivalentes, bibliotecas, refeitórios e ginásios.
1 e)	Área de absorção sonora equivalente média (500, 1000 e 2000Hz), A, em átrios e corredores de grande circulação:	$A \geq 0,25 \times S_{planta}$
1 f)	Em compartimentos recetores o valor de $L_{Ar,nT}$ do ruído particular de equipamentos do edifício deve ser:	Bibliotecas $L_{Ar,nT} \leq 35dB(A)$ se o funcionamento for intermitente $L_{Ar,nT} \leq 30dB(A)$ se o funcionamento for contínuo Restantes compartimentos recetores $L_{Ar,nT} \leq 40dB(A)$ se o funcionamento for intermitente $L_{Ar,nT} \leq 35dB(A)$ se o funcionamento for contínuo

Tabela 4.7 - Edifícios escolares e similares, e de investigação (artigo 7º) [6] (Parte II)

Ref.	Elemento / Local	Mínimo Regulamentar		
1 b)	Locais de receção	Salas de aula (incluindo musical), de professores e administrativas	Bibliotecas e gabinetes médicos	Salas polivalentes e berçários
	Locais de emissão			
	Salas de aula (incluindo musical), de professores e administrativas	$D_{nT,w} \geq 45\text{dB}$	$D_{nT,w} \geq 45\text{dB}$	$D_{nT,w} \geq 45\text{dB}$
	Bibliotecas e gabinetes médicos	$D_{nT,w} \geq 55\text{dB}$	$D_{nT,w} \geq 58\text{dB}$	$D_{nT,w} \geq 50\text{dB}$
	Salas polivalentes e berçários	$D_{nT,w} \geq 53\text{dB}$	$D_{nT,w} \geq 55\text{dB}$	$D_{nT,w} \geq 48\text{dB}$
	Corredores de grande circulação	$D_{nT,w} \geq 30\text{dB}$ + 15dB se não existir porta	$D_{nT,w} \geq 45\text{dB}$ + 15dB se não existir porta	$D_{nT,w} \geq 45\text{dB}$ + 15dB se não existir porta
4 e 5	Nas avaliações “in situ” destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos deve considerar-se:	+ 3dB para $D_{2m,nT,w}$ e para $D_{nT,w}$ - 3dB para $L'_{nT,w}$ e $L_{Ar,nT}$ - 3dB(A) para $L'_{nT,w}$ e $L_{Ar,nT}$ - 25% para T		

Nota: Compartimentos recetores podem ser, salas de aula, de professores, administrativas, polivalentes, berçários, gabinetes médicos e bibliotecas.

Os requisitos para os edifícios hospitalares e similares, encontram-se sintetizados nas tabelas 4.8 e 4.9.

Tabela 4.8 - Edifícios hospitalares e similares (artigo 8º) [6] (Parte I)

Ref.	Elemento / Local	Mínimo Regulamentar
1 a)	Entre o exterior e os compartimentos recetores.	$D_{2m,nT,w} + (C;Ctr) \geq 28\text{dB}$ – em zonas sensíveis reguladas pela alínea b) do nº1 do art. 11 do RGR. $D_{2m,nT,w} + (C;Ctr) \geq 33\text{dB}$ – em zonas mistas ou zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do nº1 do art. 11º do RGR. C ou Ctr , somados a $D_{2m,nT,w}$, quando área translúcida superior a 60% do elemento de fachada (função do tipo de ruído dominante na emissão).
1 c)	Entre compartimentos recetores provenientes de outros locais do edifício.	$L'_{nT,w} \leq 60\text{dB}$ se o local emissor for cozinha, refeitório ou oficina. $L'_{nT,w} \leq 65\text{dB}$ para os restantes locais emissores.
1 d)	Tempo de reverberação médio (500, 1000 e 2000Hz), T, com mobiliário e sem ocupação.	$T \leq 0,15 \times V^{1/3}[\text{s}]$ em refeitórios ou enfermarias com $V \geq 100\text{m}^3$. Em átrios e salas de espera com $V \geq 100\text{m}^3$: $T \leq 0,15 \times V^{1/3}[\text{s}]$ sem difusão de mensagens sonoras. $T \leq 0,12 \times V^{1/3}[\text{s}]$ com difusão de mensagens sonoras.
1 e)	Área de absorção sonora equivalente média (500, 1000 e 2000Hz), A, em corredores de circulação interna:	$A \geq 0,25 \times S_{\text{planta}}$
1 f)	Em compartimentos recetores o valor de $L_{Ar,nT}$ do ruído particular de equipamentos do edifício deve ser:	$L_{Ar,nT} \leq 35\text{dB(A)}$ se o funcionamento for intermitente $L_{Ar,nT} \leq 30\text{dB(A)}$ se o funcionamento for contínuo

Tabela 4.9 - Edifícios hospitalares e similares (artigo 8º) [6] (Parte II)

Ref.	Elemento / Local	Mínimo Regulamentar	
1 b)	Locais de receção	Blocos operatórios, gabinetes médicos, salas de consulta ou exame	Enfermarias, salas de tratamento, salas administrativas e de convívio
	Locais de emissão		
	Blocos operatórios, gabinetes médicos, salas de consulta ou exame	$D_{nT,w} \geq 48\text{dB}$	$D_{nT,w} \geq 40\text{dB}$
	Enfermarias e salas de tratamento	$D_{nT,w} \geq 55\text{dB}$	$D_{nT,w} \geq 45\text{dB}$
	Salas administrativas e de convívio	$D_{nT,w} \geq 55\text{dB}$	$D_{nT,w} \geq 48\text{dB}$
	Circulações internas	$D_{nT,w} \geq 35\text{dB}$ + 15dB se não existir porta	$D_{nT,w} \geq 30\text{dB}$ + 15dB se não existir porta
	Refeitórios e cozinhas	$D_{nT,w} \geq 52\text{dB}$	$D_{nT,w} \geq 45\text{dB}$
	Oficinas	$D_{nT,w} \geq 55\text{dB}$	$D_{nT,w} \geq 48\text{dB}$
4 e 5	Nas avaliações “in situ” destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos deve considerar-se:	+ 3dB para $D_{2m,nT,w}$ e para $D_{nT,w}$ - 3dB para $L'_{nT,w}$ e $L_{Ar,nT}$ - 3dB(A) para $L'_{nT,w}$ e $L_{Ar,nT}$ - 25% para T	

Nota: Compartimentos recetores podem ser, blocos operatórios, gabinetes médicos, salas de consulta ou exame, enfermarias, salas de tratamento, salas administrativas e de convívio

No que se refere aos requisitos dos recintos desportivos, estes estão referidos na tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Recintos desportivos (artigo 9º) [6]

Ref.	Elemento / Local	Mínimo Regulamentar
1 a) e 1 b)	Tempo de reverberação médio (500, 1000 e 2000Hz), T, com mobiliário e sem ocupação.	$T \leq 0,15 \times V^{1/3} [\text{s}]$ $T \leq 0,12 \times V^{1/3} [\text{s}]$ se os espaços forem dotados de sistema de difusão pública de mensagens sonoras.
3 e 4	Nas avaliações “in situ” destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos deve considerar-se:	- 25% para T

Os requisitos referentes às estações de transporte de passageiros, encontram-se expostos na tabela 4.11.

Tabela 4.11 – Estações de transporte de passageiros (artigo 10º) [6]

Ref.	Elemento / Local	Mínimo Regulamentar
1 a) e 1 b)	Tempo de reverberação médio (500, 1000 e 2000Hz), T, no interior dos átrios ou salas de embarque das estações de transporte de passageiros, com volume superior a 350m^3 , com mobiliário e sem ocupação.	$T \leq 0,15 \times V^{1/3} [\text{s}]$ $T \leq 0,12 \times V^{1/3} [\text{s}]$ se os espaços forem dotados de sistema de difusão pública de mensagens sonoras.
3 e 4	Nas avaliações “in situ” destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos deve considerar-se:	- 25% para T

Para auditórios e salas, os requisitos, estão sintetizados na tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Auditórios e salas (artigo 10º-A) [6]

Ref.	Elemento / Local	Mínimo Regulamentar
1 a) e 1 b)	Tempo de reverberação médio (500, 1000 e 2000Hz), T, no interior de auditórios e salas de conferência, polivalentes e/ou cinema, com mobiliário e sem ocupação.	$T \leq 0,12 \times V^{1/3} [s]$ se $V < 250m^3$ $T \leq 0,32 + 0,17 \text{Log}(V) [s]$ se $250 \leq V < 9000m^3$ $T \leq 0,05 \times V^{1/3} [s]$ se $V \geq 9000m^3$ Para além deste requisito, o projeto de condicionamento acústico deve incluir um estudo específico destinado a assegurar uma característica de reverberação adequada no restante espetro de frequência e uma boa inteligibilidade da palavra nos diversos locais do recinto.
2	Em auditórios e salas cuja principal valência não corresponde a atividades assentes na oratória (salas de música e/ou espetáculos)	O projeto de condicionamento acústico deve incluir um estudo específico destinado a assegurar a conformação acústica adequada à sua utilização funcional.
3	Em fachadas de auditórios e salas de conferência, polivalentes e/ou cinema.	D_{2m,nT,w^+} (C;Ctr) de forma a que L_{Aeq} no interior destes recintos, na ausência de funcionamento das instalações técnicas, satisfaça o seguinte: $L_{Aeq} \leq 30dB(A)$
4 a) e 4 b)	Entre várias salas de cinema	$D_{nT,w} \geq 65dB$ $D_{nT,w,oit.63Hz} \geq 45dB$
5 a) e 5 b)	No interior dos recintos, o nível sonoro contínuo equivalente do ruído particular, L_{Aeq} , associado ao funcionamento das instalações técnicas, com a sala desocupada.	$L_{Aeq} \leq 38dB(A)$ em salas de cinema $L_{Aeq} \leq 30dB(A)$ nos restantes recintos
6	Os requisitos indicados nos pontos de 1 a 5, aplicam-se aos recintos que constituem o uso principal do edifício em que se inserem e os que se integram em edifícios com outros usos.	
8 e 9	Nas avaliações “in situ” destinadas a verificar o cumprimento dos requisitos deve considerar-se:	+ 3dB para $D_{2m,nT,w}$ e para $D_{nT,w}$ - 3dB para $D_{nT,oit.63Hz}$ - 3dB(A) para L_{Aeq} - 25% para T se $V < 250m^3$ -35% para T se $250 \leq V < 9000m^3$ -40% para T se $V \geq 9000m^3$

5 CASO DE ESTUDO

O objetivo deste capítulo é o de apresentar e analisar o desempenho térmico e acústico de um caso de estudo.

No subcapítulo 5.1 é feita a descrição do edifício, em termos de localização e tipologia com recurso a fotografias e peças desenhadas.

No subcapítulo 5.2 são descritas as soluções construtivas adotadas relativamente a paredes exteriores e interiores, zonas de viga/pilar, portas exteriores e interiores, coberturas, pavimentos e tipos de envidraçado.

Nos subcapítulos 5.3 e 5.4 apresentam-se a análise térmica e acústica respetivamente, através da elaboração dos projetos de comportamento térmico e de condicionamento acústico.

5.1 Descrição do edifício

Escolheu-se para o caso de estudo uma moradia unifamiliar situada no Lote 2 do Loteamento no Carvoeiro, na freguesia do Carvoeiro, Concelho de Lagoa (Figura 5.1).

A moradia, de tipologia T4, é constituída por cave, rés do chão e 1º piso, tendo uma área de implantação de 210m², área de construção de 315m² e área útil térmica de 279,77m².

As peças desenhadas referentes à arquitetura, encontram-se no anexo II.

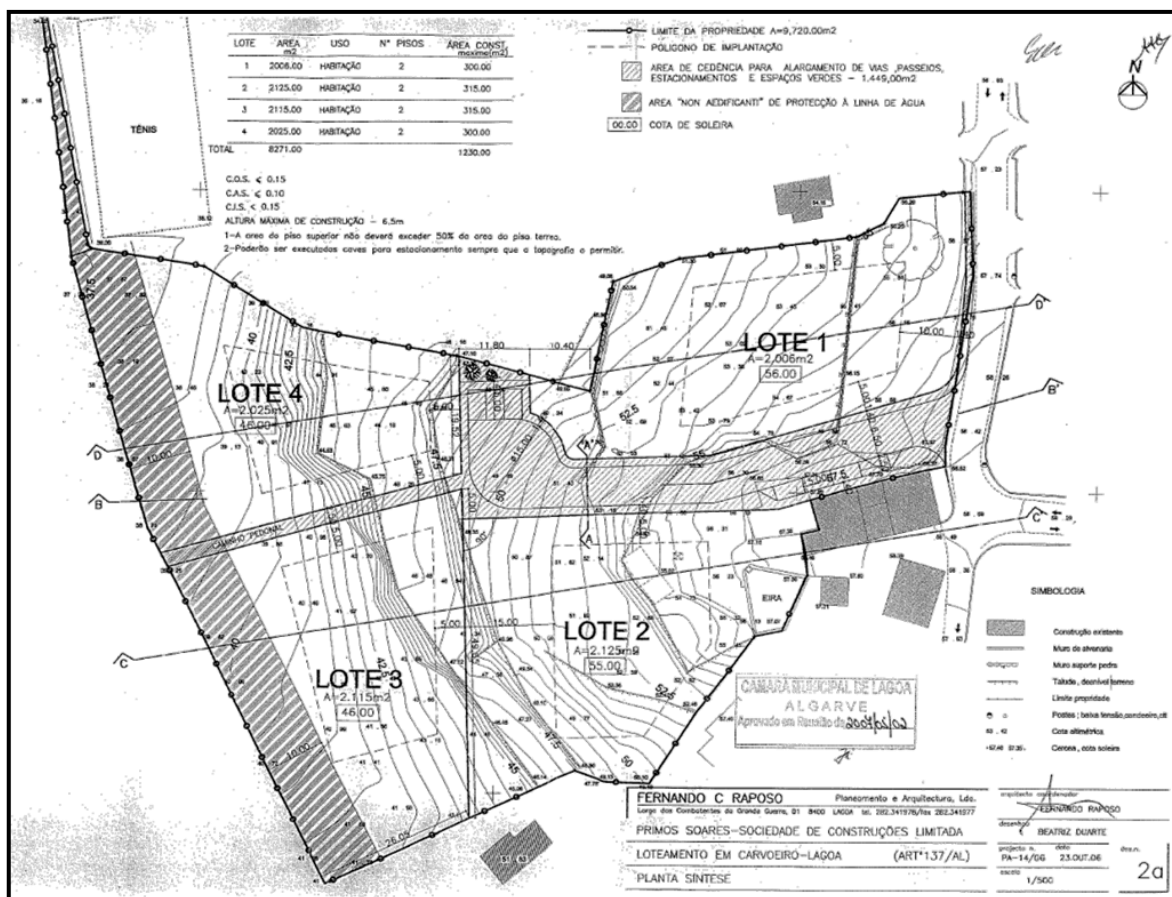


Figura 5.1 - Planta síntese (Digitalização fornecida pela Câmara Municipal de Lagoa)

A moradia em estudo, encontra-se já edificada e apresenta-se tal como se ilustra nas figuras 5.2 a 5.6.



Figura 5.2 - Fachada principal (alçado Norte)



Figura 5.3 - Ângulo entre alçado Nascente e alçado Norte



Figura 5.4 - Ângulo entre alçado Norte e alçado Poente



Figura 5.5 - Vista geral do alçado Poente



Figura 5.6 - Vista do arranjo exterior

5.2 Soluções construtivas adotadas

As soluções adotadas foram as seguintes:

- **Paredes exteriores (Pe1):** paramento simples de alvenaria de bloco térmico BT30 de 50x20x30cm, com isolamento térmico pelo exterior, através de fixação por colagem, em ETICS com 5cm de espessura de EPS, e estucada pelo interior, num total de parede de 36cm; pormenor construtivo na figura 5.7.
- **Zona da viga/pilar (PTPe1):** vigas e pilares em betão com 25cm de espessura inseridos em Pe1, isolados pelo exterior através da fixação por colagem de isolamento térmico de fachadas pelo exterior em ETICS com 5cm de espessura de EPS, pano de alvenaria de BCP30 com

2,5cm de espessura em ambos os lados da viga e do pilar, e estucada pelo interior, num total de parede de 36cm; pormenor construtivo na figura 5.7 e 5.8.

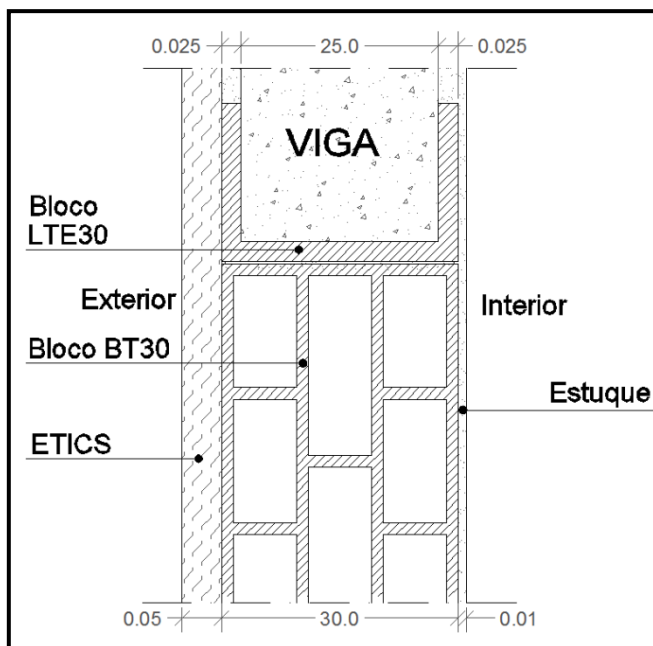
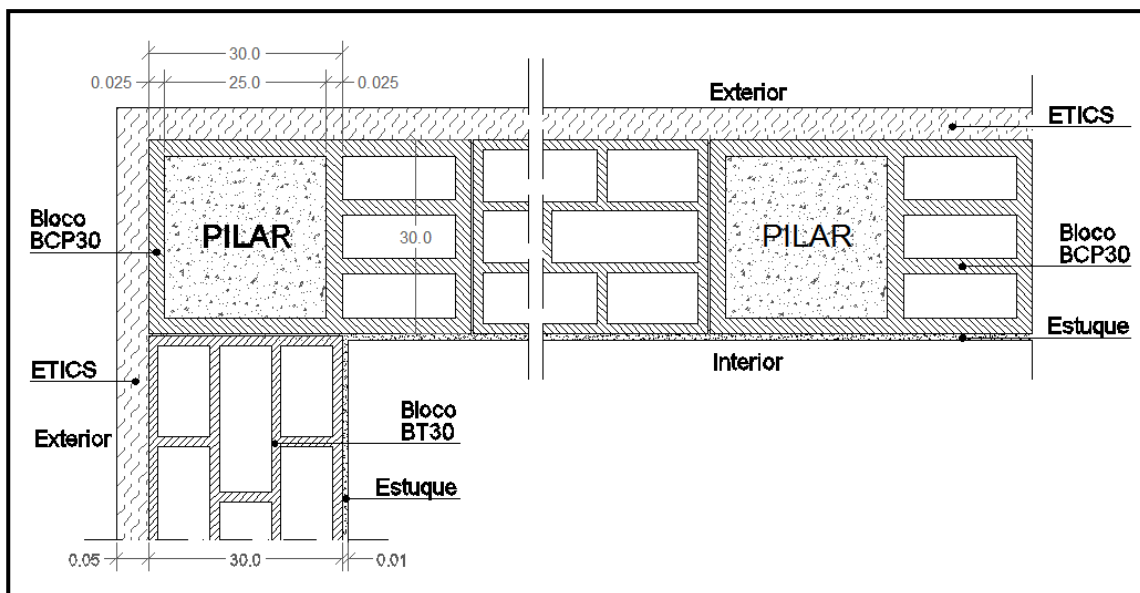


Figura 5.7 - Pormenor da parede exterior e viga, em corte (Pe1)

Figura 5.8 - Pormenor em planta, de ligação entre as paredes exteriores e os pilares (PTPe1)



- **Paredes interiores (Pi1) em contacto com espaço não útil:** com paramento simples de alvenaria de Bloco BBE28, de 50x20x28cm, rebocada em ambas as faces, num total de parede de 31cm; pormenor construtivo na figura 5.9.

