



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Civil



Reabilitação Térmica e Acústica de Edifícios Antigos

VALTER NUNO DOS SANTOS GUTIERRES

Licenciado em Engenharia Civil

Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil
na Área de Especialização de Edificações

Orientadores:

Licenciado Manuel Augusto Gamboa

Doutor Pedro Miguel Soares Raposeiro da Silva

Juri:

Presidente: Doutor Luciano Alberto do Carmo Jacinto

Vogais:

Licenciado Manuel Augusto Gamboa

Licenciado Jorge Guerreiro R. da Silva e Sousa

Novembro 2015

RESUMO

A reabilitação urbana tem vindo a ganhar relevo dentro do sector da construção, devido ao abrandamento da construção nova e o envelhecimento do parque habitacional. Porém, o investimento nesta área em Portugal é reduzido em comparação com os restantes países da Europa. Dois factores que explicam o reduzido investimento é a dificuldade em cumprir a actual legislação da construção e, a falta de informação acerca dos processos construtivos e materiais tradicionais.

Os edifícios “Gaioleiros” são uma tipologia construtiva que surgiu durante a expansão urbana de Lisboa ocorrida no final do século XIX e início do século XX. Devido à especulação imobiliária que então desporto, foram utilizados materiais de fraca qualidade e pouco rigor nas técnicas construtivas adoptadas na construção destes edifícios, conferindo-lhes assim pouca qualidade construtiva.

Actualmente esta tipologia representa uma grande parte do parque habitacional de Lisboa e, por conseguinte, inserem-se num património que é importante preservar. A degradação dos edifícios verifica-se não só pelo envelhecimento natural dos materiais, como também pelo uso diferente do inicialmente previsto e intervenções erróneas para suprir as novas necessidades.

Este trabalho consiste no estudo de medidas de melhoria de eficiência térmica e acústica no campo da reabilitação de edifícios, no intuito de compreender e avaliar o impacto que estas medidas podem representar no desempenho térmico e acústico do edifício.

Foi utilizado como caso de estudo deste trabalho um edifício de habitação “Gaioleiro”, para o qual foi analisado o seu desempenho térmico e acústico antes e após a aplicação de diferentes medidas de reabilitação.

A reabilitação térmica e acústica de edifícios constitui uma importante ferramenta para a correção de situações de inadequação funcional, proporcionando uma melhoria nas condições de conforto dos utilizadores. Permitindo reduzir o consumo de energia para aquecimento, arrefecimento, ventilação e, possibilitando a correção de patologias ligadas às condições higrotérmicas dos edifícios.

Palavras-chave: Reabilitação; Edifício “Gaioleiro”; Legislação; Reabilitação Térmica; Reabilitação Acústica; Patologias; Condições Higrotérmicas

ABSTRACT

Urban rehabilitation has been in expansion in the construction sector, not only by the loosening of new construction but also by the aging of housing stock. However, the investment in this particular area in Portugal is reduced in comparison with the rest of Europe. There are two reasons that can explain the reduced investment, the first one is the difficulty in fulfill the regulation of construction, the other one is the lack of information about de traditional construction process and materials.

“Gaioleiros” are a constructive typology which emerged during the urban expansion of Lisbon, between the end of the XIX century and the begin of XX century. Due to the speculation that was the release, were used materials with low quality combined with the lack of rigor in the techniques adopted in the construction of these buildings, which resulted on a poor construction quality.

Presently this typology represents a large part of Lisbon buildings and, for that, is part of the heritage that is important to preserve. The deterioration of these buildings happens due to the natural aging but also the overhead use and maladjusted changes to its suitable for new needs.

This work consists in the study of improvement measures thermal efficiency and acoustic in the building’s rehabilitation field, in order to understand and evaluate the impact of this measures can represent in the thermal and acoustic performance.

It was used as case study for this work a “Gaioleiro” building of single family, for which was analyzed the thermal and acoustic performance after and before the application of different rehabilitation measures.

Thermal and acoustic rehabilitation of buildings it’s an important tool that allows correct situation of functional inadequacy, providing an improve of the comfortable conditions of users. It will allow reduce the energy consumption used for heating, cooling, ventilation and, enabling the correction oh pathologies induced by the hygrothermal conditions of buildings.

Keywords: Rehabilitation; “Gaioleiro” Building; Legislation; Thermal Rehabilitation; Acoustic Rehabilitation; Pathologies; Hygrothermal Conditions

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos aqueles que, de alguma forma, directa ou indirectamente, contribuíram para a realização deste trabalho, em particular:

Ao meu pais pelo apoio incondicional, pela compreensão e pelo suporte que me concederam em todas as minhas decisões, durante toda a minha existência.

Agradeço aos meus tios e primos por estarem sempre presentes e serem o meu primeiro recurso face às dificuldades que encontrei durante esta etapa da minha vida.

Aos meus grandes amigos pela infinda amizade e grande contributo em todo o meu percurso académico, sendo eles uma parte fundamental para o meu sucesso.

Aos meus orientadores, Engenheiro Manuel Gamboa e Engenheiro Pedro Silva pelos ensinamentos e dedicação dispensados no auxílio à concretização deste trabalho.

ÍNDICE DE TEXTO

Conteúdo

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações gerais	1
1.2. Objectivos	2
1.3. Metodologia	2
1.4. Estrutura da dissertação.....	3
2. REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS.....	5
2.1. Considerações gerais	5
2.2. Evolução do edificado.....	9
2.2.1. Estruturas de Alvenaria anterior a 1755.....	9
2.2.2. Período Pombalino	10
2.2.3. Período Gaioleiro	14
2.3. Evolução da regulamentação térmica de edifícios	18
2.4. Evolução da regulamentação acústica de edifícios	22
3. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO “GAILEIRO”	25
3.1. Considerações gerais	25
3.2. Caracterização Arquitectónica	25
3.3. Caracterização Construtiva	27
3.4. Elementos Principais.....	27
3.4.1. Fundações.....	27
3.4.2. Paredes Exteriores	29
3.4.3. Paredes Interiores	30
3.4.4. Pavimentos	31
3.4.5. Cobertura.....	32
4. ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO DE UM CASO PRÁTICO ..	35
4.1. Considerações gerais	36
4.2. Caracterização espacial	37

4.3.	Caracterização construtiva	39
4.4.	Análise de desempenho térmico.....	40
4.4.1.	Coeficiente de transmissão térmica superficial	40
4.4.2.	Classe da inércia Térmica.....	41
4.4.3.	Fator de redução da massa superficial.....	42
4.4.4.	Classe energética	43
4.5.	Análise de desempenho acústico.....	45
4.5.1.	Isolamento acústico a sons de condução aérea.....	45
4.5.2.	Isolamento acústico a ruídos de percussão.....	46
4.6.	Renovação do ar interior	47
5.	MEDIDAS DE MELHORIA	49
5.1.	Piso Intermédio	49
5.1.1.	Paredes Exteriores	49
5.1.2.	Paredes Meeiras.....	53
5.1.3.	Pavimentos Interiores.....	54
5.1.4.	Vãos Envidraçados	57
5.2.	Piso Térreo	58
5.2.1.	Pavimento térreo	58
5.3.	Piso de Cobertura	60
5.3.1.	Cobertura.....	60
5.4.	Renovação do ar interior	62
6.	ANÁLISE COMPARATIVA	63
6.1.	Análise comparativa energética.....	63
6.2.	Análise comparativa de desempenho acústico	68
7.	CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	71
7.1.	Conclusões e Comentários Finais	71
7.2.	Desenvolvimentos Futuros.....	73
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	75
	ANEXOS.....	79