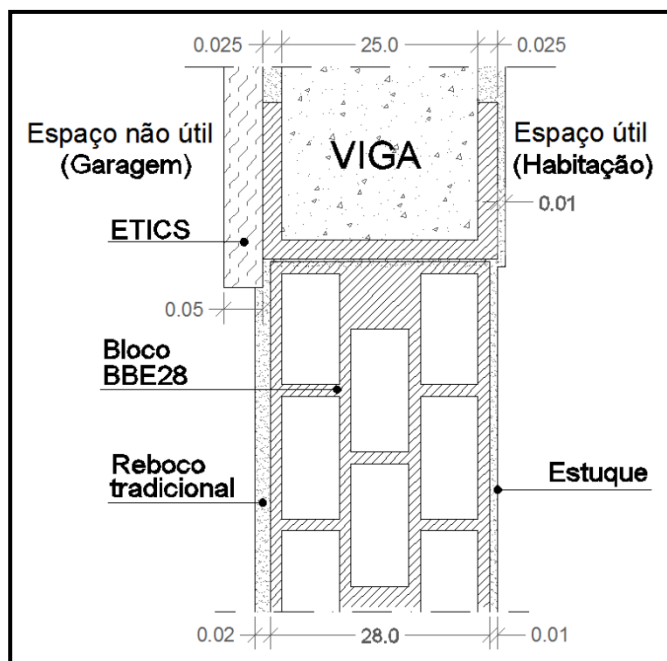


Figura 5.9 - Pormenor da parede e viga de separação entre espaços úteis e não úteis, em corte (Pi1 e PTPi1)

- **Zona da viga/pilar (PTPi1) para espaços não úteis:** vigas e pilares em betão com 25cm de espessura inseridos em Pi1, isolados termicamente pelo lado do espaço não útil (garagem) através da fixação por colagem em ETICS com 5cm de espessura de EPS, e estucada na outra face, num total de parede de 36cm; pormenor construtivo na figura 5.9.
- **Porta interior em contacto com espaços não úteis (PO01):** porta em madeira com 4cm de espessura.
- **Porta exterior da entrada principal (PO02):** do tipo “Portaluxe” ou equivalente, constituída por duas chapas de alumínio, de 2mm de espessura, enchimento em poliuretano injetado a uma densidade de 90kg/m³ e revestimento final em madeira pintada a cor natural ou lacada; espessura total de 2cm.
- **Cobertura em terraço acessível (COB01):** constituída por laje maciça horizontal de betão armado com 16cm de espessura, com isolamento térmico em placas de poliestireno expandido extrudido (Anexo I.2), do tipo “Roofmate SL-A“, com 6cm de espessura, separador em cartão betuminoso tipo “Impersat”, camada de forma com i=1% em betão “Leca”, sistema de impermeabilização com telas asfálticas cruzadas do tipo "IMPERALUM" Polyplas 30, cruzada com Polyester 40 T, incluindo aplicação de primário - emulsão betuminosa tipo “Imperkote-F” e por fim revestimento em ladrilho cerâmico com junta de

dilatação; as fichas técnicas referentes às impermeabilizações encontram-se no anexo I.3; pormenor construtivo na figura 5.10.

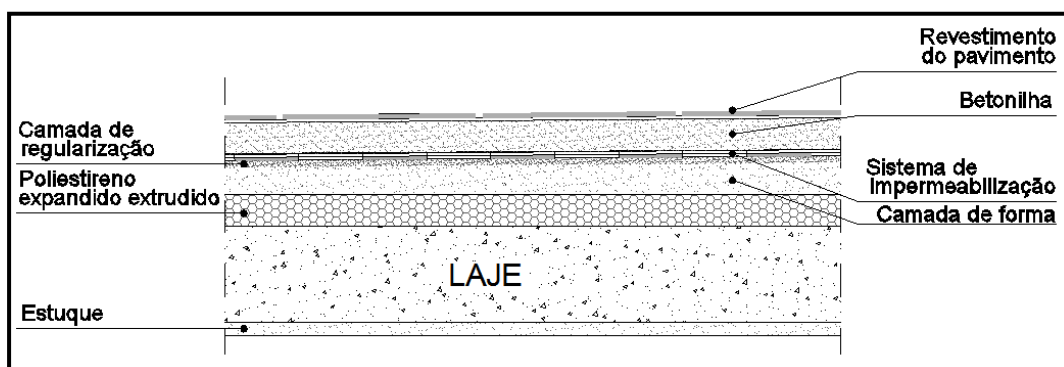


Figura 5.10 - Pormenor da cobertura horizontal acessível em laje maciça, em corte (COB01)

- **Cobertura em terraço acessível (COB02)**: constituída por laje aligeirada horizontal de blocos de betão normal com 16cm de espessura, com isolamento térmico em placas de poliestireno expandido extrudido (Anexo I.2), do tipo “Roofmate SL-A“, com 6cm de espessura, separador em cartão betuminoso tipo “Impersat”, camada de forma com $i=1\%$ em betão “Leca”, sistema de impermeabilização com telas asfálticas cruzadas do tipo "IMPERALUM" Polyplas 30, cruzada com Polyester 40 T, incluindo aplicação de primário - emulsão betuminosa tipo “Imperkote-F” e por fim revestimento em ladrilho cerâmico com junta de dilatação; as fichas técnicas referentes às impermeabilizações encontram-se no anexo I.3; pormenor construtivo na figura 5.11.

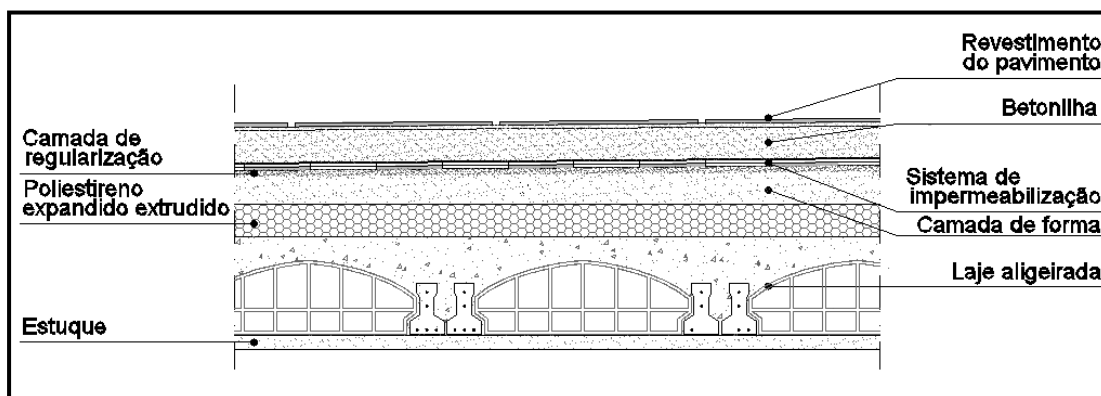


Figura 5.11 - Pormenor da cobertura horizontal acessível em laje aligeirada, em corte (COB02)

- **Cobertura em terraço não Acessível (COB03)**: constituída por laje aligeirada horizontal de blocos de betão normal com 16cm de espessura, com isolamento térmico em placas de poliestireno expandido extrudido (Anexo I.2), do tipo “Roofmate SL-A“, com 6cm de espessura, separador em cartão betuminoso tipo “Impersat”, camada de forma com $i=1\%$ em

betão “Leca”. Posteriormente tem um sistema de impermeabilização com telas asfálticas cruzadas do tipo "IMPERALUM" Polyplas 30, cruzada com Polyster 40 T, incluindo aplicação de primário - emulsão betuminosa tipo “Imperkote-F”; a cobertura é terminada com seixo rolado ou brita sobre um tecido não tecido de polipropileno, tipo “Impersep 250” de 250g/m² (Geotêxtil); as fichas técnicas referentes às impermeabilizações encontram-se no anexo I.3; pormenor construtivo na figura 5.12.

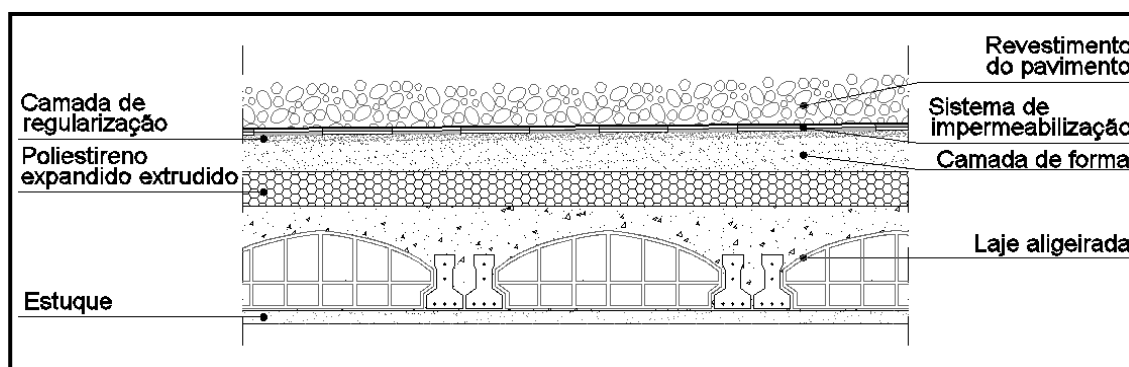


Figura 5.12 - Pormenor da cobertura horizontal não acessível, em corte (COB03)

- **Cobertura inclinada sob espaço não útil (Telhado) (LAJ01 e LAJ02)**: constituída por laje aligeirada horizontal de blocos de betão normal com 16cm de espessura, sob desvão não ventilado, em que sobre esta é colocado isolamento térmico em placas de poliestireno expandido extrudido (Anexo I.2), do tipo “Roofmate PT-A“ com 6cm de espessura; sobre o desvão coloca-se sub-telha do tipo “onduline” (Anexo I.2) e por cima telha cerâmica; pormenor construtivo na figura 5.13.

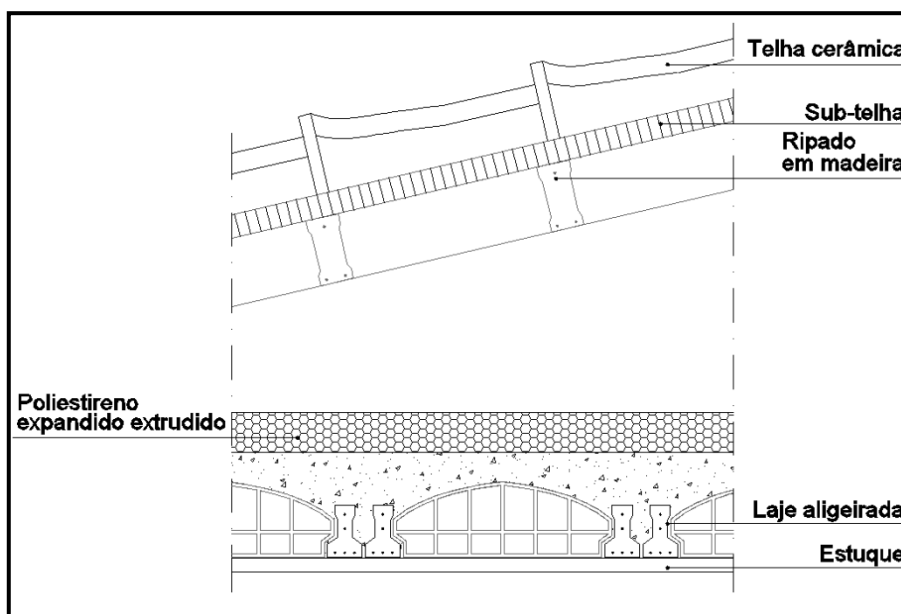


Figura 5.13 - Pormenor da cobertura inclinada com laje horizontal, em corte (LAJ01 e LAJ02)

- **Pavimento térreo da cave sobre terreno:** constituído por uma camada de enrocamento, massame de betão com malha sol CQ38 ou Ø6//0.20, impermeabilização constituída por duas demãos de emulsão betuminosa tipo "Imperkote-F" e uma demão de "Imperkote-L", seguida de uma camada de regularização em betonilha e revestimento do pavimento em mosaico ou ladrilho cerâmico; as fichas técnicas referentes às impermeabilizações encontram-se no anexo I.3; pormenor construtivo na figura 5.14.

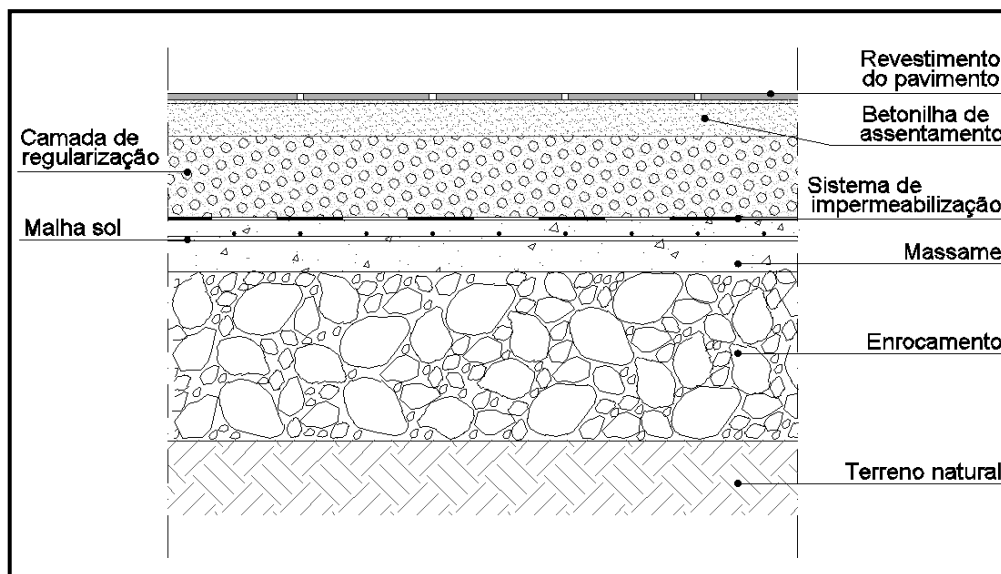


Figura 5.14 - Pormenor do pavimento térreo da cave, sobre o terreno, em corte

- **Pavimento sobre espaço não útil (garagem) (PAV01):** pavimento constituído por isolamento térmico em placas de poliestireno expandido extrudido (Anexo I.2), do tipo “Floormate 200-A“ com 4cm de espessura, laje maciça de betão armado com 16cm de espessura, camada de regularização de betonilha, com mistura de cortiça expandida ou betão leve à base de poliestireno expandido moldado e revestimento do pavimento em mosaico ou ladrilho cerâmico; pormenor construtivo na figura 5.15.

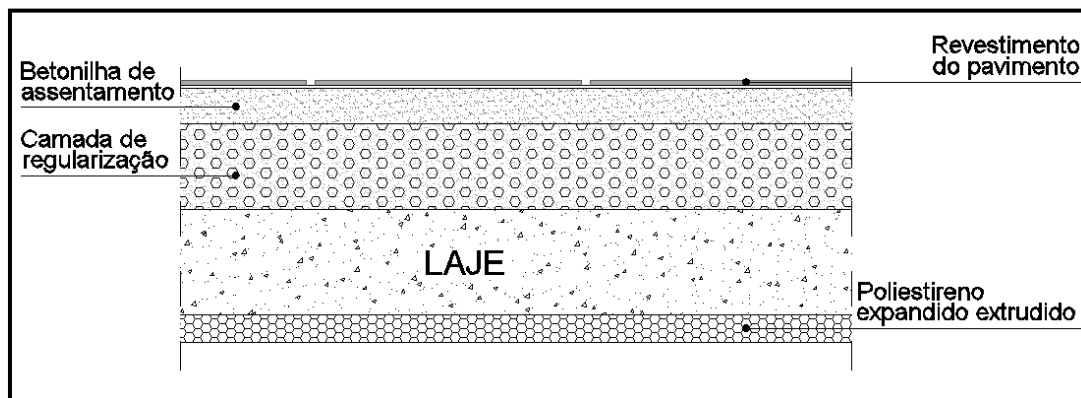


Figura 5.15 - Pormenor do pavimento sobre a garagem, em corte (PAV01)

- **Pavimento de piso sobre desvão não ventilado (PAV02):** pavimento constituído por laje aligeirada de blocos de betão normal de 15cm de espessura, sobre caixa de ar não ventilada, seguida de isolamento térmico onde serão utilizadas placas de poliestireno expandido extrudido (Anexo I.2), do tipo “Floormate-200-A“ com 4cm de espessura e camada de regularização de betonilha, com mistura de cortiça expandida ou betão leve à base de poliestireno expandido moldado e revestimento do pavimento em mosaico ou ladrilho cerâmico sobre uma camada de betonilha; pormenor construtivo na figura 5.16.

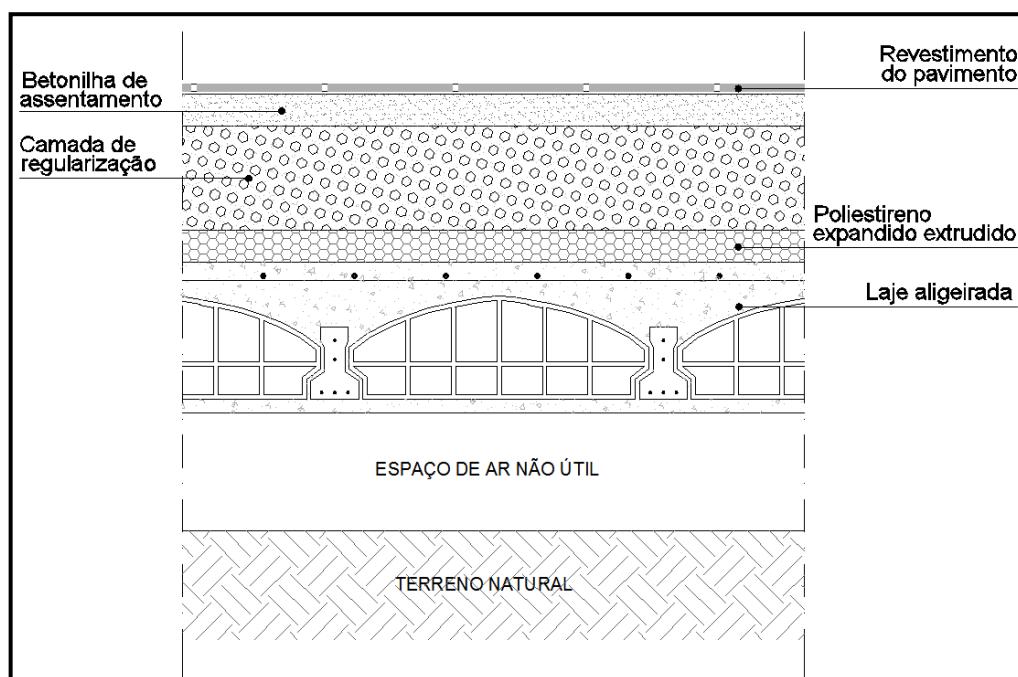


Figura 5.16 - Pormenor do pavimento do piso térreo, no rés do chão, em corte (PAV02)

- **Pavimento de piso:** pavimento constituído por laje aligeirada de blocos de betão normal, com 16cm de espessura, camada de regularização de betonilha, com mistura de cortiça expandida ou betão leve à base de poliestireno expandido moldado e revestimento do pavimento a ladrilho cerâmico ou com parquet em madeira de carvalho sobre uma camada de betonilha; pormenor construtivo na figura 5.17.

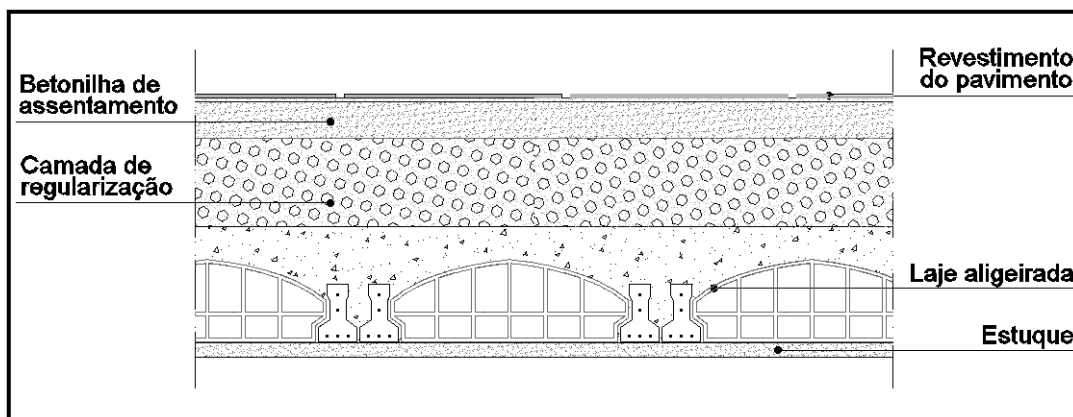


Figura 5.17 - Pormenor do pavimento do piso, em corte

- **Envidraçado (ENVtipo01):** vidro duplo tipo “CLIMALIT” ou equivalente de 4+12+5mm, com vidro exterior e interior “SGG Planilux”, e caixilharia com corte térmico em alumínio termolacado de cor clara, sem quadrícula, tendo como dispositivo de proteção solar cortinas interiores opacas na cor clara.
- **Envidraçado (ENVtipo02):** tijolo de vidro (Anexo I.4) sem caixilharia e sem qualquer tipo de dispositivo de proteção, existente apenas nos vãos da caixa de escada (V2 e V3).
- **Envidraçado (ENVtipo03):** tijolo de vidro (Anexo I.4) sem caixilharia e com dispositivo de proteção interior em cortina transparente na cor clara, existente apenas nos vãos do quarto3 (V5) e quarto4 (V12).

Nota: A cobertura COB01 e o pavimento PAV01, são constituídos por laje maciça, diferenciando-se das restantes soluções construtivas adotadas, devido a exigências do projeto estrutural de betão armado.

5.3 Análise térmica

5.3.1 Considerações gerais

A moradia em estudo está localizada em Lagoa, zona climática I1-V2 (Tabela 5.1) e encontra-se a uma distância de 0,77km, da costa (Figura 5.18), não havendo por isso necessidade de se proceder a correções.

Tabela 5.1 – Dados climáticos de referência do concelho de Lagoa [16, Quadro III.1]

Concelho	Zona climática de inverno	Número de graus-dias (GD) (°C.dias)	Duração da estação de aquecimento (meses)	Zona climática de verão	Temperatura externa do projecto (°C)	Amplitude térmica (°C)
Lagoa	I1	980	5	V2	32	12

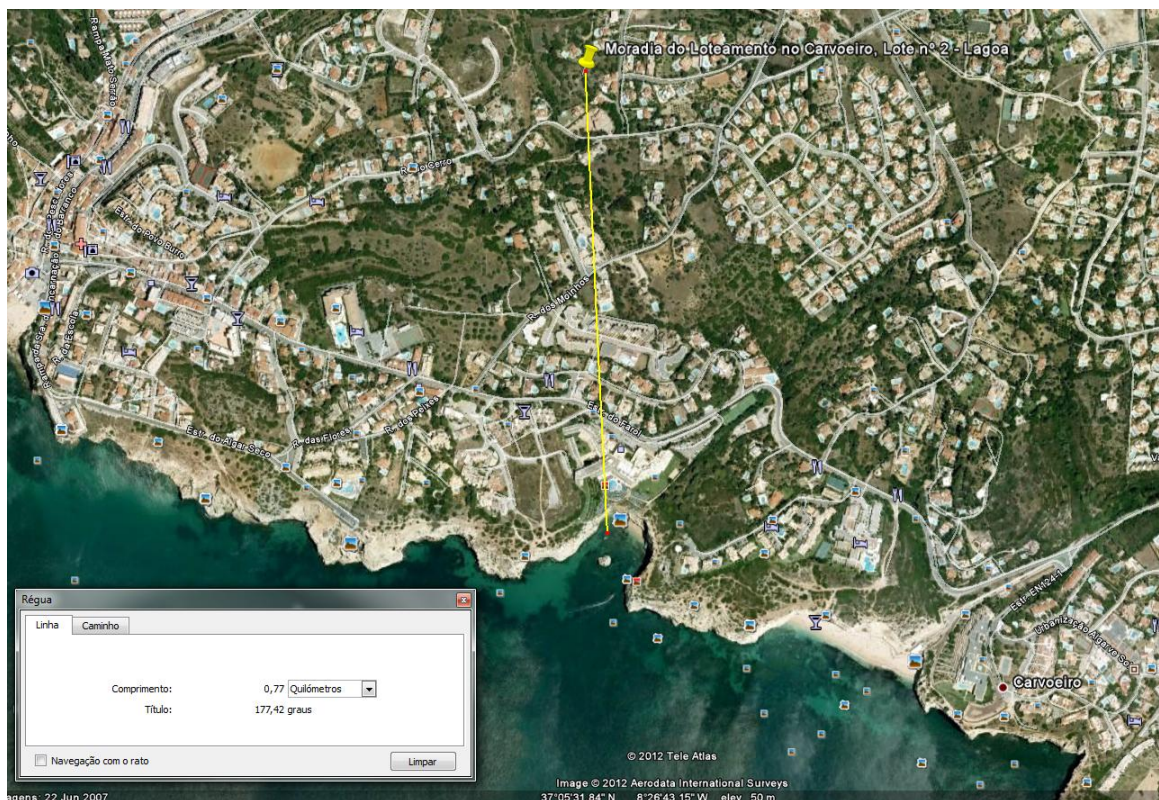


Figura 5.18 - Foto digital com a distância à costa (Google Earth)

O valor de referência da energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul, durante a estação de aquecimento, para uma zona de inverno II no Continente é de 108kwh/m².mês (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 - Energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul no inverno [16, Quadro III.8]

Zona de inverno	Energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento
	G_{sul} (kwh/m ² .mês)
II: Continente	108

Os valores médios da temperatura do ar exterior e da intensidade média da radiação solar durante a estação convencional de arrefecimento (junho a setembro), para uma zona de verão V2 Sul, estão enumerados na tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Valores médios da temperatura do ar exterior e da intensidade da radiação solar para o verão [13, Quadro III.9]

Zona de verão	θ_{atm}	N.	NE.	E.	SE.	S.	SW.	W.	NW.	Horiz.
V2 Sul do Tejo	23	200	340	470	460	380	460	470	340	820

Por se situar a uma distância inferior a 5km da costa, a moradia em estudo, está inserida numa região tipo B. As suas aberturas, apresentam uma altura acima do solo inferior a 10m e por se situar numa zona muito exposta, sem obstáculos que atenuem o vento, apresenta uma rugosidade do tipo III,. Deste modo, sabendo qual o tipo de região, tipo de rugosidade e altura das fachadas acima do solo, determina-se que, as fachadas da moradia se encontram na classe 3 de exposição ao vento (Tabela 5.4).






Tabela 5.4 - Referência à classe de exposição ao vento das fachadas da moradia em estudo [16, Quadro IV.2]

Altura a cima do solo	Região B
	III
Menor que 10 m	Exposição 3

A moradia está implantada a uma altitude de 50m, com uma orientação de fachada principal a Norte. Dispõe de coletores solares para preparação de AQS com apoio de um esquentador a gás tipo “WTD14 KME 31”, da marca “JUNKERS” ou equivalente (Anexo I.5).

Para a realização do estudo térmico da moradia foram definidas as envolventes exterior e interior de acordo com a tabela 5.5 e que se apresentam nas figuras 5.19 a 5.24.

Tabela 5.5 – Legenda da definição dos tipos de envolvente considerados [19]

Envolvente horizontal e vertical exterior	
Envolvente horizontal e vertical interior	
Envolvente sem requisitos (terreno)	
Pavimento identificado em planta	
Cobertura identificada em planta	