A1. COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS	1
A2. COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS APÓS APLICADAS AS MEDIDAS DE MELHORIA	1
A3. INTRODUÇÃO DE DADOS I - FOLHA DE CÁLCULO DE APLICAÇÃO DO REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO – PISO INTERMÉDIO	2
A4. INTRODUÇÃO DE DADOS II - FOLHA DE CÁLCULO DE APLICAÇÃO DO REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO - PISO INTERMÉDIO	12
A5. CÁLCULO DA INERCIA TÉRMICA DOS ELEMENTOS DO PISO INTERMÉDIO	15
A6. FOLHAS DE CÁLCULO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DO PISO INTERMÉDIO	17
A7. TABELA COMPARATIVA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO PARA AS DIFERENTES COMBINAÇÕES	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1- Planta da cidade de Lisboa antes do terramoto	11
Figura 2.2- Planta nº5	12
Figura 2.3- Sistema construtivo gaiola pombalina	13
Figura 2.4- Plano de expansão das "Avenidas Novas"	16
Figura 2.5- Planta de Lisboa de Ressano Garcia	17
Figura 2.6- Esquema de evolução da regulamentação acústica em Portugal	23
Figura 2.7- Inter-relação aplicativa e hierárquica entre os dois regulamentos	23
Figura 3.1- Planta do típico fogo "Gaioleiro", adaptado de	26
Figura 3.2- Carta de tipos de solos de Lisboa e mapa de localização de edifícios "Gaioleiros"	27
Figura 3.3- Fundação directa	28
Figura 3.4- Fundação semi-directa	28
Figura 3.5- Espessura variável das paredes exteriores dos edifícios "Gaioleiros"	29
Figura 3.6- Parede Interior em tabique	30
Figura 3.7- Tipos de ligações entre pavimentos e paredes resistentes: a) Ligação por encaixe; b) Ligação através de ancoragem; c) Ligação através de frechal	31
Figura 3.8- Tipos de ligação com utilização de frechais: a) Frechal sobre consola de ferro; b) Frechal aferrolhado sobre dente da parede; c) Frechal sobre dente da parede	31
Figura 3.9- Pavimento em estrutura metálica	32
Figura 3.10- Esquema representativo da cobertura de Águas-furtadas e Mansarda	33
Figura 3.11- Estrutura de madeira utilizada nas coberturas dos edifícios "Gaioleiros"	33
Figura 3.12 - Tipos de apoios da estrutura da cobertura:a) Fixação das asnas à parede resistente por elementos metálicos; b) Apoio directo sobre consola de pedra	34
Figura 4.1 - Fotografia aérea do edifício em estudo e fachada	36
Figura 4.2 - Planta ilustrativa do levantamento dimensional do fogo.....	38
Figura 4.3 - Esquema representativo dos elementos que constituem a envolvente.....	42
Figura 4.4 - Coeficiente de redução para elementos do tipo 1.	43
Figura 4.5 - Coeficiente de redução para elementos do tipo 3.	43
Figura 4.6 - Balanço energético do piso térreo.	44
Figura 4.7 - Balanço energético do piso intermédio.	44
Figura 4.8 - Balanço energético do piso de cobertura.	44
Figura 4.9 - Representação esquemática do funcionamento da ventilação.	47
Figura 5.1 - Representação em planta da solução de isolamento pelo interior	50
Figura 5.2 - Sistema de isolamento térmico com revestimento espesso (esquerda). Sistema de isolamento térmico com revestimento delgado (direita)	51

Figura 5.3 - Esquema do revestimento independente com interposição de isolante térmico na caixa-de-ar	53
Figura 5.4 - Representação em planta da solução de isolamento pelo interior	54
Figura 5.5- Corte vertical da solução que combina isolamento inferior e superior.....	55
Figura 5.6 - Corte vertical da solução que combina isolamento intermédio e superior	56
Figura 5.7 – Corte vertical da solução de isolamento térmico na zona inferior do pavimento ...	58
Figura 5.8 – Corte vertical da solução de isolamento térmico na zona intermédia do pavimento	59
Figura 5.9 – Corte vertical da cobertura inclinada com isolamento térmico na esteira horizontal de um desvão habitável	60
Figura 5.10 - Corte vertical da cobertura inclinada com isolamento térmico nas vertentes de um desvão não habitável	61
Figura 5.11 - Representação esquemática do funcionamento da ventilação melhorada	62

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1-Peso das obras de reabilitação no total de obras de 2013	5
Gráfico 2.2 - Evolução das obras de Construção Nova e Reabilitação (2008-2013).....	6
Gráfico 2.3 - Produtividade do segmento da reabilitação de edifícios em países da União Europeia	6
Gráfico 2.4 - Evolução do número de alvarás (2004-2012)	7
Gráfico 2.5 - Variação de alvarás por categoria.....	8
Gráfico 2.7 - Número de alvarás de 1ª categoria, "Reabilitação e Conservação de edifícios", por classe.....	8
Gráfico 2.8 - Evolução da população de Lisboa, adaptado de	14
Gráfico 2.9 - Evolução do número de licenças de edificação (1860-1917) e de prédios construídos (1920-1930).....	18

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Obras de reabilitação por tipo de obra	7
Tabela 4.1 - Legenda da planta ilustrativa	37
Tabela 4.2 - Resumo das características dos elementos construtivos do edifício em estudo.	39
Tabela 4.3 - Tabela resumo dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos construtivos.	40
Tabela 4.4 - Influência do revestimento superficial interior.	42
Tabela 4.5 - Valor do factor de redução em função de R para EL1 e EL2.	42
Tabela 4.6 - Valor do factor de redução em função de R para EL3.	43
Tabela 5.1 - Principais vantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo interior.....	50
Tabela 5.2 - Principais desvantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo interior	51
Tabela 5.3 - Principais vantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior ETICS	52
Tabela 5.4 - Principais desvantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior ETCIS	52
Tabela 5.5 - Principais vantagens da aplicação de isolamento nas zonas superior e inferior	55
Tabela 5.6 - Principais desvantagens da aplicação de isolamento nas zonas superior e inferior	56
Tabela 5.7 - Principais vantagens do sistema de isolamento superior e intermédio	56
Tabela 5.8 - Principais desvantagens do sistema de isolamento superior e intermédio	57
Tabela 5.9 - Principais vantagens da aplicação de isolamento na zona inferior do pavimento... ..	59
Tabela 5.10 - Principais desvantagens da aplicação de isolamento na zona intermédia do pavimento.....	60
Tabela 5.11 - Principais vantagens da aplicação de isolamento térmico na esteira	61
Tabela 5.12 - Principais desvantagens da aplicação de isolamento térmico nas vertentes	62
Tabela 6.1 - Combinações das diferentes medidas de melhoria propostas para os elementos construtivos do piso intermédio	63
Tabela 6.2 - Resumo da classe energética para as diferentes combinações do piso intermédio .	64
Tabela 6.3 - Combinações das diferentes medidas de melhoria propostas para os elementos construtivos do piso de cobertura.....	65
Tabela 6.4 - Resumo da classe energética para as diferentes combinações do piso de cobertura	66
Tabela 6.5 - Combinações das diferentes medidas de melhoria propostas para os elementos construtivos do piso de térreo.....	67
Tabela 6.6 - Resumo da classe energética para as diferentes combinações do piso térreo	67
Tabela 6.7 - Resume das soluções propostas para melhoria do isolamento sonoro dos diferentes elementos.....	68