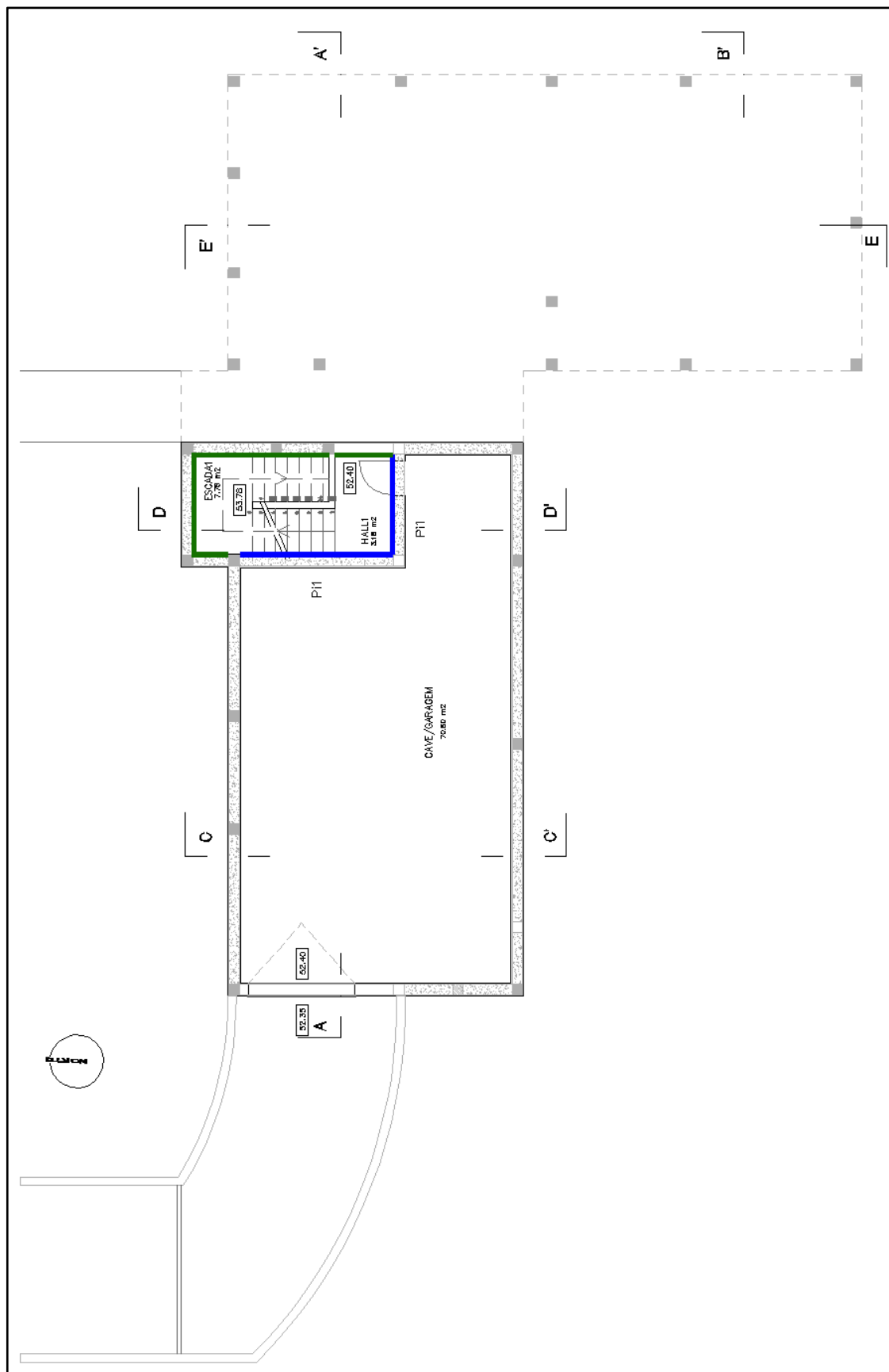


Figura 5.19 - Planta da cave com a delimitação das envolventes

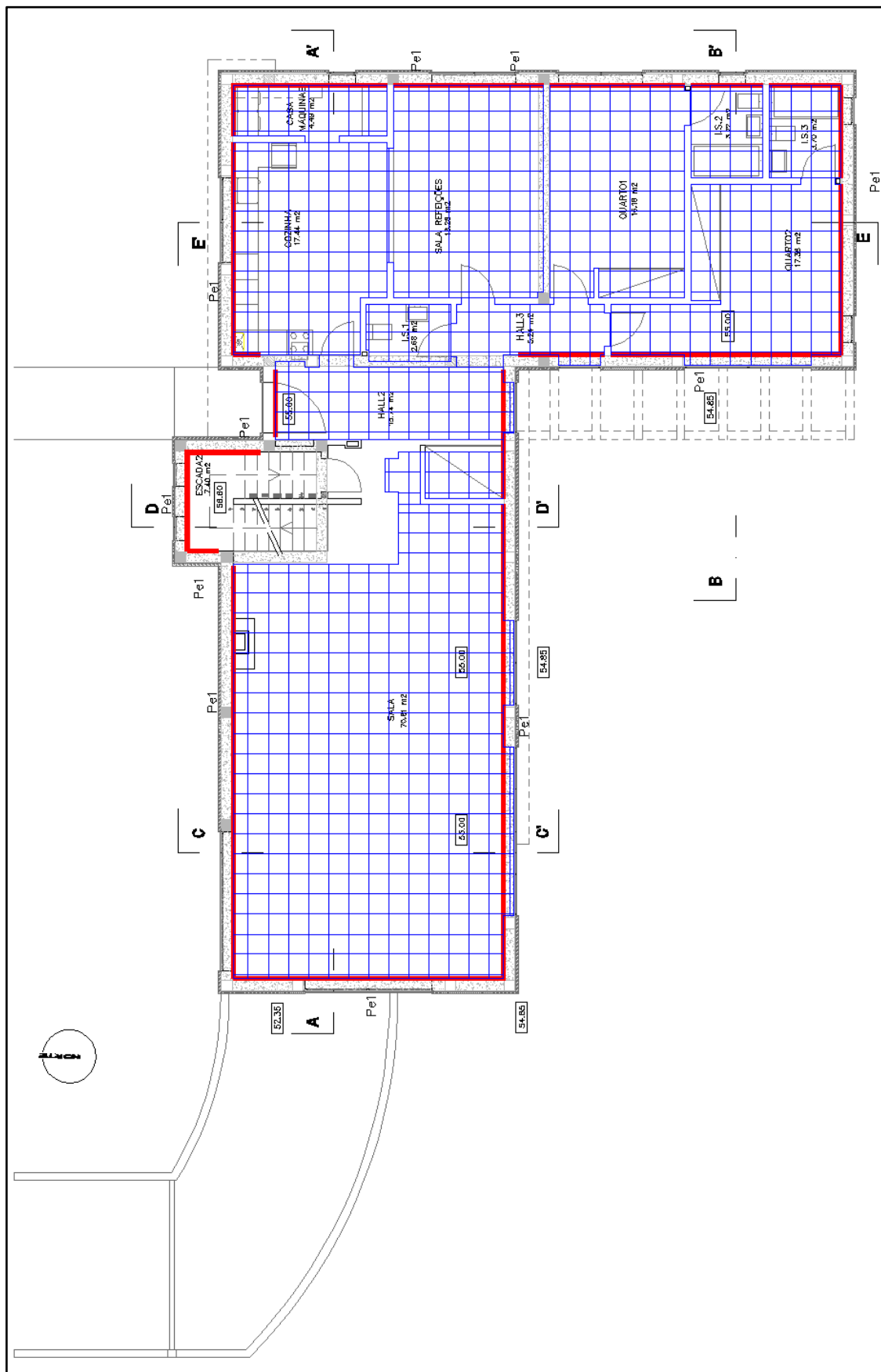


Figura 5.20 - Planta do rés do chão com a delimitação das envolventes

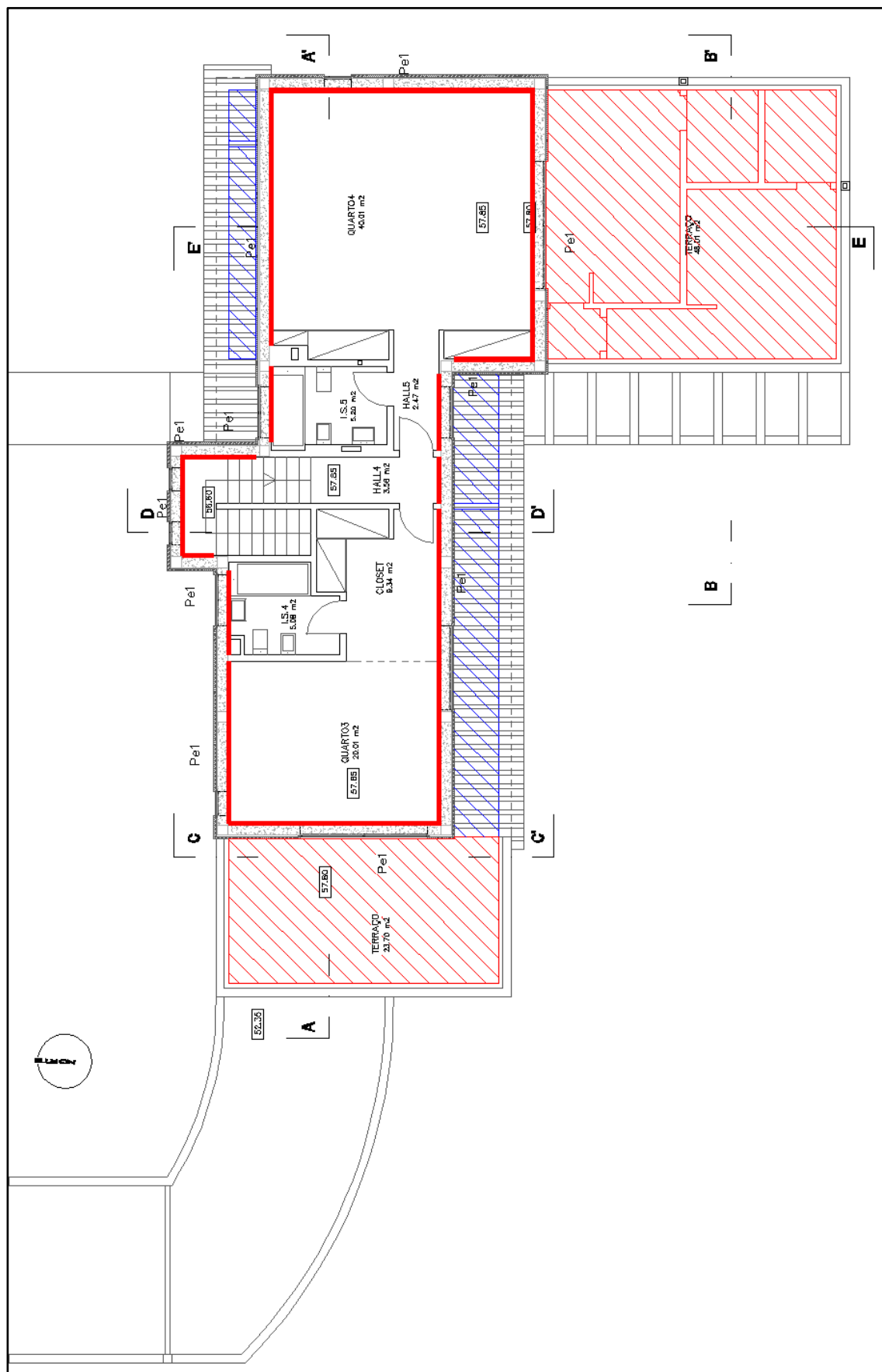


Figura 5.21 - Planta do 1º piso com a delimitação das envolventes

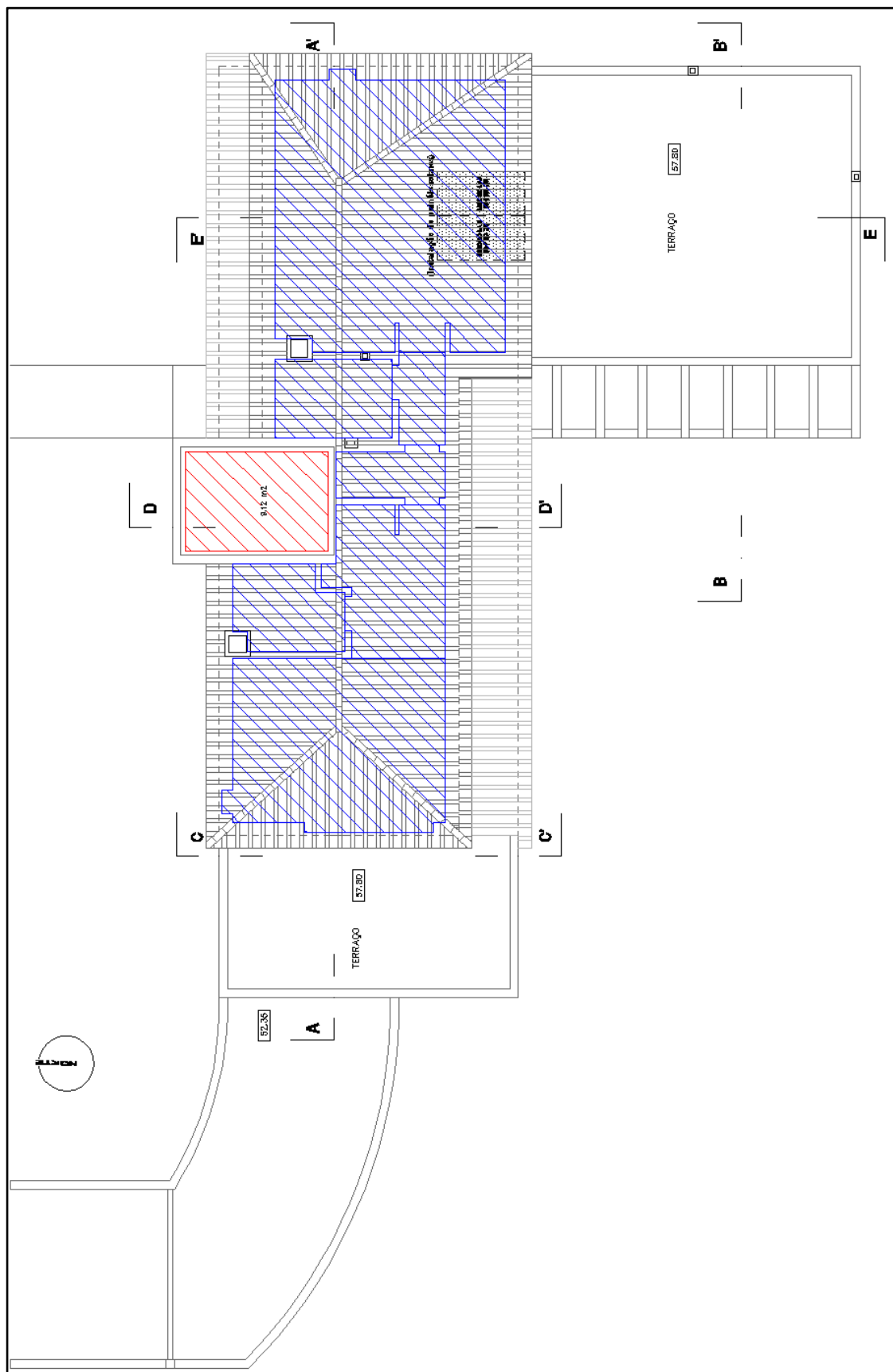


Figura 5.22 - Planta da cobertura com a delimitação das envolventes

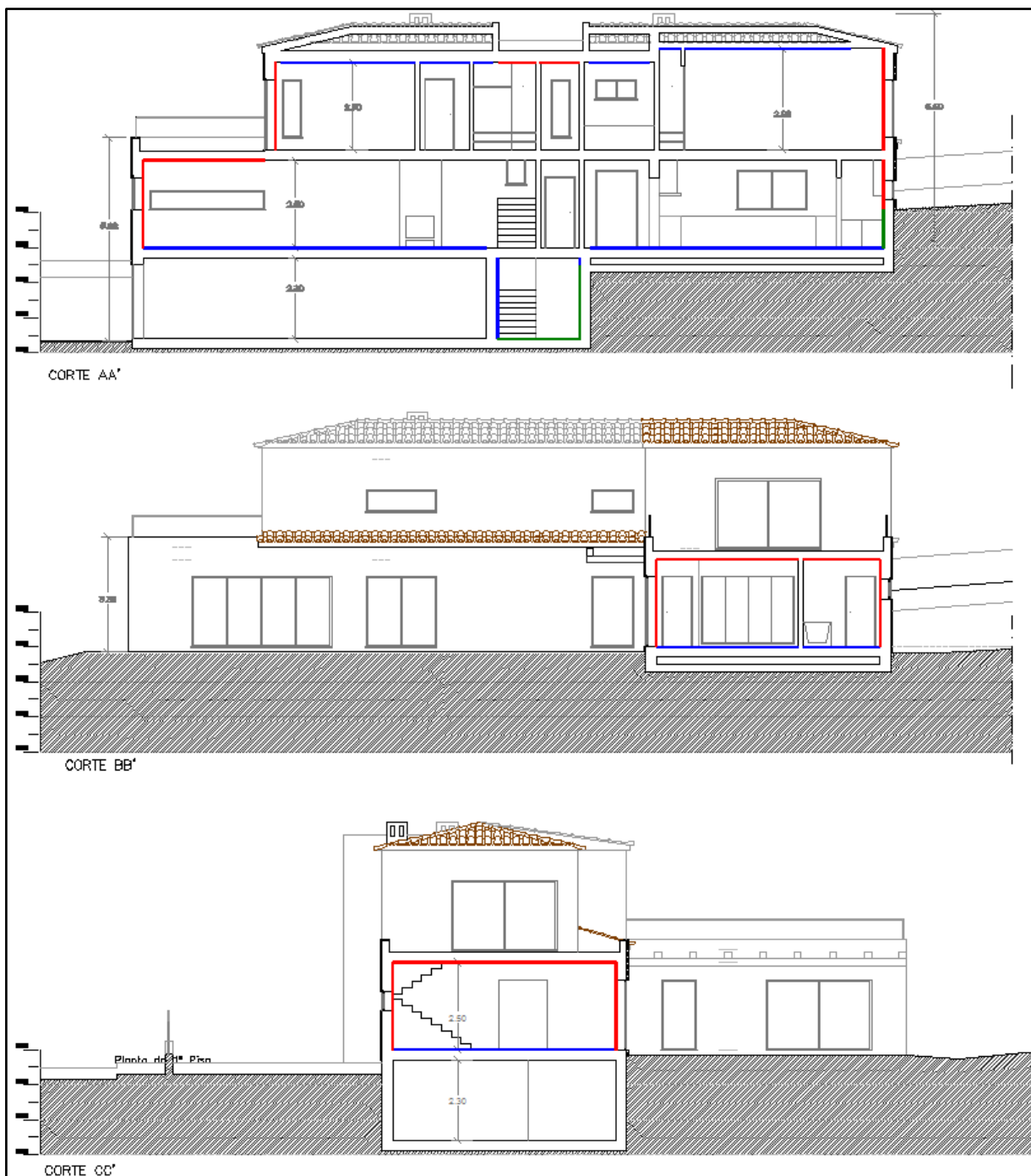


Figura 5.23 - Cortes AA' a CC', com a delimitação das envolventes



Figura 5.24 - Cortes DD' e EE', com a delimitação das envolventes

A soma das áreas úteis de todos os compartimentos da moradia é igual a 279,77m², tal como está sintetizado na tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Áreas úteis de cada compartimento da moradia

Áreas úteis por compartimento			
Compartimento	Área (m ²)	Compartimento	Área (m ²)
Hall1	3,19	I.S.2	3,72
Sala	70,81	I.S.3	3,70
Quarto1	16,18	Quarto3	20,01
I.S. 1	2,68	I.S.4	5,08
Hall2	15,74	Closet	9,34
Cozinha	17,44	Hall4	3,56
Casa das máquinas	4,49	I.S.5	5,20
Hall3	5,24	Quarto4	40,01
Sala de refeições	18,28	Hall5	2,47
Quarto2	17,38	Escada1	7,85
		Escada2	7,40

5.3.2 Coeficientes de transmissão térmica

Os coeficientes de transmissão térmica (U) foram determinados pela fórmula 3.1, para cada uma das soluções construtivas atrás definidas, estando os resultados expostos nas tabelas 5.7 a 5.18.

Tabela 5.7 - Coeficiente de transmissão térmica da parede de fachada (Pe1)

Constituição da Camada	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	Referência
Resistência Térmica Superficial (Rse - exterior) (Fluxo horizontal)			0,04	Página I.11, ITE50 (LNEC)
Revestimento exterior em sistema ETICS, com EPS	0,050	0,036	1,409	“Weber” (Anexo I.2)
Pano Interior de Bloco Térmico BT30 (1200kg/m ³)	0,300	0,44	0,682	Ensaio (Anexo I.1)
Reboco interior estuque projetado	0,010	0,56	0,02	Página I.6, ITE50 (LNEC)
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior) (Fluxo horizontal)			0,130	Página I.11, ITE50 (LNEC)
d_{total} (m) = 0,36			R_{total}(m².°C/W) = 2,28	Verifica
			U (W/m².°C) = 0,44	
Requisito mínimo de acordo com o Quadro IX.1, do RCCTE			U (W/m².°C) ≤ 1,80	

Tabela 5.8 - Coeficiente de transmissão térmica das pontes térmicas da parede de fachada (PTPe1)

Constituição da Camada	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	Referência
Resistência Térmica Superficial (Rse - exterior) (Fluxo horizontal)			0,04	Página I.11, ITE50 (LNEC)
Revestimento exterior em sistema ETICS, com EPS	0,050	0,036	1,409	“Weber” (Anexo I.2)
Pano Interior de Bloco Térmico BCP30 (1200kg/m ³)	0,025	0,44	0,057	Ensaio (Anexo I.1)
Betão armado (armadura < 1%(em volume))	0,250	2,00	0,125	Página I.5, ITE50 (LNEC)
Pano Interior de Bloco Térmico BCP30 (1200kg/m ³)	0,025	0,44	0,057	Ensaio (Anexo I.1)
Reboco interior estuque projetado	0,020	0,56	0,04	Página I.6, ITE50 (LNEC)
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior) (Fluxo horizontal)			0,13	Página I.11, ITE50 (LNEC)
d_{total} (m) = 0,37			R_{total}(m².°C/W) = 1,85	Verifica
			U (W/m².°C) = 0,54	
Requisito mínimo de acordo com o Quadro IX.1, do RCCTE			U (W/m².°C) ≤ 1,80	
U ≤ 2xU_{zona corrente Pe1}			U (W/m².°C) ≤ 0,88	

Tabela 5.9 - Coeficiente de transmissão térmica da parede interior (Pi1)

Constituição da Camada	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	Referência
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior) (Fluxo horizontal)			0,130	Página I.11, ITE50 (LNEC)
Revestimento interior (Reboco tradicional)	0,020	1,300	0,015	Página I.7, ITE50 (LNEC)
Pano Interior de bloco BBE 28	0,280	0,44	0,636	Ensaio (Anexo I.1)
Reboco interior estuque projetado	0,010	0,56	0,02	Página I.6, ITE50 (LNEC)
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior) (Fluxo horizontal)			0,130	Página I.11, ITE50 (LNEC)
dtotal (m) = 0,31			Rtotal(m².°C/W) = 0,93	Verifica
			U (W/m².°C) = 1,08	
Requisito mínimo de acordo com o Quadro IX.1, do RCCTE			U (W/m².°C) < 2,00	

Tabela 5.10 - Coeficiente de transmissão térmica das pontes térmicas da parede interior (PTPi1)

Constituição da Camada	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	Referência
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior) (Fluxo horizontal)			0,130	Página I.11, ITE50 (LNEC)
Revestimento exterior em sistema ETICS, com EPS	0,050	0,036	1,409	“Weber” (Anexo I.2)
Pano Interior de Bloco Térmico BCP30 (1200kg/m ³)	0,025	0,44	0,057	Ensaio (Anexo I.1)
Betão armado (armadura < 1%(em volume))	0,250	2,00	0,125	Página I.5, ITE50 (LNEC)
Pano Interior de Bloco Térmico BCP30 (1200kg/m ³)	0,025	0,44	0,057	Ensaio (Anexo I.1)
Reboco interior estuque projetado	0,010	0,56	0,02	Página I.6, ITE50 (LNEC)
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior) (Fluxo horizontal)			0,13	Página I.11, ITE50 (LNEC)
dtotal (m) = 0,36			Rtotal(m².°C/W) = 1,93	Verifica
			U (W/m².°C) = 0,52	
Requisito mínimo de acordo com o Quadro IX.1, do RCCTE			U (W/m².°C) ≤ 2,00	
U ≤ 2xU_{zona corrente Pi1}			U (W/m².°C) ≤ 2,15	

Tabela 5.11 - Coeficiente de transmissão térmica da porta interior em contacto com espaço não útil (PO01)

Constituição da Camada	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	Referência
Resistência Térmica Superficial (Rse - local não aquecido) (Fluxo horizontal)			0,13	Página I.11, ITE50 (LNEC)
Madeira densa	0,04	0,230	0,17	Página I.7, ITE50 (LNEC)
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior) (Fluxo horizontal)			0,13	Página I.11, ITE50 (LNEC)
dtotal (m) = 0,04			Rtotal(m².°C/W)= 0,43	Verifica
			U (W/m².°C) = 2,30	

Tabela 5.12 - Coeficiente de transmissão térmica da porta exterior (PO02)

Constituição da Camada	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	Referência
Resistência Térmica Superficial (Rse - exterior) (Fluxo horizontal)			0,04	Página I.11, ITE50 (LNEC)
Alumínio	0,002	230,00	0,00	Página I.9, ITE50 (LNEC)
Poliuretano injectado a uma densidade de 90 kg/m3	0,02	0,042	0,48	Página I.3, ITE50 (LNEC)
Alumínio	0,002	230,00	0,00	Página I.9, ITE50 (LNEC)
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior) (Fluxo horizontal)			0,13	Página I.11, ITE50 (LNEC)
d_{total} (m) = 0,02			R_{total}(m².°C/W) = 0,65	
			U (W/m².°C) = 1,55	

Tabela 5.13 - Coeficiente de transmissão térmica da cobertura em terraço acessível (COB01)

Fluxo Ascendente - inverno

Constituição da Camada	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	Referência
Resistência Térmica Superficial (Rse - exterior) (Fluxo vertical ascendente)			0,04	Página I.11, ITE50 (LNEC)
Cerâmica vidrada / Grés cerâmico	0,01	1,30	0,01	Página I.10, ITE50 (LNEC)
Betonilha de assentamento	0,05	1,30	0,04	Página I.7, ITE50 (LNEC)
Membrana flexível impregnada com betume	0,007	0,23	0,03	Página I.9, ITE50 (LNEC)
Argamassa bastarda	0,01	0,80	0,01	Página I.7, ITE50 (LNEC)
Camada de forma em betão de inertes de argila expandida	0,10	0,85	0,12	Página I.5, ITE50 (LNEC)
Poliestireno expandido extrudido em placas (XPS) - tipo Roofmate SL-A“ com 6 cm	0,06	0,035	1,71	“Dow” (Anexo I.2)
Betão armado (armadura < 1%(em volume))	0,160	2,00	0,08	Página I.5, ITE50 (LNEC)
Reboco interior estuque projetado	0,015	0,56	0,03	Página I.6, ITE50 (LNEC)
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior) (Fluxo vertical ascendente)			0,10	Página I.11, ITE50 (LNEC)
d_{total} (m) = 0,41			R_{total}(m².°C/W) = 2,17	
			U (W/m².°C) = 0,46	
Requisito mínimo de acordo com o Quadro IX.1, do RCCTE			U (W/m².°C) ≤ 1,25	Verifica

Tabela 5.14 - Coeficiente de transmissão térmica da cobertura em terraço acessível (COB02)

Fluxo Ascendente - inverno

Constituição da Camada	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	Referência
Resistência Térmica Superficial (Rse - exterior) (Fluxo vertical ascendente)			0,04	Página I.11, ITE50 (LNEC)
Cerâmica vidrada / Grés cerâmico	0,01	1,30	0,01	Página I.10, ITE50 (LNEC)
Betonilha de assentamento	0,05	1,30	0,04	Página I.7, ITE50 (LNEC)
Membrana flexível impregnada com betume	0,007	0,23	0,03	Página I.9, ITE50 (LNEC)
Argamassa bastarda	0,01	0,80	0,01	Página I.7, ITE50 (LNEC)
Camada de forma em betão de inertes de argila expandida	0,10	0,85	0,12	Página I.5, ITE50 (LNEC)
Poliestireno expandido extrudido em placas (XPS) - tipo Roofmate SL-A ^{cc} com 6 cm	0,06	0,035	1,71	“Dow” (Anexo I.2)
Pavimento aligeirado em Blocos de betão B48.12 (Fluxo ascendente)	0,160		0,13	Página I.15, ITE50 (LNEC)
Reboco interior estuque projetado	0,015	0,56	0,03	Página I.6, ITE50 (LNEC)
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior) (Fluxo vertical ascendente)			0,10	Página I.11, ITE50 (LNEC)
dtotal (m) = 0,41			Rtotal(m².°C/W) = 2,22	Verifica
			U (W/m².°C) = 0,45	
Requisito mínimo de acordo com o Quadro IX.1, do RCCTE			U (W/m².°C) ≤ 1,25	

Tabela 5.15 - Coeficiente de transmissão térmica da cobertura em terraço não acessível (COB03)

Fluxo Ascendente - inverno

Constituição da Camada	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	Referência
Resistência Térmica Superficial (Rse - exterior) (Fluxo vertical ascendente)			0,04	Página I.11, ITE50 (LNEC)
Seixo rolado ou brita	0,05	2,00	0,03	Página I.9, ITE50 (LNEC)
Membrana flexível impregnada com betume	0,007	0,23	0,03	Página I.9, ITE50 (LNEC)
Argamassa bastarda	0,01	0,80	0,01	Página I.7, ITE50 (LNEC)
Camada de forma em betão de inertes de argila expandida	0,10	0,85	0,12	Página I.5, ITE50 (LNEC)
Poliestireno expandido extrudido em placas (XPS) - tipo Roofmate SL-A ^{cc} com 6 cm	0,06	0,035	1,71	“Dow” (Anexo I.2)
Pavimento aligeirado em Blocos de betão B48.12 (Fluxo ascendente)	0,160		0,13	Página I.15, ITE50 (LNEC)
Reboco interior estuque projetado	0,015	0,56	0,03	Página I.6, ITE50 (LNEC)
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior) (Fluxo vertical ascendente)			0,10	Página I.11, ITE50 (LNEC)
dtotal (m) = 0,40			Rtotal(m².°C/W) = 2,20	Verifica
			U (W/m².°C) = 0,46	
Requisito mínimo de acordo com o Quadro IX.1, do RCCTE			U (W/m².°C) ≤ 1,25	

Tabela 5.16 - Coeficiente de transmissão térmica da cobertura sob espaço não útil (LAJ01 e LAJ02)

Fluxo Ascendente - inverno

Constituição da Camada	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	Referência
Resistência Térmica Superficial (Rse - local não aquecido) (Fluxo vertical ascendente)			0,10	Página I.11, ITE50 (LNEC)
Poliestireno expandido extrudido em placas (XPS) - tipo Roofmate SL-A“ com 6 cm	0,06	0,035	1,71	“Dow” (Anexo I.2)
Pavimento aligeirado em Blocos de betão B48.12 (Fluxo ascendente)	0,160		0,13	Página I.15, ITE50 (LNEC)
Reboco interior estuque projetado	0,015	0,56	0,03	Página I.6, ITE50 (LNEC)
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior) (Fluxo vertical ascendente)			0,10	Página I.11, ITE50 (LNEC)
dtotal (m) = 0,24			Rtotal(m².°C/W) = 2,07	Verifica
			U (W/m².°C) = 0,48	
Requisito mínimo de acordo com o Quadro IX.1, do RCCTE			U (W/m².°C) ≤ 1,65	

Tabela 5.17 - Coeficiente de transmissão térmica da laje de pavimento sobre espaço não útil (PAV01)

Fluxo Descendente - inverno

Constituição da Camada	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	Referência
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior) (Fluxo vertical descendente)			0,17	Página I.11, ITE50 (LNEC)
Cerâmica vidrada / Grés cerâmico	0,01	1,30	0,01	Página I.10, ITE50 (LNEC)
Betonilha de assentamento	0,05	1,30	0,04	Página I.7, ITE50 (LNEC)
Camada de enchimento ou regularização	0,10	0,70	0,14	Página I.5, ITE50 (LNEC)
Betão armado (armadura < 1%(em volume))	0,160	2,00	0,08	Página I. 5, ITE50 (LNEC)
Poliestireno expandido extrudido em placas (XPS) - tipo Floormate 200-A 4cm	0,04	0,035	1,14	“Dow” (Anexo I.2)
Resistência Térmica Superficial (Rse - local não aquecido) (Fluxo vertical descendente)			0,17	Página I.11, ITE50 (LNEC)
dtotal (m) = 0,36			Rtotal(m².°C/W) = 1,75	Verifica
			U (W/m².°C) = 0,57	

Tabela 5.18 - Coeficiente de transmissão térmica da laje de pavimento sobre espaço não útil (PAV02)

Fluxo Descendente - inverno

Constituição da Camada	d (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	Referência
Resistência Térmica Superficial (Rsi - interior) (Fluxo vertical descendente)			0,17	Página I.11, ITE50 (LNEC)
Cerâmica vidrada / Grés cerâmico	0,01	1,30	0,01	Página I.10, ITE50 (LNEC)
Betonilha de assentamento	0,05	1,30	0,04	Página I.7, ITE50 (LNEC)
Camada de enchimento ou regularização	0,10	0,70	0,14	Página I.5, ITE50 (LNEC)
Poliestireno expandido extrudido em placas (XPS) - tipo Floormate 200-A 4cm	0,04	0,035	1,14	“Dow” (Anexo I.2)
Pavimento aligeirado em Blocos de betão B48.12 (Fluxo descendente)	0,15		0,14	Página I.15, ITE50 (LNEC)
Resistência Térmica Superficial (Rse - local não aquecido) (Fluxo vertical descendente)			0,17	Página I.11, ITE50 (LNEC)
d_{total} (m) = 0,35			R_{total}(m².°C/W) = 1,81	
			U (W/m².°C) = 0,55	

Na tabela 5.19 encontram-se expostos os valores dos coeficientes de transmissão dos envidraçados considerados na análise.

Tabela 5.19 - Coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados (ENVtipo01, ENVtipo02 e ENVtipo03)

Tipo de envidraçado	U (W/m ² .°C)	Referência
ENVtipo01	3,30	ITE50 (LNEC)
ENVtipo02	1,80	(Anexo I.4)
ENVtipo03	1,80	(Anexo I.4)

5.3.3 Inércia térmica

A inércia térmica foi calculada através da fórmula 3.2. A tabela 5.20 sintetiza o cálculo da inércia térmica da moradia.

Tabela 5.20 – Classificação da inércia térmica da moradia

Elemento da Construção	m _t (kg/m ²)	M _{si} (kg/m ²)	S _i (m ²)	Fator de Correção r	M _{si} x S _i x r (kg)
Paredes exteriores	175,00	150,00	205,66	1	30849,30
Paredes divisórias interiores	347,89	300,00	107,64	1	32292,90
Parede separação garagem	182,50	150,00	10,75	1	1611,94
Laje de piso sobre local não aquecido	407,87	150,00	69,28	1	10392,00
Laje de piso intermédio	437,87	300,00	175,66	1	52698,00
Laje de cobertura em terraço	437,87	150,00	72,48	1	10872,00
Laje horizontal de cobertura inclinada	437,87	150,00	85,67	1	12850,50
TOTAL =					151566,64
					/
Área Útil de Pavimento (Ap)					279,77
					=
Massa Superficial Útil por m² de área de pavimento, It (kg/m²)					541,75

Como: $I_t = 541,75\text{kg/m}^2 > 400\text{kg/m}^2$, a inércia térmica é forte.

5.3.4 Fator solar dos vãos envidraçados

ENVtipo01:

- $g_{\perp\text{vidro}} = 0,75$ (RCCTE, Anexo IV, Tabela IV.4.1)
- $g_{\perp 100\% \text{ activo}} = 0,37 < 0,56$ (RCCTE, Anexo V, Quadro V.4) < Fator solar máximo admissível de acordo com a inércia térmica do edifício e a zona climática (RCCTE, Anexo IX, Quadro IX.2) (Proteção solar em cortina interior de cor clara)
- $g_{\perp \text{inverno}} = 0,63$ (RCCTE, n°4.3.2, Anexo IV)
- $g_{\perp \text{verão}} = 30\% g_{\perp \text{vidro}} + 70\% g_{\perp 100\% \text{ activo}} = 0,30 \times 0,75 + 0,70 \times 0,37 = 0,484$

ENVtipo02:

- $g_{\perp \text{vidro}} = 0,57$ (RCCTE, Anexo IV, Tabela IV.4.1)
- $g_{\perp \text{inverno}} = 0,57 < 0,63$ (como o $g_{\perp \text{vidro}}$ é inferior a 0.63, utiliza-se o $g_{\perp \text{vidro}}$)
- $g_{\perp \text{verão}} = 0,57$ (sendo os vãos localizado a Norte, não têm exigência regulamentar, estando isto, de acordo o ponto 3 do anexo IX, do RCCTE)

ENVtipo03:

- $g_{\perp \text{vidro}} = 0,57$ (RCCTE, Anexo IV, Tabela IV.4.1)
- $g_{\perp 100\% \text{ activo}} = 0,39 < 0,56$ (RCCTE, Anexo V, Quadro V.4) < Fator solar máximo admissível de acordo com a inércia térmica do edifício e a zona climática (RCCTE, Anexo IX, Quadro IX.2) (Proteção solar em cortina interior transparente de cor clara)
- $g_{\perp \text{inverno}} = 0,57 < 0,63$ (como o $g_{\perp \text{vidro}}$ é inferior a 0.63, utiliza-se o $g_{\perp \text{vidro}}$)
- $g_{\perp \text{verão}} = 30\% g_{\perp \text{vidro}} + 70\% g_{\perp 100\% \text{ activo}} = 0,30 \times 0,57 + 0,70 \times 0,39 = 0,444$

5.3.5 Identificação dos espaços não úteis

Na presente moradia, foram identificados 3 espaços não úteis, cuja determinação do valor de τ , consta da tabela 5.21.

Tabela 5.21 – Tipos de espaços não úteis existentes na moradia em estudo

Tipo de espaço não útil	Valor de Ai (m ²)	Valor de Au (m ²)	Ai/Au	Valor de τ (2)
Desvão não ventilado e não acessível (Cobertura do 1º piso) (1)	85,67	75,24	entre 1 e 10	0,6
Desvão não ventilado (Pavimento do rés do chão que não se encontra sobre a cave) (1)	98,94	0,00	maior que 10	0,4
Garagem privada	82,97	7,14	maior que 10	0,3

Notas: (1) RCCTE, anexo VII, nº1.3

(2) Valores obtidos segundo a tabela IV.1 do anexo IV, referente ao RCCTE.

5.3.6 Ventilação

A habitação, cuja ventilação não cumpre a NP 1037-1, tem ventilação natural sem dispositivos de admissão de ar nas fachadas, possuindo caixilharia sem classificação e portas exteriores bem vedadas, por aplicação de borrachas em todo o seu perímetro. Apresenta uma área de vãos envidraçados superior a 15% da área útil de pavimento e altura do ponto médio da fachada da fração em relação ao solo menor que 10m.

Tal como já foi referido, a moradia encontra-se numa zona com classe de exposição ao vento das fachadas de 3, sendo o valor de Rph, determinado pelo quadro IV.1 do RCCTE, de **1,05**.

5.3.7 Necessidades nominais anuais de energia útil

As verificações regulamentares são obtidas através do preenchimento das folhas de cálculo que se encontram no anexo III, estando estas de acordo com as que se encontram no RCCTE.

Na verificação da satisfação das exigências do regulamento chegou-se à seguinte conclusão:

$$N_{ic} = 30,11 \leq N_i = 49,22 \text{ (kw.h/m}^2\text{.ano) (interno)}$$

$$N_{vc} = 21,14 \leq N_v = 32,00 \text{ (kw.h/m}^2\text{.ano) (verão)}$$

5.3.8 Necessidades de energia para água quente sanitária

A contribuição do sistema de coletores solares para o aquecimento das águas (E_{solar}), foi determinada utilizando o programa SOLTERM do INETI, sendo considerados dois cálculos comparativos conforme a tabela 5.22, um para coletor padrão tendo por base 1m² de coletor por ocupante previsto e outro para um coletor certificado de acordo com as normas e legislação em vigor (cálculos apresentados no Anexo III.2). Para ambos os cálculos, é considerada a instalação na cobertura com uma inclinação de 32° a Sul e apoio de um esquentador a gás tipo “WTD14

KME 31”, da marca “JUNKERS” ou equivalente, de potência 23,60kw e eficiência de conversão de 0,75 (Anexo I.5).

Tabela 5.22 – E_{solar}

Tipo de coletor	Área (m ²)	Coletores (unidade)	E_{solar} (kw.h)
Padrão	5	5	2173
Immosolar – IS PRO 2H	4	2	2364

Optou-se pelo coletor solar da marca “Immosolar – IS PRO 2H” (Anexo I.6).

As necessidades de energia para água quente sanitária, foram calculadas através das fórmulas 3.7 a 3.10, pelo que se obtiveram os valores apresentados na tabela 5.23.

Tabela 5.23 – Necessidades de energia para AQS

Qa	3820,64kw.h/ano
Nac	8,01kw.h/m ² .ano
Na	21,14kw.h/m ² .ano

$$Nac = 8,01 < Na = 21,14 \text{ (kw.h/m}^2\text{.ano)}$$

Para os valores de cálculo apresentados na tabela 5.23, foram considerados os parâmetros sintetizados na tabela 5.24.

Tabela 5.24 – Parâmetros considerados

Habitantes (n°)	5
M_{AQS} (litros)	40 x 5 = 200
ΔT (°C)	60 – 15 = 45
η_d (dias)	365
E_{solar} (kw.h)	2364
E_{ren} (kw.h)	0
η_a	0,75 – 0,10 = 0,65
A_p (m²)	279,77

De acordo com o ponto 3 do anexo VI do Decreto-lei nº 80/2006 de 4 de Abril, como as redes de distribuição de água quente internas à fração autónoma não são isoladas, temos que diminuir o valor η_a de 0,10, logo $\eta_a = 0,65$.

5.3.9 Necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária

As necessidades globais de energia primária foram calculadas recorrendo às formulas 3.11 e 3.12, tendo-se obtido os valores expostos na tabela 5.25.

Tabela 5.25 – Necessidades globais de energia primária

N_{tc}	1,77kw.h/m ² .ano
N_t	3,58kw.h/m ² .ano

$$N_{tc} = 1,77 < N_t = 3,58 \text{ (kgep/m}^2\text{.ano)}$$

Não estando previsto qualquer equipamento AVAC considerou-se, para eficiência nominal (η_i) dos equipamentos utilizados para sistemas de aquecimento a resistência elétrica, o valor de 1 e para os sistemas de arrefecimento através de máquina frigorífica com COP3, a eficiência nominal (η_v) de 3. Para fatores de conversão, adotaram-se os valores de 0,290 (eletricidade) e de 0,086 (combustíveis sólidos, líquidos e gasosos).

5.3.10 Classe energética final

A determinação da classe de eficiência energética é calculada, automaticamente ao preencher a Declaração de Conformidade Regulamentar ou o Certificado Energético no sistema da ADENE, a partir da expressão 5.1, com as unidades em kgep/m².ano:

$$R = \left(\frac{N_{tc}}{N_t} \right) \quad (5.1)$$

Tendo-se obtido $R = 0,49 \text{ kgep/m}^2\text{.ano}$, em que de acordo com a escala da tabela 5.26, a moradia em estudo tem uma classe energética **A**.

Tabela 5.26 – Tabela de classificação energética [22]

Edifícios Existentes	Edifícios Novos	Classe energética	R
		A+	$R \leq 0,25$
		A	$0,25 < R \leq 0,50$
		B	$0,50 < R \leq 0,75$
		B-	$0,75 < R \leq 1,00$
		C	$1,00 < R \leq 1,50$
		D	$1,50 < R \leq 2,00$
		E	$2,00 < R \leq 2,50$
		F	$2,50 < R \leq 3,00$
		G	$3,00 < R$

5.3.11 Emissões de dióxido de carbono

As emissões anuais de gases de efeito de estufa associadas à energia primária para climatização e águas quentes, são calculadas pela expressão 5.2, com as unidades em toneladas de CO₂ equivalentes por ano.

$$\boxed{\text{Ntc. } 0.0012 \cdot A_p}$$

(5.2)

Este valor traduz a quantidade anual estimada de gases de efeito de estufa que podem ser libertados em resultado da conversão de uma quantidade de energia primária igual às respetivas necessidades anuais globais estimadas para o edifício, usando o fator de conversão de 0,0012 toneladas equivalentes de CO₂ por kgep [19].

Para este caso de estudo obteve-se o valor de 0,59 toneladas de CO₂ equivalentes por ano.

5.4 Análise acústica

5.4.1 Considerações gerais

O conforto acústico da moradia em estudo, foi realizado mediante a análise do comportamento dos materiais e das soluções construtivas descritas no capítulo 5.2.

5.4.2 Classificação da zona em estudo

Como não existem zonas classificadas na Câmara Municipal de Lagoa, considera-se a zona em estudo, zona mista.

5.4.3 Requisitos acústicos

A moradia em estudo enquadra-se na tipificação inserida em edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras (artigo 5º).

Como se trata de uma moradia isolada apenas com uso habitacional, os requisitos acústicos a serem cumpridos são, o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar ($D_{2m,nT,w} \geq 33\text{dB}$).

Para o efeito, foram analisadas as cinco seguintes fachadas, sendo as que apresentam maior probabilidade de carências de isolamento sonoro, visto serem estes os elementos mais permeáveis a nível acústico. Neste caso específico, verificam-se as seguintes paredes:

- parede este do quarto1;
- parede oeste do quarto2;
- parede oeste do quarto3;
- parede sul do quarto4;
- parede sul da sala.

O cálculo do índice de redução sonora (R_w) de cada elemento constituinte da fachada, foi efetuado pelo Método Simplificado, de acordo com o diagrama da figura 4.1.

Consideram-se como elementos constituintes da fachada, uma parede de pano simples composta por blocos térmicos em betão leve de agregado de argila expandida, com 30cm de espessura, reboco interior em estuque de 1,0cm e isolamento térmico pelo exterior em ETICS “Weber.Therm Classic”, com 5cm de espessura (elementos pesados ($m > 100 \text{ kg/m}^2$)) (Tabela 5.28) e janelas de vidro duplo de (4+12+5mm), sem material absorvente na caixa e com caixilharia de alumínio sem classificação (Tabela 5.29).

Para o cálculo da massa da parede, considerou-se a massa do ETICS por este apresentar na sua constituição argamassas e outros elementos adicionais ao EPS.