Siglas e Abreviaturas

- REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
- RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
- RERU – Regime Excepcional de Reabilitação Urbana
- RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios
- SCE – Sistema Certificação Energética dos Edifícios
- RGSCIE – Regulamento Geral de Segurança Contra Incêndios em Edifícios
- RGEU – Regulamento Geral das Edificações Urbanas
- ADENE – Agência para a Energia
- EU – União Europeia
- RQTEE – Regras de Qualidade Térmica da Envolvente de Edifícios
- CEGENE – Comissão para Estudo da Gestão de Energia em Edifícios
- CEE – Comunidade Europeia Económica
- RQSE – Regulamento de Gestão do consumo de Energia
- RQCE – Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios
- RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
- RGR – Regulamento Geral do Ruído
- LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações gerais

O sector da Reabilitação de Edifícios em Portugal encontra-se em atraso em relação aos outros países europeus, como consequência desse atraso, existe um parque habitacional envelhecido e uma parte considerável, em avançado estado de degradação.

Durante a sua vida útil, um edifício fica sujeito à deterioração natural da sua qualidade inicial que resulta da sua utilização e da durabilidade dos materiais.

A maioria dos edifícios de habitação construídos nas últimas décadas não responde às necessidades de conforto térmico, acústico e qualidade do ar interior dos ocupantes, motivando o aumento significativo dos consumos energéticos. As principais características responsáveis pelo baixo desempenho energético do parque habitacional são [1]:

- Isolamento térmico insuficiente nos elementos opacos da envolvente;
- Falta de protecção solar adequada nos vãos envidraçados, dando origem a sobreaquecimento no interior dos edifícios aumentando as necessidades energéticas no caso de habitações com sistemas de arrefecimento;
- Presença de humidade, afetando o desempenho energético e a durabilidade;
- Baixo desempenho térmico de vãos envidraçados e portas (perdas de calor desproporcionadas por transmissão térmica e por infiltrações excessivas de ar);
- Existência de pontes térmicas na envolvente do edifício e insuficiente isolamento das mesmas;
- Ventilação não-controlada, criando maiores necessidades energéticas em aquecimento no inverno;
- Ventilação insuficiente, conduzindo a maiores níveis de humidade relativa no inverno e sobreaquecimento no verão. Provocando o desconforto dos ocupantes, fenómenos de condensação e baixo nível de qualidade do ar interior.

Quando se pretende reabilitar um edifício é preciso ter a consciência de que cada caso é um caso, não existe um fluxograma mas sim um conjunto de princípios gerais, que devem ser aplicados em função das condicionantes existentes. Estas condicionantes podem ser de várias naturezas desde limitações de cariz financeiro, compatibilidade de materiais ou processos construtivos.

Os factores que explicam o fraco investimento na reabilitação em detrimento da construção nova são, a dificuldade em cumprir a legislação da construção, a falta de informação acerca dos processos construtivos e materiais tradicionais, e a inexistência de profissionais com formação nas técnicas tradicionais. De forma a contornar o problema da actual legislação da construção foi

aprovado o R.E.R.U. (Regime Excepcional de Reabilitação Urbana), que dispensa as obras de reabilitação urbana do cumprimento de determinadas normas técnicas aplicáveis à construção.

O R.E.H. (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação), R.E.C.S. (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços) e o R.R.A.E. (Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios) são fundamentais para promover a qualidade e condições de conforto das habitações, pelo que é importante que sejam aplicáveis, tendo em conta as condicionantes dos edifícios devolutos, tanto em termos de desempenho como de utilização.

1.2. Objectivos

Este trabalho final de mestrado tem como objectivo o estudo de medidas de reabilitação de edifícios antigos a nível da envolvente exterior, visando melhorar o desempenho térmico e acústico.

Pretende-se identificar as diferentes soluções para a reabilitação térmica e acústica de edifícios antigos e a sua aplicabilidade, com o objectivo de avaliar propostas de intervenção e o seu impacto no desempenho térmico e acústico de um edifício estudado.

Propõem-se compreender e analisar o sistema construtivo dos edifícios “Gaioleiros”, entre os finais do século XIX e o início do século XX. Conhecer a evolução do edificado, quais as alterações realizadas nos edifícios que permitiram acompanhar a evolução das necessidades e, quais os princípios a ter em conta quando se pretende realizar uma intervenção de reabilitação.

É objecto de estudo desta dissertação um edifício construído na década de 30, para o qual é pretendido analisar o respectivo desempenho térmico e acústico, antes e após a implementação das medidas de melhoria. Esta análise será realizada através das ferramentas da folha de cálculo de aplicação do regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação, de onde se esperam obter a classificação energética que vai permitir avaliar o impacto das medidas implementadas.

Pretende-se também identificar as dificuldades e incompatibilidades que surgem na verificação da conformidade dos regulamentos (RERU, REH, RRAE) numa intervenção a um edifício antigo sem comprometer o seu valor patrimonial.

1.3. Metodologia

Numa primeira abordagem irá ser realizada uma análise ao sistema construtivo dos edifícios “Gaioleiros”, com particular incidência nos elementos da envolvente, o seu enquadrando

histórico, os processos construtivos e materiais utilizados, bem como as alterações que têm vindo a implementadas, de forma a acompanhar a evolução das necessidades dos utilizadores.

Como caso de estudo foi escolhido um edifício “Gaioleiro” do século XX, localizado na Rua Carlos José Barreiros, com um total de cinco pisos. Trata-se de um edifício de habitação inserido numa zona residencial consolidada, todos os pisos destinam-se à habitação. Com base neste edifício será realizado um estudo relativamente ao seu desempenho térmico e acústico, tendo em conta a legislação actual para este tipo de edifício. Será analisada uma fracção entre pisos, a fracção do rés-do-chão e a fracção do último piso, com base nestas três fracções será extrapolado o desempenho para o edifício.

É expectável que o edifício não cumpra a legislação em vigor, particularmente, no que diz respeito ao conforto térmico e acústico. Assim, serão alvo de análise o RERU, REH e RAAE, regulamentos que visam estabelecer os requisitos mínimos de forma a respeitar as necessidades actuais e, apresentam inclusive exemplos de soluções a implementar.

De seguida serão propostas diversas soluções que permitam ao edifício respeitar a legislação e garantir condições de conforto aos ocupantes. Soluções essas que terão como critério de escolha não apenas a sua eficiência, mas também, os princípios da reabilitação de edifícios.

1.4. Estrutura da dissertação

Este trabalho final de mestrado encontra-se dividido em sete capítulos, incluindo a introdução e conclusão. No capítulo introdutório serão apresentados os pontos que irão ser tratados ao longo do trabalho, é realizado um enquadramento geral e, são definidos os objectivos deste trabalho bem como a estrutura do mesmo.

No segundo capítulo seguinte são definidos quais os principais objectivos numa intervenção de reabilitação. É realizada uma análise comparativa entre a reabilitação e a construção nova, em Portugal, entre valores do passado e actuais. Caracteriza-se a evolução do edificado em Lisboa, dos elementos principais dos edifícios antigos de alvenaria desde o período anterior ao terramoto de 1755 até ao final dos anos 30 do século XX. É também feito um enquadramento histórico que levou ao aparecimento da tipologia dos edifícios “Gaioleiros”. É caracterizada a evolução da regulamentação térmica e acústica de edifícios em Portugal, desde meados dos anos 80 até aos dias que correm.