Tabela 5.27 – Cálculo da massa da parede exterior

Elementos constituintes	Massa volúmica (kg/m^3)	Espessura (m)	Massa superficial (kg/m^2)	Massa superficial total (kg/m^2)	$R_{w(\text{simples})}$ (dB)
ETICS “Weber.Therm Classic”	19	0,05	$(19 \times 0,05) = 0,95$	176	44 (**)
Bloco térmico (*)	-	0,30	160		
Estuque na face interior	1500	0,01	$(1500 \times 0,01) = 15$		

Notas:

(*) Valor obtido através da ficha técnica do bloco térmico, no anexo I.

(**) Valor obtido consultando o ábaco da figura 4.1, para $R_{w(\text{simples})}$.

O cálculo do índice de redução sonora para envidraçados (R_w), foi efetuado através do diagrama da figura 4.2.

Na tabela 5.29 está exposto o cálculo da espessura do vidro, resultante da classificação da caixilharia e da estimação do valor do índice de redução sonora do envidraçado.

Tabela 5.28 – R_w do envidraçado

Elemento constituinte	Espessura (m)	Classificação da caixilharia	$R_{w(\text{duplo})}$ (dB)
Vidro	$(0,004 + 0,005) = 0,009$	Sem classificação	35

Para o cálculo do isolamento sonoro de condução aérea, foram aplicadas as fórmulas 4.2 e 4.3, assumindo para T_0 um valor de 0,5, por se tratar de um edifício de habitação.

Os resultados dos cálculos encontram-se sintetizados nas tabelas 5.30 a 5.39.

➤ **Parede este do quarto1:**

Tabela 5.29 – Cálculo da redução sonora aparente (Quarto1)

Área de fachada (m ²)		7,07		
Elementos	Si (m ²)	Rw (dB)	$S_i 10^{(-R_{wi}/10)}$	R _{wGlobal} (dB)
Paredes	4,87	44	194,0E-6	39,00
Janelas	2,20	35	695,7E-6	

Tabela 5.30 – Cálculo do isolamento sonoro de condução aérea (Quarto1)

Volume (m ³)	T ₀	D _{2m,nT,w} (dB)
40,53	0,50	41,64

Neste caso a área translúcida não é superior a 60% do elemento de fachada em análise, então tem-se $D_{2m,nT,w} = 41\text{dB} \geq 33\text{dB}$.

➤ **Parede oeste do quarto2:**

Tabela 5.31 – Cálculo da redução sonora aparente (Quarto2)

Área de fachada (m ²)		12,04		
Elementos	Si (m ²)	Rw (dB)	$S_i 10^{(-R_{wi}/10)}$	R _{wGlobal} (dB)
Paredes	6,04	44	240,5E-6	37,51
Janelas	6,00	35	1,9E-3	

Tabela 5.32 – Cálculo do isolamento sonoro de condução aérea (Quarto2)

Volume (m ³)	T ₀	D _{2m,nT,w} (dB)	C	D _{2m,nT,w} (dB)
43,63	0,50	38,15	-2	36,15

Neste caso, como a área translúcida é superior a 60% do elemento de fachada em análise, há que adicionar ao índice $D_{2m,nT,w}$ o termo de adaptação C. Então tem-se $D_{2m,nT,w} = 36\text{dB} \geq 33\text{dB}$.

➤ **Parede oeste do quarto3:**

Tabela 5.33 – Cálculo da redução sonora aparente (Quarto3)

Área de fachada (m ²)		11,05		
Elementos	Si (m ²)	Rw (dB)	$S_i 10^{(-R_{wi}/10)}$	R _{wGlobal} (dB)
Paredes	5,05	44	241,0E-6	37,21
Janelas	6,00	35	1,9E-3	

Tabela 5.34 – Cálculo do isolamento sonoro de condução aérea (Quarto3)

Volume (m ³)	T ₀	D _{2m,nT,w} (dB)	C	D _{2m,nT,w} (dB)
73,38	0,50	40,49	-2	38,49

Neste caso, como a área translúcida é superior a 60% do elemento de fachada em análise, há que adicionar ao índice $D_{2m,nT,w}$ o termo de adaptação C. Então tem-se $D_{2m,nT,w} = 38\text{dB} \geq 33\text{dB}$.

➤ **Parede sul do quarto4:**

Tabela 5.35 – Cálculo da redução sonora aparente (Quarto4)

Área de fachada (m ²)		16,38		
Elementos	Si (m ²)	Rw (dB)	$S_i 10^{(-R_{wi}/10)}$	R _{wGlobal} (dB)
Paredes	10,38	44	413,2E-6	38,51
Janelas	6,00	35	1,9E-3	

Tabela 5.36 – Cálculo do isolamento sonoro de condução aérea (Quarto4)

Volume (m ³)	T ₀	D _{2m,nT,w} (dB)
116,52	0,50	42,08

Neste caso, a área translúcida não é superior a 60% do elemento de fachada em análise, então tem-se que $D_{2m,nT,w} = 42\text{dB} \geq 33\text{dB}$.

➤ **Parede sul da sala:**

Tabela 5.37 – Cálculo da redução sonora aparente (Sala)

Área de fachada (m ²)		31,71		
Elementos	Si (m ²)	Rw (dB)	$S_i 10^{(-R_{wi}/10)}$	R _{wGlobal} (dB)
Paredes	17,31	44	689,1E-6	37,82
Janelas	14,40	35	4,6E-3	

Tabela 5.38 – Cálculo do isolamento sonoro de condução aérea (Sala)

Volume (m ³)	T ₀	D _{2m,nT,w} (dB)	C	D _{2m,nT,w} (dB)
177,43	0,50	40,35	-2	38,35

Neste caso, como a área translúcida é superior a 60% do elemento de fachada em análise, há que adicionar ao índice $D_{2m,nT,w}$ o termo de adaptação C. Então tem-se $D_{2m,nT,w} = 38\text{dB} \geq 33\text{dB}$.

Através da análise dos resultados, verifica-se que todos os elementos de fachada cumprem a alínea a) pertencente ao art.º 5º do Decreto-lei n.º 96/2008, de 9 de junho.

No que toca à transmissão marginal (TM) através da fachada exterior, retirou-se 1dB ao valor do índice $D_{2m,nT,w}$. Tendo-se obtido, $D_{2m,nT,w} = 35\text{dB}$.

No que toca ao nível de avaliação, sendo a porta da garagem uma porta automática, evitou-se a transmissão de ruído para os compartimentos de descanso contíguos, através da separação do mecanismo automático, de toda a estrutura da habitação.

6 ANÁLISE FUNCIONAL E ECONÓMICA

Neste capítulo procede-se a uma análise funcional e económica, referente ao caso de estudo.

No subcapítulo 6.1 faz-se uma breve abordagem sobre as exigências funcionais das paredes exteriores, efetua-se uma análise entre a solução preconizada de parede exterior de pano simples com isolamento térmico pelo exterior (ETICS) e uma solução de pano duplo em alvenaria de tijolo cerâmico furado corrente.

No subcapítulo 6.2 efetua-se uma análise económica comparativa entre a solução de parede exterior preconizada e uma solução de parede exterior de pano duplo.

6.1 Análise funcional

A parede exterior de um edifício constitui a fronteira entre o ambiente exterior e o interior, pelo que exerce um papel determinante no edificado, devendo cumprir com as principais exigências funcionais seguintes [8, 14]:

- resistência mecânica e estabilidade: a parede deve assegurar um comportamento autoportante, tendo em consideração o seu peso próprio com a inclusão de revestimentos, cargas suspensas, a ação do vento, impactos externos, deformações dos suportes, ações térmicas (variações de temperatura e choque térmico) e ações acidentais (sismo, incêndio e explosões);
- segurança ao fogo: a parede deve ser concebida de forma a limitar os riscos de incêndio e do seu desenvolvimento;
- estanquidade à água: a parede devem ser estanque à água, através da ausência de infiltrações para o interior por efeito da chuva e do vento, evitando deste modo o humedecimento exagerado e prolongado que provoca a sua deterioração;
- durabilidade: a durabilidade da parede está diretamente relacionada com a sua conceção em termos de estanquidade e revestimentos, qualidade construtiva, materiais constituintes, quantidade de água contida na parede e comportamento mecânico;
- conforto termohigrométrico: a parede deve garantir condições ambientais satisfatórias no interior de um edifício, em termos de temperatura, humidade e qualidade do ar; pelo que é necessário limitar o coeficiente de transmissão térmico (U), tendo em conta as exigências regulamentares e privilegiar inércias térmicas elevadas, assegurar a secagem dos paramentos interiores e limitar o fator de concentração de perdas térmicas;

- conforto acústico: a parede deve cumprir as exigências regulamentares relativamente aos ruídos aéreos exteriores;

6.1.1 Solução construtiva preconizada no caso de estudo

Uma parede exterior em pano simples, por incorporar menos componentes na sua construção, diminui a possibilidade de uma má execução, exige menos formação e experiência ao seu executante, e permite uma execução mais rápida. Deste modo, torna-se indispensável a existência de sensibilidade relativamente à qualidade construtiva, cuja preocupação esteja em conseguir soluções mais simples para as paredes, menos suscetíveis à falta de qualidade da mão de obra através da redução do número de operações em obra e da sua maior simplicidade, da disponibilização de materiais preparados industrialmente para as várias situações particulares e através da utilização de argamassas prontas ou pré-doseadas, em substituição das amassadas em obra.

A adoção de uma parede com isolamento térmico pelo exterior, é uma solução vantajosa que permite principalmente [5, 25]:

- reduzir as pontes térmicas devido à continuidade do isolamento ao longo da parede (Figura 6.1);

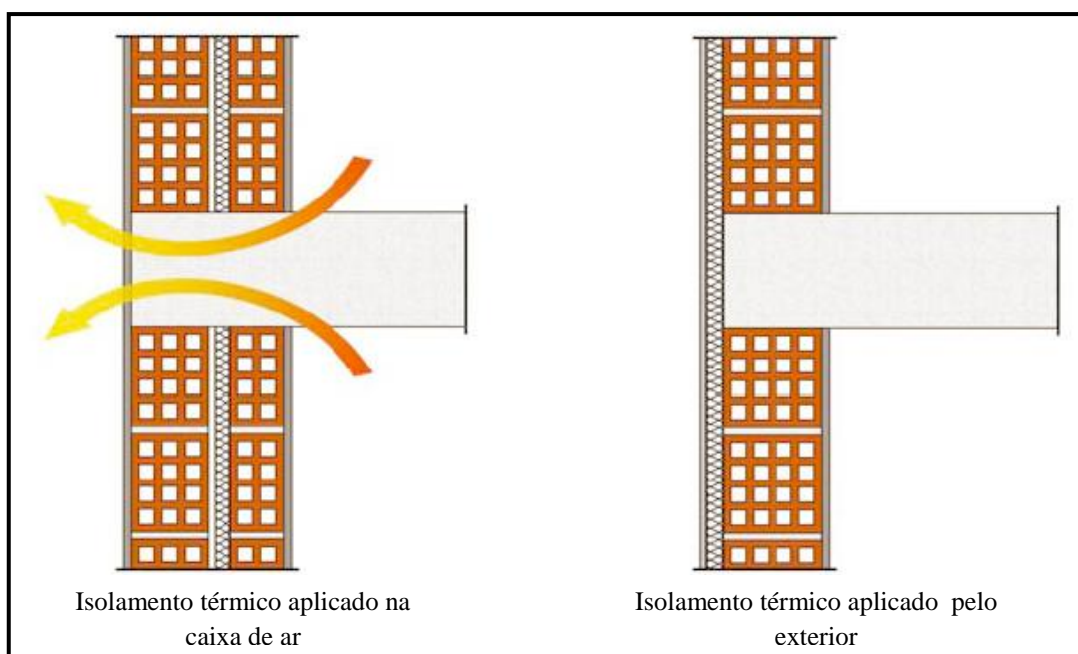


Figura 6.1 – Diferentes tipos de aplicação de isolamento térmico [5]

- diminuir a possibilidade de ocorrência de condensações;
- melhorar o conforto térmico tanto de inverno como de verão, devido à capacidade de

manter a temperatura interior, pois a maior parte da massa das paredes encontra-se pelo interior da camada de isolamento térmico, o que permite uma maior inércia térmica;

- reduzir o uso de equipamentos necessários, para manter o conforto interior do edifício, tanto no inverno como no verão;
- diminuir a espessura das paredes e obter conseqüentemente um aumento de área habitável;
- reduzir o peso da estrutura do edifício, em termos de cargas permanentes.

6.1.2 Parede de pano duplo

Uma parede exterior em pano duplo, é de um modo geral, constituída por dois panos de alvenaria, afastados entre si através de grampos de travamento e que estão devidamente fixados aos elementos estruturais.

A construção de uma parede de pano duplo, traduz-se numa ação complexa, por requer mão de obra especializada tanto em termos de formação como de conhecimentos, para que a execução da parede seja feita de acordo com as normas técnicas. Existe portanto, um elevado risco de se obter uma parede mal executada, isto, devido a níveis de formação e conhecimentos deficientes, prazos curtos para a realização dos trabalhos e a possíveis erros de projeto. Na tabela 6.1 são apresentados os principais aspetos, tanto de projeto como de construção, responsáveis por anomalias em paredes duplas [11].

Tabela 6.1 – Principais aspetos responsáveis por anomalias da parede exterior de pano duplo [11]

Projeto	Construção
Deficiente avaliação do desempenho da parede, quer na globalidade, quer na ligação a outras partes do edifício, no que respeita à penetração da água, durabilidade e comportamento estrutural.	Deficiente compreensão do projeto, no que respeita aos pormenores construtivos e às características a exigir aos materiais.
Insuficiente avaliação e determinação das propriedades a exigir ao tijolo e à argamassa.	Desconhecimento do funcionamento e insuficiente compreensão técnica das respetivas exigências em termos de execução, de impermeabilização e barreiras pára-vapor.
Especificações de materiais, testes e técnicas de execução omissas ou vagas, remetendo para “procedimentos habituais de qualidade reconhecida” e para a “experiência da mão de obra”.	Instalação incorreta (ou omissão) de barreiras de impermeabilização previstas em projeto.
Pormenorização incompleta, com utilização excessiva de desenhos tipo, eventualmente não adaptados à obra em causa, deixando a verdadeira pormenorização para a fase de execução.	Execução incorreta (ou omissão) de juntas de expansão-contração, prevista em projeto.
Negligência na determinação dos movimentos previsíveis, na definição das exigências do suporte (em particular em paredes de fachada) e imposição das necessárias juntas de expansão-contração, quer verticais, quer horizontais.	Deficiente preenchimento de juntas verticais e horizontais.
Negligência na determinação das exigências estruturais das paredes exteriores face à ação do vento e na adoção das soluções construtivas delas decorrentes.	Instalação incorreta de grampos ou outros elementos de ligação.
Negligência na previsão das deformações estruturais e da sua influência sobre as alvenarias, em particular nos fenómenos de fissuração.	Acabamento desapropriado para as juntas de assentamento e criação de juntas de assentamento com espessuras excessivas.
Desconhecimento ou má interpretação de aplicação dos códigos, regulamentos e bibliografia técnica e científica da especialidade.	Acumulação de restos de argamassa no fundo da caixa de ar, caídos durante a execução.
	Formação de ressaltos de argamassa na caixa de ar, permitindo o contacto entre panos e a transferência de humidade entre eles.
	Não instalação de furos para ventilação e drenagem nas paredes.
	Negligência na limpeza das saliências das juntas de argamassa, quando a parede se destina a receber isolamento térmico, que ficará, deste modo, afastado da parede interior.
	Utilização de argamassas com composição química inadequada, incluindo, por exemplo, substâncias expansivas.
	Negligência na avaliação das condições atmosféricas durante a execução da obra (temperatura e humidade).
	Negligência na comunicação ao projetista, sobre pormenores não executáveis ou de alterações adotadas em obra.

A figura 6.2 exemplifica algumas das anomalias possíveis de ocorrer numa parede dupla.

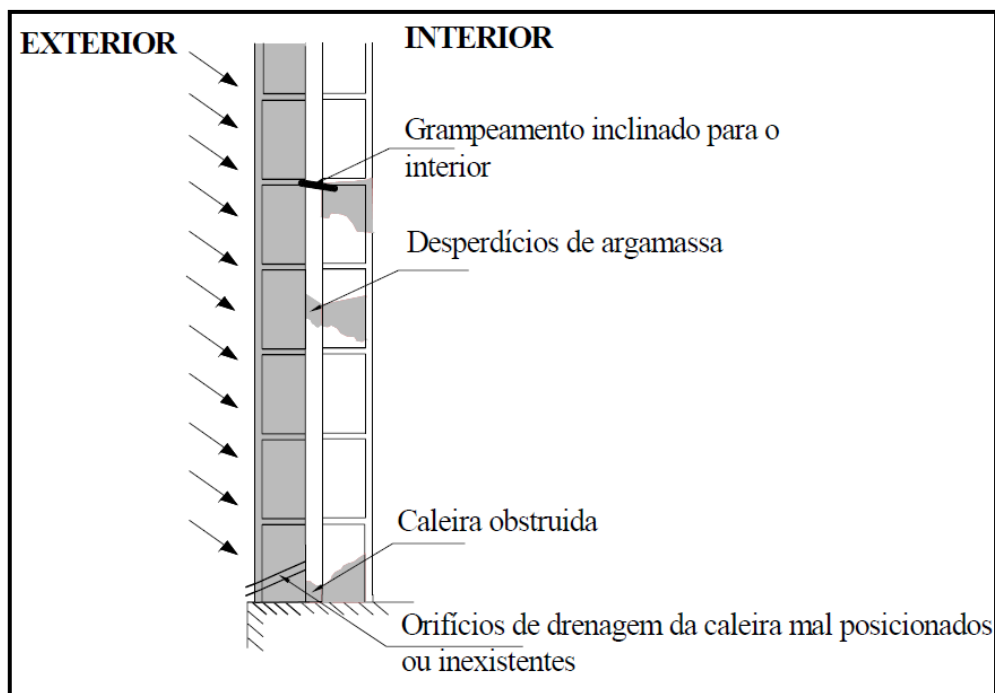


Figura 6.2 - Consequências de uma parede dupla mal executada [13]

6.1.3 Análise comparativa

Tecnicamente a parede exterior definida pela solução preconizada no caso de estudo, difere de uma parede de pano duplo pelos seus constituintes e pela localização e desempenho do material de isolamento térmico.

Não tendo em consideração o isolamento térmico, pode-se dizer que uma parede exterior de pano simples, apresenta menos elementos constituintes do que uma parede exterior de pano duplo, existindo por isso uma menor probabilidade de ocorrência de erros, tanto em obra como em projeto, para além de necessitar de menos tempo para a sua execução (Tabela 6.2).

Tabela 6.2 – Elementos constituintes de paredes exteriores de pano simples e de pano duplo [27]

Componentes	Parede exterior de pano simples	Parede exterior de pano duplo
Argamassa de assentamento	x	x
Argamassa de reboco hidrófuga	x	x
Ligadores entre panos		x
Barreira para vapor		x
Isolamento térmico	x	x
Ventilação da caixa de ar caso exista		x
Canal de escoamento		x
Tratamento das transições entre materiais (alvenaria/elementos estruturais)	x	x
Fixações para o isolamento		x

A localização do isolamento térmico está diretamente relacionada com o desempenho da envolvente de um edifício, através da inércia térmica, das pontes térmicas, da durabilidade e resistência do material.