No terceiro capítulo é feita uma caracterização construtiva dos edifícios “Gaioleiros”, onde serão analisadas os processos construtivos e os materiais utilizados neste tipo de construção. É efectuada uma descrição pormenorizada dos elementos principais e, justificada a vulnerabilidade característica deste tipo de edifícios.

No quarto capítulo é realizada a caracterização espacial e construtiva do edifício estudado, que vai permitir efectuar a análise de desempenho térmico, de forma a obter a classe energética segundo a escala pré-estabelecida pela ADENE. Caracteriza-se o isolamento acústico a sons de condução aérea e ruídos de percussão, para determinar se verifica a legislação. É também estudada a renovação do ar interior, para determinar se é necessário introdução de meios mecânicos que permitam aumentar a taxa de renovação do ar.

No quinto capítulo são propostas as medidas de melhoria para os elementos principais, que se traduzam numa melhoria da classificação energética e, eficiente isolamento acústico de cada um dos pisos estudados. São caracterizadas as várias soluções para cada elemento e, apresentadas as vantagens e desvantagens de cada uma delas.

No sexto capítulo procede-se à análise comparativa energética e de desempenho acústico das diferentes soluções propostas no capítulo anterior. É dada especial atenção ao cumprimento de alguns parâmetros em função da tipologia do edifício estudado, e que diferencia a intervenção num edifício antigo de um edifício recente.

Por último, no sétimo capítulo elaboram-se as conclusões sobre os temas abordados e são também confrontados os objectivos propostas com os objectivos alcançados.

Esta dissertação não foi redigida de acordo com o novo acordo ortográfico.

2. REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

2.1. Considerações gerais

A reabilitação de edifícios é uma intervenção que visa garantir a preservação e em alguns casos requalificação através do tratamento das patologias existentes, respeitando a especificidade cultural e herança patrimonial do edifício.

A reabilitação de edifícios tem como principal objectivo a melhoria das condições de vida da população, particularmente nas áreas mais degradadas. Em relação ao nível do ordenamento os seus objectivos são:

- Garantir a protecção e promover a valorização do património cultural;
- Assegurar a integração funcional e a diversidade económica, social e cultural no tecido urbano existente;
- Promover a coesão territorial;
- Assegurar a integração funcional e a diversidade económica, social e cultural no espaço urbano;
- Promover a sustentabilidade ambiental, cultural, social e económica dos espaços urbanos.

A nível nacional a reabilitação tem vindo a ganhar importância embora insuficiente tendo em conta o grande património urbano e arquitectónico de Portugal. Esse desinteresse verifica-se pela reduzida documentação acerca dos materiais utilizados e processos construtivos da época, dificultando o trabalho dos profissionais que se dediquem a esta área em particular.

O principal segmento da construção é o da construção nova de edifícios, porém o sector da reabilitação tem assumido uma maior importância dentro da construção. Esta situação deve-se à diminuição da construção nova enquanto o número de edifícios reabilitados tem-se mantido relativamente estável. As obras de reabilitação representavam, em 2013, 70,9% do total de obras concluídas, como se encontra ilustrado no Gráfico 2.1.

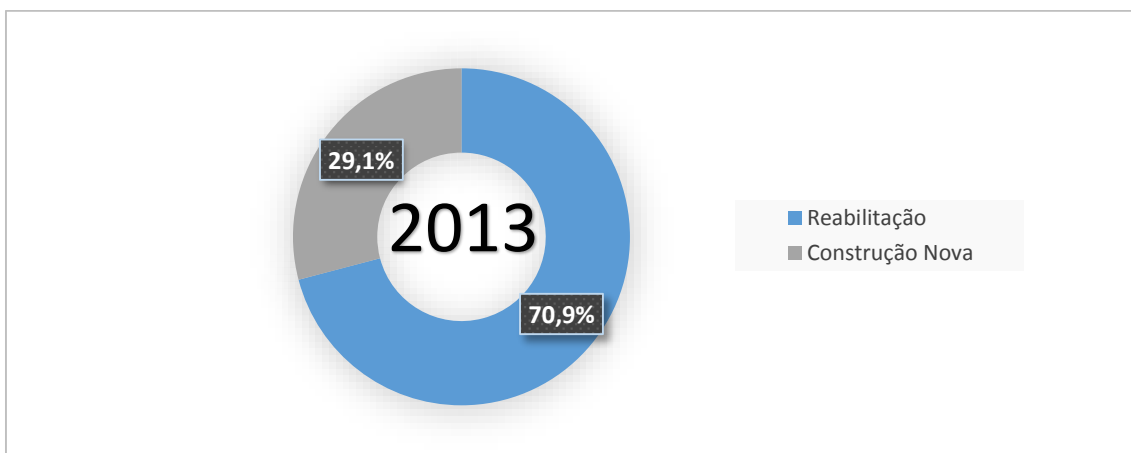


Gráfico 2.1-Peso das obras de reabilitação no total de obras de 2013 [4]

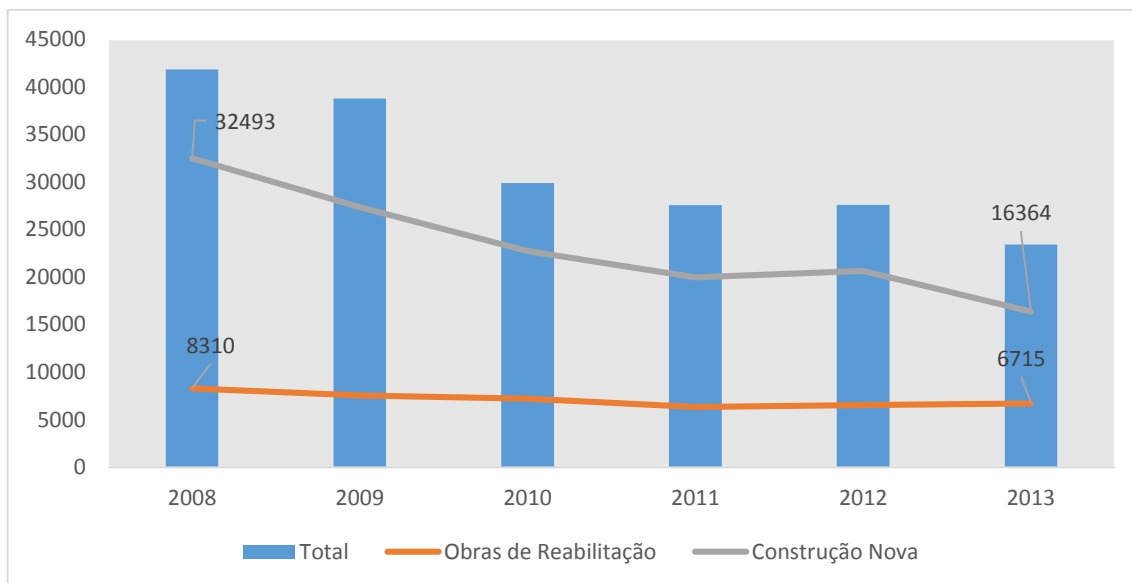


Gráfico 2.2 - Evolução das obras de Construção Nova e Reabilitação (2008-2013), adaptado [6]

Era espectável que após a adesão de Portugal à união europeia o número de edifícios reabilitados aumenta-se, aproximando-se assim da média europeia. Passados quase 30 anos verifica-se que tal não aconteceu, encontrando-se Portugal nos países com menor de edifícios reabilitados da união europeia, como é possível constatar no Gráfico 2.3.