Após a realização de uma análise comparativa apresentada pela tabela 6.3, verifica-se que a melhor solução em termos de inércia térmica e de redução das pontes térmicas é a do isolamento térmico pelo exterior, ao passo que em termos de durabilidade e resistência às ações mecânicas e climáticas a melhor solução consiste no isolamento térmico aplicado na caixa de ar.

Tabela 6.3 – Comparação do desempenho da envolvente dos edifícios, entre paredes exteriores de pano simples e de pano duplo [8]

Localização do Isolamento	Tipo de classe de inércia térmica	Grau de redução das pontes térmicas	Durabilidade e resistência do isolamento térmico às ações mecânicas e climáticas
Exterior	Forte	Alto	Média
Caixa de ar	Média ou forte	Baixo	Boa

Conclui-se portanto que, a localização do isolamento térmico pelo exterior facilita a existência de inércia térmica forte e a redução das pontes térmicas, permitindo manter o controlo sobre a temperatura interior ideal de conforto. No entanto, em termos de durabilidade e resistência do isolamento térmico relativamente às ações mecânicas e aos agentes atmosféricos, verifica-se que a solução de localização do isolamento na caixa de ar é a melhor, por evitar o contato direto com este. Por outro lado, o isolamento térmico pelo exterior permite proteger o tosco das paredes, face às solicitações dos agentes atmosféricos.

Para se poder efetuar uma comparação mais aprofundada, procedeu-se à realização de uma análise térmica e acústica, tendo em conta um tipo diferente de solução construtiva de parede exterior. Pelo que, para além das análises efetuadas para o caso de estudo, foi ainda efetuada uma análise térmica e acústica para as seguintes soluções construtivas:

- **paredes exteriores de 36cm (Pe1):** paramento de tijolo cerâmico furado de barro vermelho, pano interior de 30x20x15cm e pano exterior de 30x20x11cm, com caixa de ar de 6cm, totalmente preenchida por isolamento térmico em placas de poliestireno expandido extrudido do tipo “Wallmate CW-A” e rebocada em ambas as faces num total de parede de 36cm; pormenor construtivo na figura 6.3.
- **zona da viga/pilar (PTPe1):** vigas e pilares em betão com 25cm de espessura, com isolamento térmico, na face interior, em placas de poliestireno expandido extrudido, do tipo “Styrofoam IB-A” com 4cm de espessura, seguido de tijolo cerâmico furado de

barro vermelho de 30x20x3cm e rebocada em ambas as faces num total de parede de 36cm; pormenor construtivo na figura 6.3.

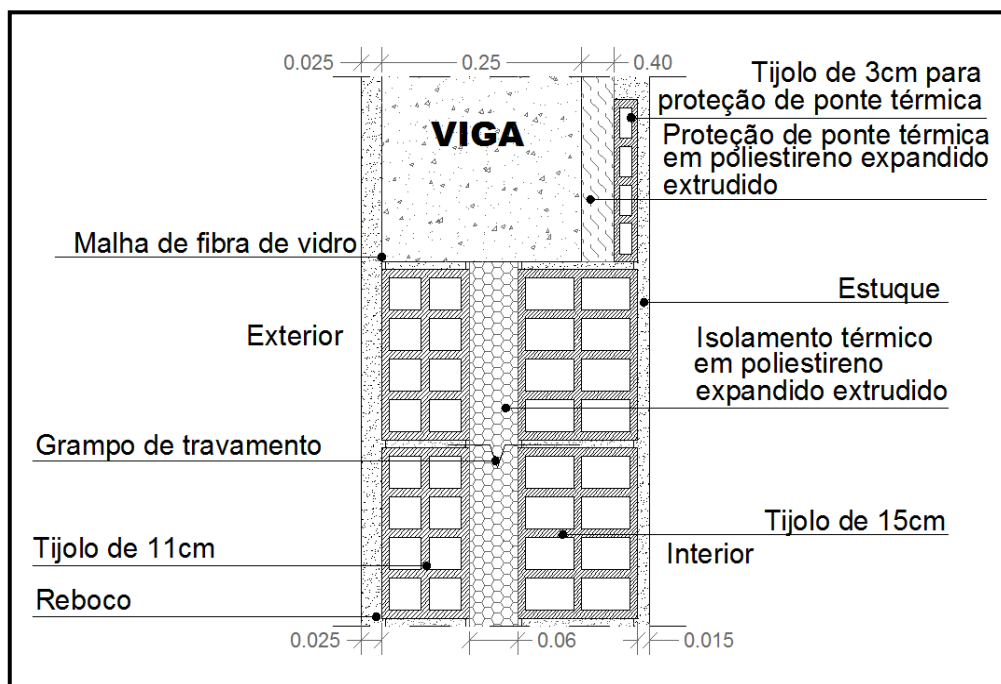


Figura 6.3 - Pormenor da parede exterior de pano duplo e viga, em corte (Pe1 e PTPe1)

- **paredes interiores (Pi1) em contato com espaço não útil:** paramento de tijolo cerâmico furado de barro vermelho, pano interior de 30x20x11cm e pano exterior de 30x20x15cm, com caixa de ar de 6cm, totalmente preenchida por isolamento térmico em placas de poliestireno expandido extrudido do tipo “Wallmate CW-A” e rebocada em ambas as faces num total de parede de 35cm; pormenor construtivo na figura 6.4.
- **zona da viga/pilar (PTPi1):** vigas e pilares em betão com 25cm de espessura, com isolamento térmico, na face exterior, em placas de poliestireno expandido extrudido, do tipo “Styrofoam IB-A” com 4cm de espessura, seguido de tijolo cerâmico furado de barro vermelho de 30x20x3cm e rebocada em ambas as faces num total de parede de 35cm; pormenor construtivo na figura 6.4.

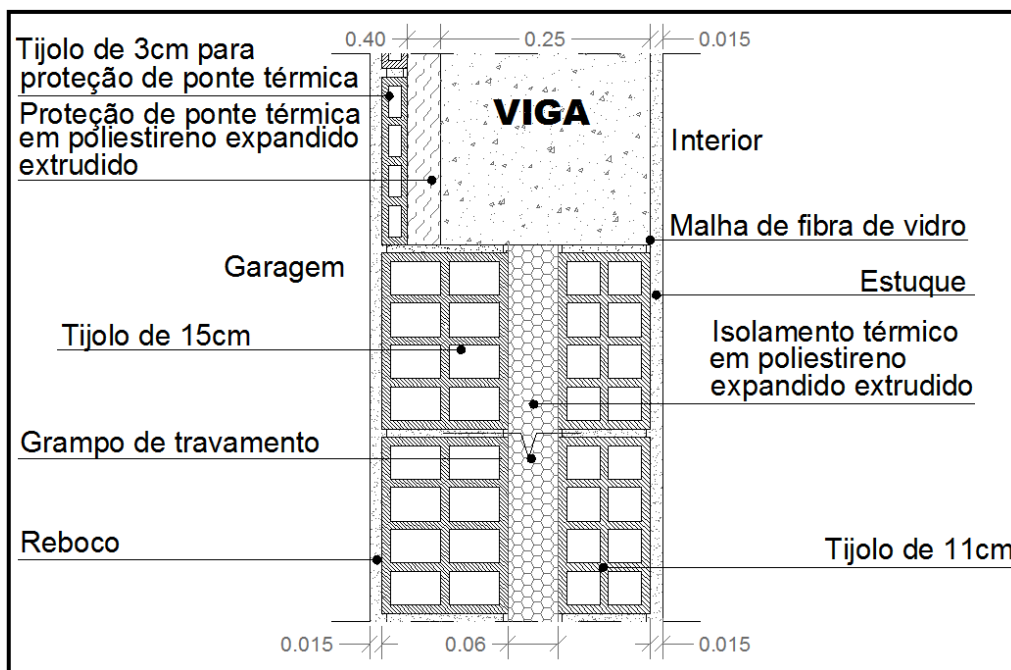


Figura 6.4 - Pormenor da parede e viga de separação entre espaços úteis e não úteis, em corte (Pi1 e PTPi1)

As tabelas 6.4 e 6.5 apresentam os resultados obtidos pelas análises dos desempenhos térmicos, referentes ao caso de estudo e às soluções construtivas alternativas propostas.

Tabela 6.4 – Resultados da análise térmica referente à solução de parede exterior preconizada

COMPORTAMENTO TÉRMICO						
Nic (kw.h/m ² .ano)	Nvc (kw.h/m ² .ano)	Nac (kw.h/m ² .ano)	Ntc (kw.h/m ² .ano)	R (kgep/m ² .ano)	Classe térmica	Toneladas de CO ₂ equivalentes por ano
30,11	21,14	8,01	1,77	0,493 ≈ 0,49	A	0,59
Ni (kw.h/m ² .ano)	Nv (kw.h/m ² .ano)	Na (kw.h/m ² .ano)	Nt (kw.h/m ² .ano)			
49,22	32,00	21,14	3,58			

Tabela 6.5 – Resultados da análise térmica referente à solução construtiva de parede exterior em pano duplo

COMPORTAMENTO TÉRMICO						
Nic (kw.h/m ² .ano)	Nvc (kw.h/m ² .ano)	Nac (kw.h/m ² .ano)	Ntc (kw.h/m ² .ano)	R (kgep/m ² .ano)	Classe térmica	Toneladas de CO ₂ equivalentes por ano
29,59	21,14	8,01	1,75	0,489 ≈ 0,49	A	0,59
Ni (kw.h/m ² .ano)	Nv (kw.h/m ² .ano)	Na (kw.h/m ² .ano)	Nt (kw.h/m ² .ano)			
49,22	32,00	21,14	3,58			

A tabela 6.6 apresenta os resultados obtidos pelas análises dos desempenhos acústicos referentes, ao caso de estudo e à solução construtiva de parede exterior alternativa proposta.

Tabela 6.6 – Resultados da análise acústica referente a ambas as soluções de parede exterior analisadas

	Parede exterior de pano simples com isolamento térmico pelo exterior (ETICS)	Parede exterior de pano duplo com isolamento térmico na caixa de ar
$D_{2m,nT,w}$ (dB)	35	35

Com base na análise dos resultados obtidos pelas análises térmicas e acústicas, realizadas para ambas as soluções construtivas propostas, tanto para o caso de estudo como para uma parede exterior em pano duplo (Tabelas 6.4 a 6.6), verifica-se que ambos os tipos de parede apresentam resultados semelhantes em termos de comportamento térmico. Em termos de comportamento acústico, obteve-se exatamente o mesmo valor de índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, tendo em conta a transmissão marginal. Ambas as paredes se comportam de um modo idêntico.

6.2 Análise económica

Dentro das soluções de paredes exteriores em pano simples, deve-se procurar analisar a solução construtiva como um todo, tendo em linha de conta que os custos deverão incluir a mão de obra e os materiais a serem utilizados.

6.2.1 Materiais

➤ Alvenaria

Para a análise dos custos associados à alvenaria, considerou-se os custos apresentados na tabela 6.7, referentes à alvenaria.

Tabela 6.7 – Custo dos tijolos cerâmicos furados [21, 33]

Tijolos Cerâmicos		
Descrição	Preço (€/unidade)	Marca CE
30×20×11cm	0,22	“Preceram” (Anexo IV.2)
30×20×15cm	0,29	“Preceram”
BT30 (Bloco Térmico PROETICS com 50×20×30cm)	1,00	“Artebel” (Anexo IV.1)

Os custos associados à alvenaria de uma parede exterior em pano duplo de 11+15, com 1m², de acordo com as figuras 6.5 e 6.6 atrás apresentadas, são de 10,20€ (Tabela 6.8).

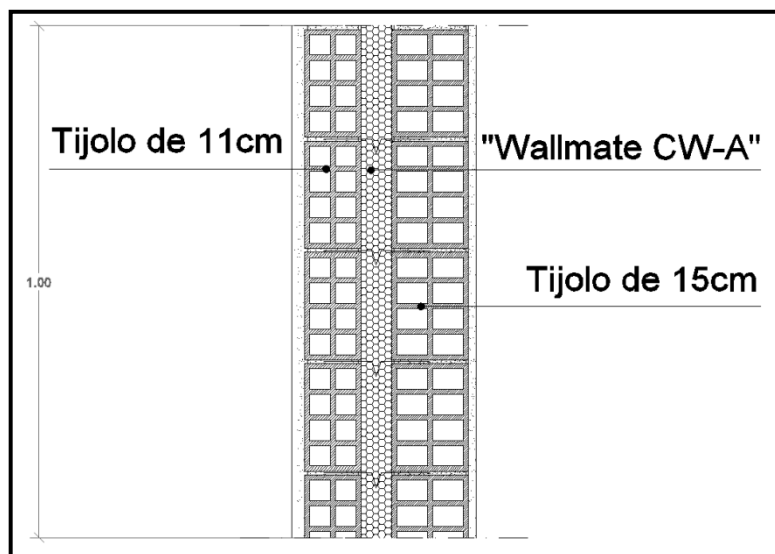


Figura 6.5 - Pormenor em corte, da parede de pano duplo de 36cm de espessura

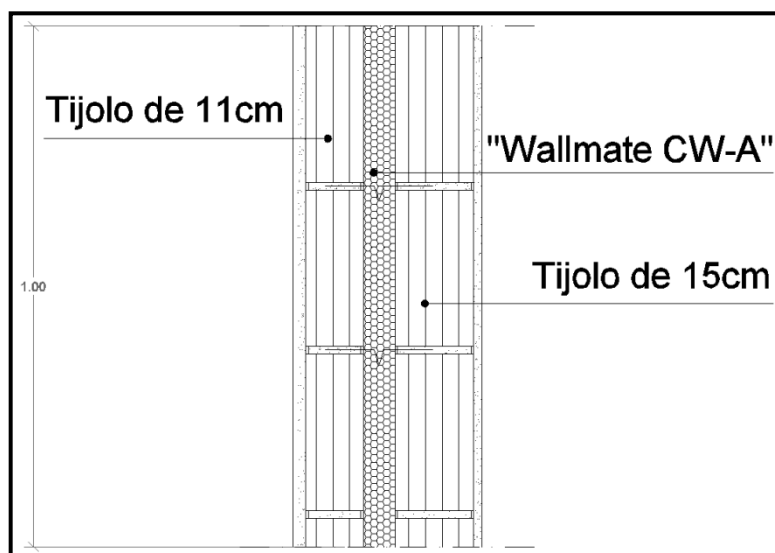


Figura 6.6 - Pormenor em planta, da parede de pano duplo de 36cm de espessura

Tabela 6.8 – Custo da alvenaria referente a uma parede exterior em pano duplo de 11+15

Tipo de tijolo	Dimensões (cm)	Preço (€/uni.)	Área da parede (m ²)	Nº de tijolos (uni.)	Custo final (€)	Custo total final (€)
Tijolo de 11	30x20x11	0,22	1,00	20	4,40	10,20
Tijolo de 15	30x20x15	0,29		20	5,80	

Os custos associados à alvenaria da parede exterior da solução preconizada em pano simples, com 1m², de acordo com as figuras 6.7 e 6.8, são de 10€ (Tabela 6.9).

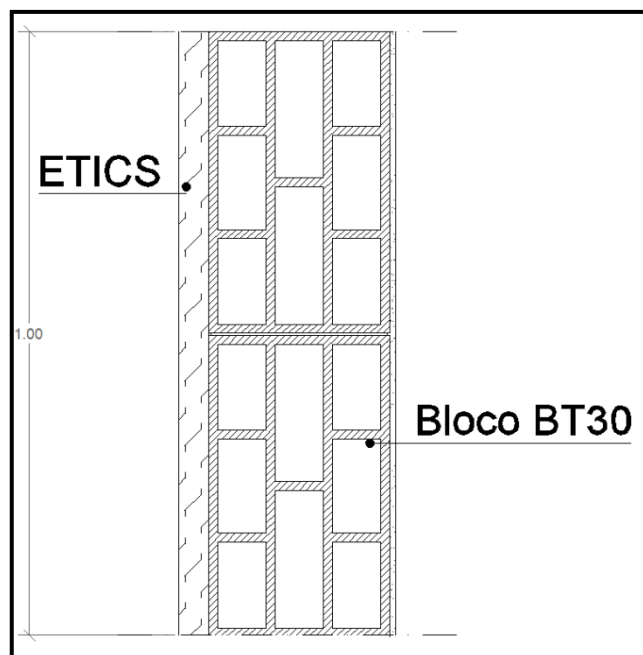


Figura 6.7 - Pormenor em corte, da solução preconizada de parede de pano simples

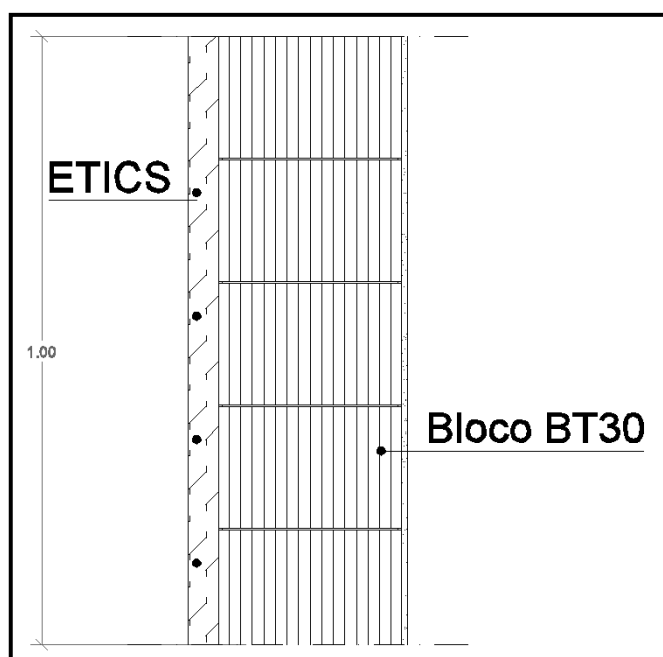


Figura 6.8 - Pormenor em planta, da solução preconizada de parede de pano simples

Tabela 6.9 – Custo da alvenaria referente à solução de parede de pano simples preconizada no caso de estudo

Tipo de bloco	Dimensões (cm)	Preço (€/uni.)	Área da parede (m ²)	Nº de blocos (uni.)	Custo final (€)
BT30	50x20x30	1,00	1,00	10	10,00

Através da análise das tabelas 6.8 e 6.9, depreende-se que 1m² de parede de pano duplo tem um custo semelhante a 1m² da solução preconizada de parede exterior em pano simples com isolamento térmico pelo exterior (ETICS), sendo a diferença pouco significativa.

➤ **Isolamento térmico**

• **ETICS**

O ETICS considerado foi o denominado por “Weber.therm Classic”, tal como foi referido anteriormente, cujos componentes (Figura 6.9) são comercializados segundo a forma apresentada na tabela 6.10.