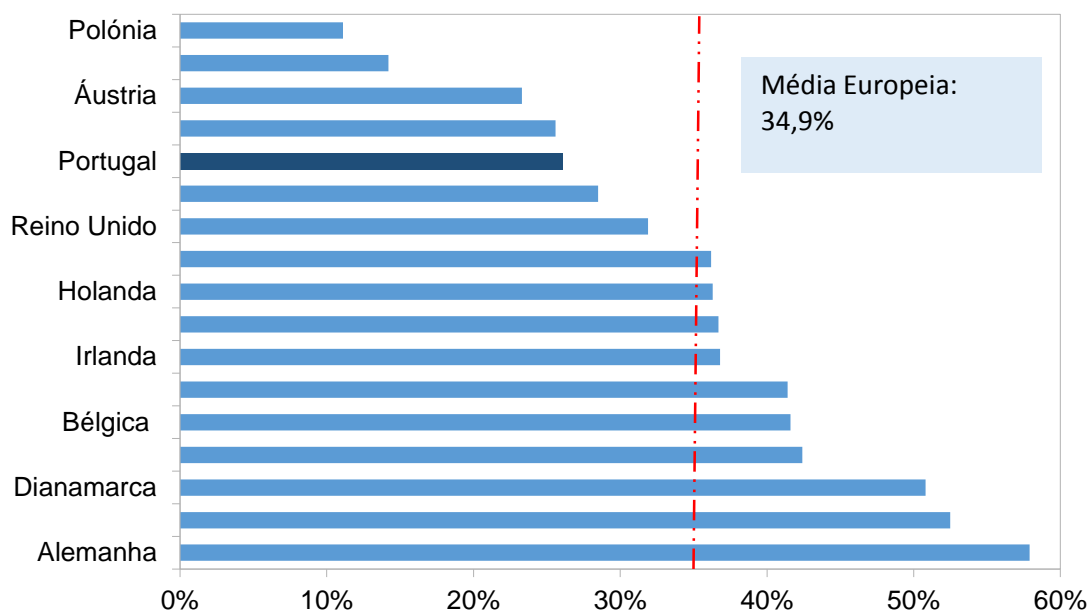


Gráfico 2.3 - Produtividade do segmento da reabilitação de edifícios em países da União Europeia, adaptado [4]

Dentro da reabilitação existem três tipos de intervenções: alteração, reconstrução e ampliação. Sendo que a maioria das intervenções realizadas são ampliações de alojamentos existentes, encontra-se resumido na Tabela 2.1 abaixo, esta situação deve-se ao facto da reabilitação ter sido

promovida de uma forma geral por entidades particulares (pessoas singulares e empresas privadas).

Tabela 2.1 - Obras de reabilitação por tipo de obra [6]

Ano	Alteração				Ampliação				Reconstrução			
	TOTAL	(%)	H.F.*	(%)	TOTAL	(%)	H.F.*	(%)	TOTAL	(%)	H.F.	(%)
2008	1635	19,7	999	61,1	5599	67,4	3967	70,9	1076	12,9	914	84,9
2009	1443	19,0	852	59,0	5282	69,6	3722	70,5	862	11,4	721	83,6
2010	1257	18,4	767	61,0	4806	70,2	3270	68,0	781	11,4	639	81,8
2011	1149	17,5	712	62,0	4715	71,8	3223	68,4	705	10,7	548	77,7
2012	1275	18,3	797	62,5	4800	69,0	3201	66,7	879	12,6	662	75,3
2013	1111	16,5	660	59,4	4696	69,9	3021	64,3	908	13,5	674	74,2

*H.F. = Habitação Familiar

O sector da construção em Portugal tem registado uma diminuição de entidades detentoras de qualificação a partir de 2008, registando-se uma diminuição acentuada no ano de 2012, como se encontra ilustrado Gráfico 2.4.

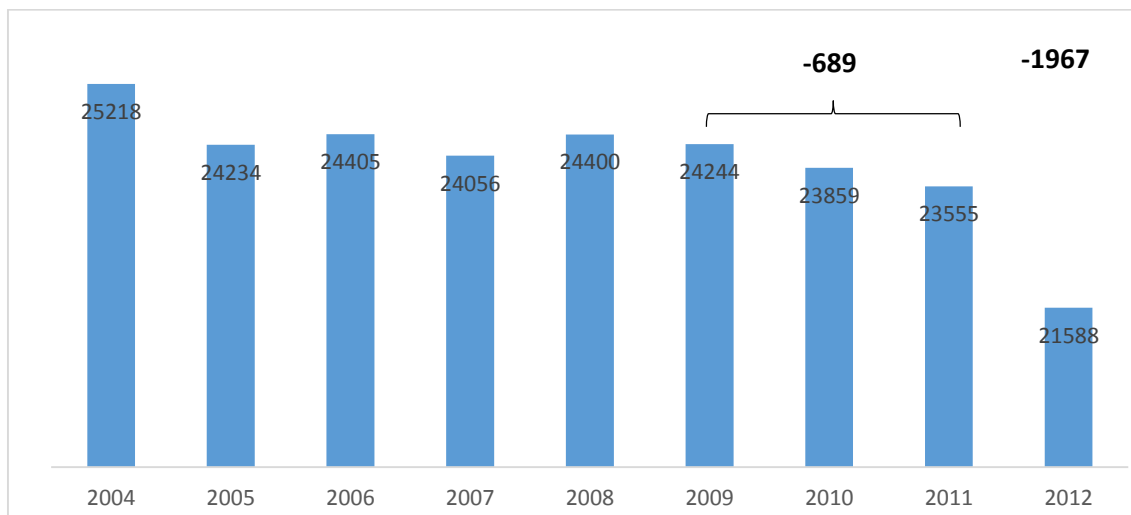


Gráfico 2.4 - Evolução do número de alvarás (2004-2012) [5]

No entanto regista-se um aumento do número de entidades com alvará referente a “Reabilitação e Conservação de Edifícios”, é possível identificar esse aumento no Gráfico 2.5.

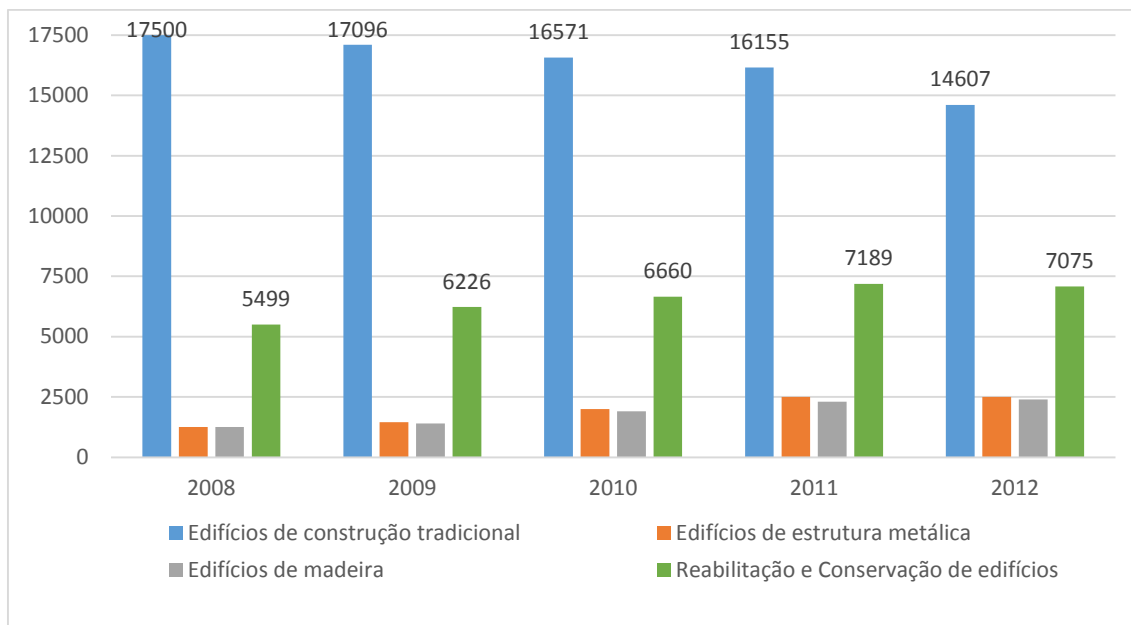


Gráfico 2.5 - Variação de alvarás por categoria [6]

Embora mais de 50% são de classe 1 o que corresponde a pequenas intervenções, encontra-se evidenciado no Gráfico 2.6, continua desta forma a ser dada uma importância secundária às obras de reabilitação de edifícios. A classe 1 corresponde a obras até 166 000 €.

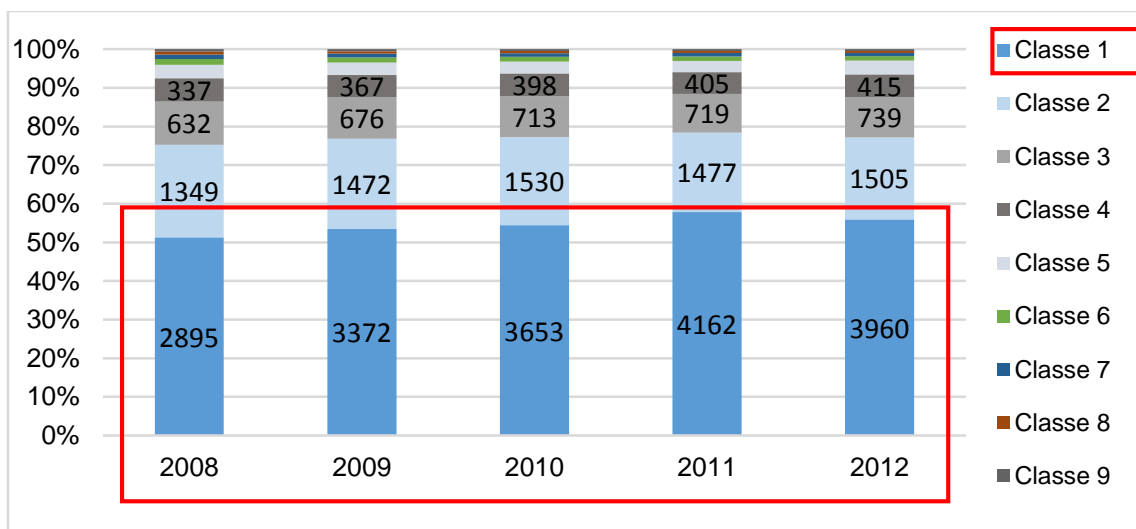


Gráfico 2.6 - Número de alvarás de 1ª categoria, "Reabilitação e Conservação de edifícios", por classe, adaptado [5]

Conclui-se assim que o sector da construção em Portugal está vocacionado maioritariamente para a realização de construção nova, verifica-se que o segmento da reabilitação tem assumido uma maior importância relativa no sector sem que isso se traduza num aumento da actividade real do segmento.

Apesar da redução do ritmo de construção nova o segmento da reabilitação apresenta ainda um dinamismo limitado. Existem diversos factores que levam à retracção do segmento, tais como: a falta de liquidez financeira das empresas e promotores imobiliários, a dificuldade de escoamento

de habitação nova e a existência de legislação na construção que não se adequa às intervenções de reabilitação.

Em caso de dinamização as empresas que se dediquem a este segmento devem procurar a especializar-se, tanto ao nível do processos construtivos, como materiais utilizados e contar com mão-de-obra qualificada.

2.2. Evolução do edificado

A tipologia construtiva está directamente relacionada com as características estruturais, a época de construção, e tecnologias construtivas utilizadas. A sua evolução deve-se ao surgimento de novas necessidades com o passar dos anos, ao avanço da ciência e da tecnologia. Para que haja uma melhor percepção dos períodos históricos de construção, ao efectuar-se a descrição das diferentes tipologias construtivas, é frequente associar um intervalo de tempo a cada tipologia. No entanto é preciso realçar que os principais marcos históricos não constituem fronteiras rígidas e, na maioria dos casos a alteração das tipologias processa-se de uma forma gradual, existindo soluções de continuidade entre épocas [2].

“Edifício antigo é aquele que foi construído antes do advento do betão armado como material dominante”, ou seja, antes do aparecimento do cimento Portland, recorrendo-se a materiais e tecnologias tradicionais para a construção dos diferentes elementos constitutivos, materiais e técnicas que têm origem quase perdida no tempo [3].

Esta definição redutora relaciona-se com o facto de ter sido o betão armado o responsável por rápidas e profundas alterações nos processos construtivos, durante séculos recorreu-se sistematicamente aos mesmos materiais. A madeira, a pedra, o barro e a cal foram assim utilizados ao longo do tempo, sem grandes alterações, e nem o desenvolvimento da produção industrial do ferro e aço, a partir do século XIX, não se traduziu, em Portugal, em alterações consideráveis dos hábitos construtivos, excepção feita aos edifícios industriais, já que, de resto, o uso do ferro continua a ser concentrado em pequenos elementos, estruturais e não estruturais de origem antiga

[5] [S1].

2.2.1. Estruturas de Alvenaria anterior a 1755

Devido à falta de registos acerca do edificado de Lisboa anterior ao ano de 1755 e como após o sismo de 1 de Novembro grande parte das construções existentes foram destruídas ou ficaram seriamente danificadas, não é possível estabelecer uma tipologia construtiva para este período da história. São considerados edifícios desta categoria, aqueles que resistiram total ou parcialmente ao terramoto, não tendo obrigatoriamente características iguais [7].

Existem 3 tipo de edifícios neste período:

- **Edifícios de qualidade elevada:** estes apresentam paredes de alvenaria bem cuidada, pedra aparelhada pelo menos nos cunhais, com elementos de travamento.
- **Edifícios de qualidade inferior:** apresentam paredes de alvenaria pobres, grande deformação permanente e ausência de elementos de travamento e, espessura considerável, os pavimentos vencem vãos pequenos e são de madeira.
- **Edifícios com andar de resalto:** são constituídos por rés-do-chão em alvenaria de pedra e pavimento em arco que serve de suporte a um ou dois pisos, salientes em relação ao rés-do-chão, o revestimento exterior das paredes é de alvenaria mista em enxadrezado.

Em regra os edifícios costumavam ter dois, três ou no máximo quatro andares com pé-direito muito reduzido, grande densidade de paredes e poucas aberturas para o exterior.