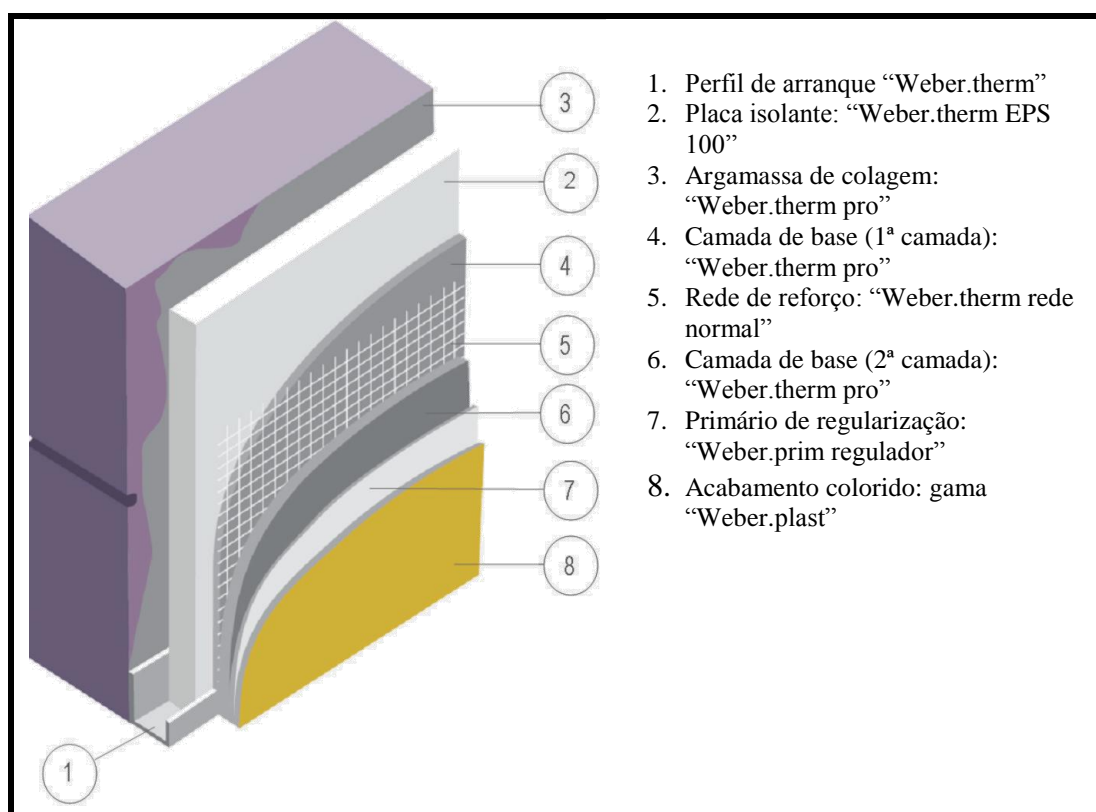


Figura 6.9 - Pormenor construtivo do sistema “Weber.therm Classic”

Tabela 6.10 – Constituintes do sistema “Weber.therm Classic” e forma de comercialização

Componente do sistema	Comercialização
Isolamento térmico em poliestireno expandido moldado “Weber.therm EPS 100”	Placas com dimensões de 1×0,5m
Produto de colagem e camada de base “Weber.therm pro”	Sacos de papel de 25 kg de produto em pó
Primário de regularização de fundo “Weber.prim regulador”	Embalagens plásticas de 20 kg de produto em pasta
Revestimento de acabamento “Weber.plast decor”	Embalagens plásticas de 25 kg de produto, em pasta
Rede normal “Weber.therm rede normal” ou rede reforçada “Weber.therm rede reforçada”	Rolos de 1×50m (rede normal) e rolos de 1×25m (rede reforçada)

Pontualmente, poderá ser necessário o uso de cavilhas para fixação mecânica complementar à colagem das placas de isolamento térmico, no entanto neste caso não será contabilizado.

O custo total associado a 1m² de aplicação do ETICS, é de 27,35€ de acordo com a tabela 6.11, sem contabilizar os custos da mão de obra.

Tabela 6.11 – Custo do sistema “Weber.therm Classic” (Anexo IV)

Componente do sistema	Unidades	Quantidades	Preço (€)	Custo Final (€)
Perfil de arranque “Weber.therm” com 1m de comprimento e 0,5cm de espessura	unidade	1	1,88	27,35
Isolamento térmico em placas de poliestireno expandido moldado “Weber.therm EPS 100” com 5cm de espessura	unidade	2 placas	8,73	
Produto “Weber.therm pro” para colagem, com 0,03cm de espessura	kg/m ²	5	3,52	
Produto “Weber.therm pro” para a 1ª camada de base, com 0,02cm de espessura	kg/m ²	4	2,82	
Rede normal “Weber.therm rede normal”	unidade	1 rolo	0,97	
Produto “Weber.therm pro” para a 2ª camada de base, com 0,02cm de espessura	kg/m ²	4	2,82	
Primário de regularização de fundo “Weber.prim regulador”, com 0,01cm de espessura	kg/m ²	0,4	0,99	
Revestimento de acabamento “Weber.plast decor F”, grupo A, com 0,01cm de espessura	kg/m ²	2,2	5,62	

Nota: As quantidades apresentadas na tabela 6.11, foram retiradas do Documento de Homologação do ETICS “Weber.therm Classic”.

Os custos associados a 1m² de isolamento de pontes térmicas com ETICS, é igualmente de 27,35€.

- **WALLMATE CW-A**

Os custos relativos aos isolamentos térmicos “Wallmate CW-A” com 6cm de espessura, foram determinados com base em 1m² de parede exterior em pano duplo de acordo com as figuras 6.5 e 6.6.

O custo referente ao isolamento térmico de 1m² de parede de pano duplo com as características das figuras 6.5 e 6.6, é de 9,98€, de acordo com a tabela 6.12.

Tabela 6.12 – Custos referentes ao isolamento térmico de uma parede exterior em pano duplo

Tipo de isolamento térmico	Marca CE	Dimensões (cm)	Preço do artigo (€/m ²)	Área da parede (m ²)	Custo (€)
“Wallmate CW-A”	“Dow” (Anexo IV.4)	2600x600x60	9,98	1,00	9,98

Através da análise de custos, verifica-se que estes são bastante mais elevados para a aplicação do sistema ETICS na parede de pano simples, do que para a solução de isolamento térmico na parede em pano duplo.

- **STYROFOAM IB-A**

Para a análise dos custos associados ao isolamento das pontes térmicas com 4cm de espessura de “Styrofoam IB-A” seguidos de tijolo de 30x20x3, considerou-se os custos apresentados nas tabelas 6.13 e 6.14.

Tabela 6.13 – Custo do “Styrofoam IB-A” [23]

Tipo de isolamento térmico	Marca CE	Dimensões (mm)	Preço do artigo (€/m ²)
Styrofoam IB-A	“Dow” (Anexo IV.4)	1250x600x40	7,86

Tabela 6.14 – Custo do tijolo cerâmico furado de 3cm

Descrição	Marca CE	Preço do artigo (€/unidade)
30x20x3cm	“Prélis” (Anexo IV.5)	0,40

O custo de 1m² de isolamento associado às pontes térmicas, é de 15,06€, tal como se apresenta na tabela 6.15.

Tabela 6.15 – Custos referentes ao isolamento das pontes térmicas de parede exterior em pano duplo

Tipo de isolamento	Espessura (cm)	Área a proteger (m ²)	Nº de tijolos a utilizar (unidade)	Custo final (€/m ²)	Custo total final (€)
Styrofoam IB-A	4,00	1	-	7,86	15,06
Tijolo de 3cm	3,00		18	7,20	

Através da análise de custos, verifica-se que estes são bastante mais elevados para a aplicação do ETICS na parede de pano simples, do que para a solução de isolamento térmico na parede em pano duplo.

➤ **Argamassa**

A execução de uma parede exterior de pano simples em blocos com agregados de argila expandida, é facilitada não só em termos de assentamento, devido aos blocos apresentarem juntas de encaixe machedas, mas também pela utilização de argamassas cola em juntas de pequena espessura, cuja realização é muito mais rápida. Desta forma, consegue-se reduzir não só a quantidade de argamassa a utilizar mas também o tempo de execução. Em contrapartida, a

execução de uma parede exterior de pano duplo em alvenaria de tijolo cerâmico furado, poderá dar origem a um consumo excessivo de argamassa, através da criação de juntas de assentamento com espessuras excessivas e por acumulação de restos de argamassa na caixa de ar.

6.2.2 Mão de obra

O custo da mão de obra para construir uma parede de pano duplo, é mais elevado do que para uma parede de pano simples, pois para a execução da primeira é necessária mão de obra muito especializada em termos de realização de alvenaria, enquanto que para a segunda não carece de mão de obra tão especializada.

Além dos custos relacionados com a mão de obra, também a rapidez com que se constrói está intimamente relacionada com o capital investido, sendo a construção de uma parede de pano simples mais rápida de emergir do que uma parede de pano duplo tradicional.

A utilização de paredes exteriores de pano simples com isolamento térmico pelo exterior (ETICS), será uma alternativa vantajosa relativamente às paredes exteriores de pano duplo com isolamento na caixa de ar, uma vez que as primeiras permitirão poupanças em termos temporais de execução, o que resultará em economias de custos em relação à mão de obra.

7 CONCLUSÃO

A construção de paredes exteriores de pano simples com isolamento térmico pelo exterior em ETICS, tem ganho cada vez maior relevância a nível nacional, prevendo-se que no futuro ultrapasse a execução de paredes exteriores de pano duplo. A atualização do RCCTE contribuiu para estas alterações da prática construtiva, devido à constante preocupação com o tratamento das pontes térmicas, pois estas por serem zonas não isoladas termicamente, apresentam maior dificuldade de transmissão de calor em relação à restante envolvente, sendo estas representadas pelos topos de laje, vigas, pilares, vãos e caixas de estore, onde poderão ocorrer fenómenos de condensação. Com o RCCTE, surgiu ainda a preocupação com a necessidade de garantia da existência de uma inércia térmica forte, pois esta permite evitar a variação de temperatura interior de um edifício, através da redução de transferência de calor entre o ambiente interior e o exterior do mesmo, conseguido pela aplicação de isolamento térmico que permite um aumento de transmissão de calor pelas fachadas, reduzindo as necessidades de aquecimento, arrefecimento e riscos de condensações.

As paredes de pano simples em blocos de argila expandida com isolamento pelo exterior (ETICS), apresentam vantagens relativamente às paredes exteriores de pano duplo de tijolo cerâmico furado, ao nível do processo de execução pois sendo este mais simples e rápido, permite evitar o aparecimento de anomalias construtivas e poupar nos custos de mão de obra. A localização do isolamento pelo exterior para além de contribuir para uma inércia térmica forte, permite evitar as pontes térmicas através da obtenção de uma camada de isolamento contínuo.

Através da análise térmica concluiu-se, que é possível obter uma mesma classificação de imóvel tanto para uma parede de pano simples em blocos de argila expandida com 5cm de isolamento térmico pelo exterior (ETICS), como para uma parede de pano duplo em tijolo cerâmico furado, com a caixa de ar de 6cm, totalmente preenchida com poliestireno expandido extrudido (XPS).

Ao nível da análise acústica concluiu-se, que tanto para a solução de parede exterior preconizada com isolamento pelo exterior (ETICS) como para a solução proposta de parede exterior em pano duplo, é possível cumprir a Regulamentação.

A análise económica efetuada permitiu concluir que, a construção de uma parede exterior de pano simples em blocos de argila expandida com isolamento térmico pelo exterior (ETICS), acarreta custos mais elevados do que para uma parede exterior em pano duplo de tijolo cerâmico

furado, essencialmente, devido ao custo do isolamento pelo exterior (ETICS). Isto, porque o custo da alvenaria não é significativo, embora os blocos de argila acarretem custos mais elevados.

Em análise conclusiva é possível afirmar, que devido à importância dos fatores tempo, custo e qualidade, a construção de paredes exteriores de pano simples em blocos de argila expandida irá ser favorecida em relação à parede exterior de pano duplo em tijolo cerâmico furado, pois permite reduzir tanto o tempo de execução como o custo da mão de obra, assim como diminuir a possibilidades de ocorrência de situações anómalas nos elementos construtivos. Pelo que, existe a forte possibilidade de futuramente prevalecer a construção de paredes exteriores com o isolamento térmico exterior em ETICS, em detrimento das paredes exteriores em pano duplo.

7.1 Trabalhos futuros

Para trabalhos futuros deve-se ter em consideração, o custo da maquinaria para a execução das paredes exteriores de pano simples, assim como o tempo de realização do ETICS e do custo da mão de obra para a execução do mesmo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] André, António Morgado (2008) – Apontamentos de Tecnologia de Edifícios da Universidade do Algarve.
- [2] Camelo, Susana; Santos, Pina; Horta, Álvaro Ramalho; Gonçalves, Helder; Maldonado, Eduardo (2006) – Manual de apoio à aplicação do RCCTE. INETI, Lisboa.
- [3] Fontes de Melo, A. C. (2002) – Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Desenvolvimentos Recentes em Blocos de Betão Leve.
- [4] Fontes de Melo, A. C.; Marques, Alfredo (2007) – Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Aplicações em betão leve de argila expandida.
- [5] Labrincha, João (2006) – AveiroDomus, Associação para o Desenvolvimento da Casa do Futuro, Projeto de Isolamento Térmico, 2º Relatório de Progresso de junho.
- [6] Mateus, Diogo (2009) - Manual do Curso de Formação Acústica realizado na Universidade do Algarve.
- [7] Mendão, Juliana Vicente Belchior (2011) – Sistema ETICS, Influência no Comportamento Térmico dos Edifícios – Dissertação para obtenção de Grau Mestre em Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- [8] Ramos, João (2010) – Seminário de Sustentabilidade Energética e Ambiental, 22 de abril.
- [9] Santos, Carlos A. Pina dos; Matias, Luís (2008) – Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios (ITE 50), versão atualizada 2006 do LNEC, Lisboa.
- [10] Silva, Bruno Miguel Martins (2007): Betão Leve Estrutural com Agregados de Argila Expandida - Dissertação para obtenção de Grau Mestre em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [11] Silva, J. Mendes e Abrantes, Vitor (2007) – Patologia em paredes de alvenaria: Causas e soluções, 15 de novembro.
- [12] Sousa, Hipólito (2010) – Exigências Funcionais de Paredes em Alvenaria, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).
- [13] Torres, Isabel - Aula 1 – Tecnologia de Fachadas e Coberturas, <http://woc.uc.pt/efs/getFile.do?tipo=2&id=177> [Consultado a 13-01-2012].
- [14] Norma Portuguesa NP ENV 206-1 Especificação do betão.
- [15] Portaria nº 232/2008 de 11 de Março, dre.pt/pdf1s/2008/03/05000/0154301553.pdf [Consultado a 23-04-2012].
- [16] Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) – Decreto-Lei 80/2006.
- [17] Regulamento Geral do Ruído (RGR) – Decreto-Lei 9/2007.
- [18] Regulamento de Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) – Decreto-Lei 96/2008.
- [19] ADENE – Agência para a energia. http://www.adene.pt/pt-pt/form/.../ExemploDCRemitidaTipob_RSECE.pdf [Consultado a 01-06-2012].
- [20] AIPEX – Associação Ibérica de Poliestireno Extrudido. http://www.aipex.es/img/po/Quadro_03.jpg [Consultado a 26-04-2012].
- [21] Artebel – Artefatos de betão SA. <http://www.artebel.pt> [Consultado a 06-08-2012].
- [22] Casa certificada. <http://www.casacertificada.pt/perguntas/show/59> [Consultado a 01-06-2012].
- [23] CHAGAS SA. <http://www.fachagas.pt/cache/bin/XPQWfpAXX553UzkZMyMbs1ZKU.pdf> [Consultado a 10-06-2012].
- [24] Construlink – Portal de Arquitetura, Engenharia e Construção. http://www.construlink.com/Homepage/2003_GuiaoTecnico/Ficheiros/gt_395_construlink_

- 17_12_02_2007.pdf [Consultado a 05-06-2012].
- [25] Engenharia e Construção. <http://www.engenhariaeconstrucao.com/2011/07/vantagens-e-desvantagens-do-sistema.html> [Consultado a 05-02-2012].
- [26] LNEC (2010) – Regras para a Concessão de uma Aprovação Técnica Europeia (ETA) ou de um Documento de Homologação a Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICA). Lisboa, dezembro.
- [27] Maxit group – Aplicações Leca.
<http://com/media/12/tecdocs/alvenarias/ComparativoParedDuplaCeramicaVSIsoBloco.pdf> [Consultado a 01-09-2011].
- [28] Museu Guggenheim. http://pt.wikipedia.org/wiki/Museu_Guggenheim_Bilbao [Consultado a 14-01-2013].
- [29] Panteão de Roma. <http://historiadaarte.pbworks.com/w/page/18413911/Pante%C3%A3o> [Consultado a 14-01-2013].
- [30] Pavilhão de Portugal. <http://www.portaldasnacoes.pt/item/pavilhao-de-portugal/> e http://pt.wikipedia.org/wiki/Pavilh%C3%A3o_de_Portugal [Consultado a 14-01-2013].
- [31] Ponte de Nordhorland. http://en.wikipedia.org/wiki/Nordhordland_Bridge [Consultado a 14-01-2013].
- [32] Ponte Stolma. http://en.wikipedia.org/wiki/Stolma_Bridge [Consultado a 14-01-2013].
- [33] Preceram – Indústrias de Construção S.A. http://www.preceram.pt/documentos/tabela_p.pdf [Consultado a 12-06-2012].
- [34] Torre Picasso. http://en.wikipedia.org/wiki/Torre_Picasso [Consultado a 14-01-2013].
- [35] Tromso – Turismo. <http://www.visitromso.no/severdigheter.html> [Consultado a 08-09-2011].
- [36] Universidade do Algarve (2008) – Seminário sobre aplicações Leca/Betões leves
<http://w3.ualg.pt/~mjolivei/Agregados%20e%20Bet%C3%A3o%20Leve.pdf> [Consultado a 01-09-2011].
- [37] Weber – Aplicações Leca.
http://www.weber.com.pt/solucoes-leca-reg/noticias/news.html?tx_ttnews%5Btt_news%5D=40&tx_ttnews%5BbackPid%5D=794&cHash=1bcd5372cb [Consultado a 02-08-2012].

ANEXOS

➤ **Anexo I - Fichas Técnicas**

1. Blocos térmicos
2. Isolamentos térmicos
3. Impermeabilizações
4. Tijolo de vidro
5. Esquentador
6. Coletor solar

➤ **Anexo II - Peças Desenhadas**

1. Desenho nº 1 – Planta da Implantação
2. Desenho nº 2 a 5 – Plantas da Cave, Rés do chão, 1º Andar e Cobertura
3. Desenho nº 6 – Localização das Perdas Térmicas Lineares
4. Desenho nº 7 a 9 – Cortes
5. Desenho nº 10 a 11 – Alçados
6. Desenho nº 12 a 14 – Pormenores Construtivos

➤ **Anexo III - Folhas de Cálculo Térmico**

1. Caso de estudo – Parede em pano simples com ETICS
2. Caso de estudo – Cálculo do Esolar

➤ **Anexo IV - Tabelas de Preços**

1. Tabela de preços dos blocos “Artebel”
2. Tabela de preços dos tijolos cerâmicos da “Preceram”
3. Tabela de preços do ETICS da “Weber”
4. Tabela de preços de isolamento térmico da “Dow”
5. Tabela de preços dos tijolos da “Prélis”