Um pormenor construtivo desta época é a utilização das “fachadas em bico” quando as águas da cobertura são executadas perpendicularmente à fachada.

Os edifícios deste período também não possuíam instalações sanitárias, sendo o acesso à via pública efectuado da forma mais directa possível, e sem vestíbulo na entrada.

É possível encontrar edifícios deste período nos bairros históricos de Alfama, Castelo, Mouraria e Bairro Alto [82].

2.2.2. Período Pombalino

O sismo de 1755 do qual resultou a destruição quase completa da cidade de Lisboa ocorreu no dia 1 de Novembro, e foi um marco na história da construção em Portugal. Foi acompanhado por um maremoto e um incêndio que em conjunto destruíram 17 a 20 mil edifícios, incluindo dois terços das habitações. [9] Grande parte dos estragos não foi causada pelo terramoto, mas sim pelo incêndio que lhe sucedeu. O incêndio que, flagrou durante 6 dias, teve origem na queda de velas nas igrejas que se estavam repletas de pessoas, tratava-se de um dia santo, o dia de todos os santos. Os ventos fortes mudando constantemente de direcção contribuíram para o aumento das chamas fazendo com que o fumo fosse visível em Santarém, que se encontra a 60km da capital [8].

Os efeitos da catástrofe foram atenuados pelo facto da cidade se encontrar localizada no interior de um estuário ficou protegida das vagas do oceano e, o aqueduto das águas livres foi poupado o que permitiu o abastecimento de água após o terramoto [10].



Figura 2.1- Planta da cidade de Lisboa antes do terramoto [S3]

O terramoto de 1755 teve um grande impacto político e socioeconómico na sociedade portuguesa do século XVIII, dando origem aos primeiros estudos científicos de um terramoto numa área alargada, marcando assim o nascimento da moderna sismologia [8].

Foi Marquês de Pombal quem assumiu de imediato a resolução da crise, nomeou o engenheiro-mor do Reino, Manuel da Maia que elabora-se um plano para a reconstrução da cidade segundo várias fases de que apresenta documentos explicando várias soluções possíveis e respectivas vantagens e desvantagens [9].

A reconstrução foi delineada segunda várias fases acompanhada de regulamentos próprios apresentados no seguinte organigrama:

Foi a planta elaborada pelo Capitão Eugénio dos Santos e Carvalho que à partida não procurou manter as igrejas nos mesmos locais, a escolhida para a reconstrução da cidade, trata-se de um traçado ortogonal com as seguintes características:

- A praça do comércio tem a forma de um amplo quadrado;
- A praça do Rossio tem sensivelmente metade da área da praça do comércio;
- As poucas igrejas são confinadas à estrutura do quarteirão;
- Os quarteirões possuem logradouros claramente definidos;
- O alinhamento entre a praça do comércio e do rossio é feito pelos lados poentes, e não pelo eixo.

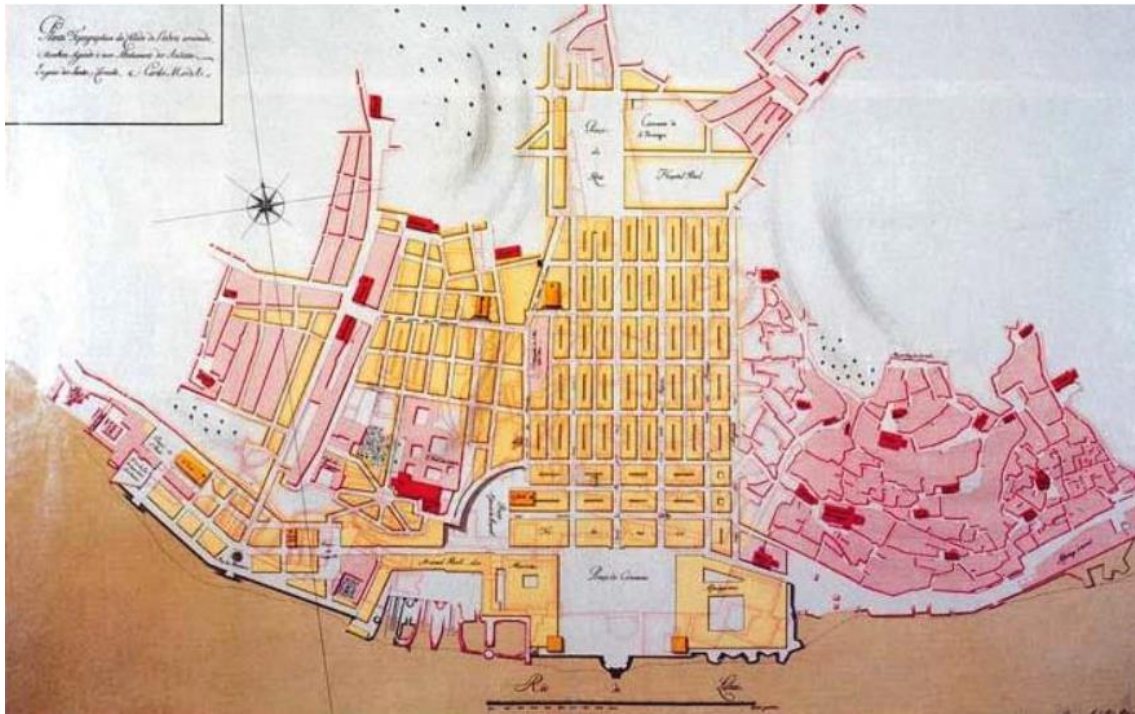


Figura 2.2- Planta nº5 [S4]

A reconstrução da cidade foi efectuada incorporando novos conceitos urbanos mas também inovações em termos de funcionamento, salubridade e prevenção de possíveis calamidades. Destacam-se o alinhamento das fachadas que facilitava a fuga dos habitantes e o acesso às duas grandes praças em caso de sismo, limitou-se a altura dos edifícios de forma a reduzir o risco de colapso, reconstrução sobre uma plataforma mais elevada constituída pelo entulho das demolições de forma a eliminar o risco de inundações e, ao agrupar-se os edifícios em quarteirões contribui para a melhor estabilidade estrutural.

Existiu uma preocupação em conferir aos edifícios maior resistência aos sismos, nesse sentido foram introduzidas inovações construtivas, sendo a mais relevante a estrutura em pórtico tridimensional de madeira, que viria a ser conhecida como a “gaiola” pombalina.

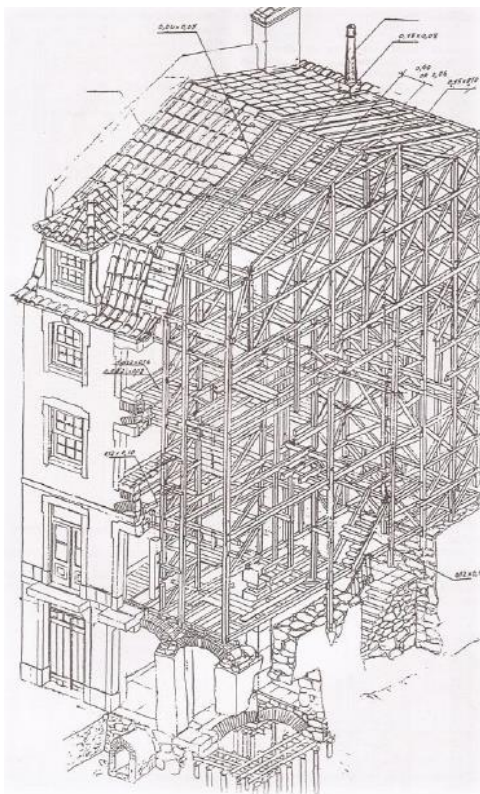


Figura 2.3- Sistema construtivo gaiola pombalina [9]

Para apressar as obras, foram concebidos esquemas de construção rigorosos que hoje se designariam de pré-fabricação, com peças normalizadas e já prontas para montar no local da obra. Os edifícios característicos do período pombalino seguem uma geometria regular, exemplo disso são as fachadas que não possuem elementos decorativos e o seu pormenor varia conforme a hierarquia ou importância da rua, sendo que nestas os pormenores eram mais elaborados. A hierarquia das ruas era feita também através da distribuição de usos comerciais mais ou menos correntes, incluindo pequenas oficinas artesanais.

Os edifícios pombalinos apresentam as seguintes características de construção:

- Paredes-mestras são paredes constituídas por alvenaria de pedra ordinária rebocada e apresentam grande espessura, na ordem dos 0,9 e 1,0 m, ao nível do rés-do-chão, reduzindo esta em altura. A alvenaria existente nestas paredes é de taipal, onde a argamassa é de cal aérea.
- Paredes divisórias interiores de tabique, que são constituídos por uma série de tábuas pregadas e, calhas de madeira que se fixam em baixo, no soalho, e em cima, nas vigas do tecto, possuem prumos, travessas e diagonais. Posteriormente faz-se o fasquiado de ambos os lados e reboca-se, com uma espessura total entre 0,10 e 0,12m [11].
- Acima do primeiro andar existe a **gaiola de madeira**, cuja estrutura se baseia em paredes de frontal formando uma malha ortogonal que recebe os vigamentos de piso complementada por uma estrutura simples que é colocada do lado interior dos paramentos exteriores que confina toda

a alvenaria das paredes exteriores. A gaiola é essencial para o travamento da estrutura e é a chave do bom funcionamento sísmico destes edifícios [5].

- Limitação das alturas dos edifícios a 3 pisos, mais mansarda;
- Paredes meãs entre edifícios acima dos telhados reduzindo desta forma os riscos de passagem de fogo de uns edifícios para os outros;
- *Uso rasgado do rés-do-chão amplo e rasgado para permitir a instalação de lojas ou armazéns;*
- *Aproveitamento das mansardas e águas furtadas* [7].

2.2.3. Período Gaioleiro

À medida que os anos foram passando sobre a data do terramoto, o rigor de construção típico pombalino foi caindo no esquecimento. A construção pombalina duraria até meados do século XIX, altura em que surge um novo tipo de construção denominada por “Gaioleiro”.

Em 1878 no 1º censo da população registaram-se 227 674 pessoas em Lisboa, ao passo que em 1890 registaram-se 301 206 pessoas, o que corresponde a um crescimento de 32% nesse período. [11] Este crescimento da população está relacionado com as melhores condições de vida existentes na cidade (saneamento básico, emprego, transportes), que originou uma migração das populações dos meios rurais para os grandes centros urbanos.

Durante as décadas seguintes a 1890, manteve-se a tendência do aumento da taxa de crescimento populacional, com excepção do período entre 1910-1920, marcado pela primeira guerra mundial (1914) e pela implantação da República (1910), é possível identificar esse aumento no Gráfico 2.7.

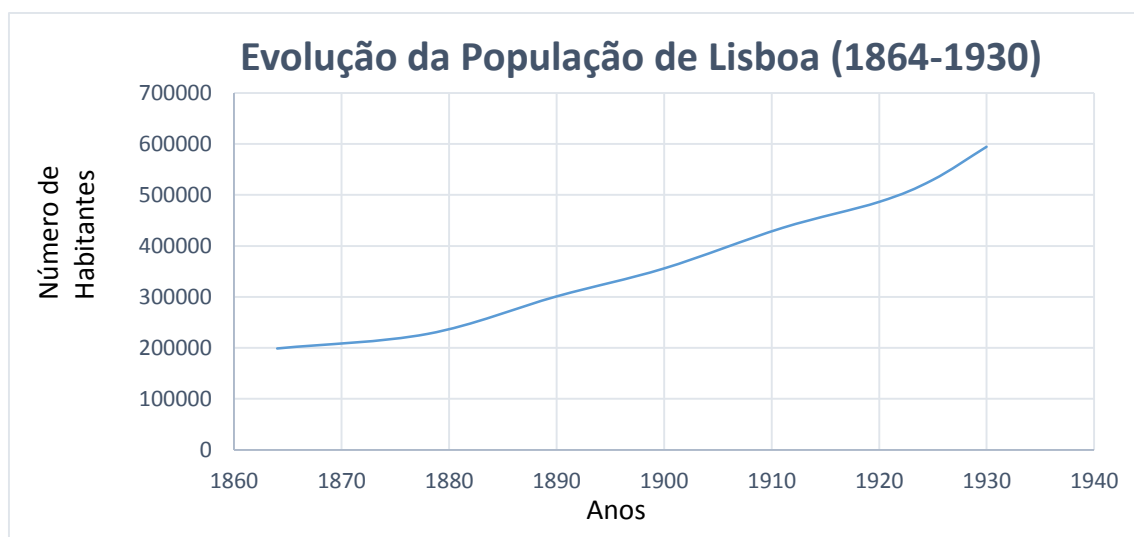


Gráfico 2.7 - Evolução da população de Lisboa, adaptado de [14]

Surge desta forma a necessidade de expansão da cidade de Lisboa para Norte, que foi protagonizada pelo Engenheiro da Câmara, Fernando Ressano Garcia, a maior intervenção de

planeamento urbano levada a cabo em Lisboa desde a reconstrução da cidade que se seguiu ao sismo de 1755.

Ressano Garcia foi formado na *Ecole des Ponts et Chaussées* de Paris e, na elaboração do plano de expansão da cidade de Lisboa, inspirou-se, no trabalho de Georges-Eugène Haussmann na renovação de Paris. As infra-estruturas para o bastecimento de água, gás e electricidade foram instaladas no subsolo, facilitando a passagem à superfície e sobre as ruas das linhas de eléctrico e de telefone. A implementação de uma malha ortogonal que se articulam num eixo principal, ruas e avenidas largas com passeios ou praças centrais arborizadas.

Com este projecto inicia-se a expansão da cidade de Lisboa para Norte. Abandona-se assim o crescimento junto ao Tejo após muitos séculos em detrimento da zona de baixa, sendo que o alargamento foi feito em “círculos”^[12].

Este foi o plano que mais contribuiu para o desenvolvimento de Lisboa, tendo sido desenvolvidos os projectos de abertura da Avenida da liberdade. Esta iria terminar numa ampla rotunda de distribuição, continuando a expansão para noroeste através da Avenida Fontes Pereira de Melo, colocando no seu topo mais uma rotunda, a Praça do Duque de Saldanha, e a partir dela a Avenida da República, contornada pela Av. António Mário Avelar (actual Av. 5 de Outubro), e pela Av. Pinto Coelho (actual Av. Defensores de Chaves), estas sendo ortogonalmente articuladas por uma série de ruas transversais. Ficam assim todas estas avenidas conhecidas por “Avenidas Novas”^[8]. Pouco tempo depois iniciaram-se as construções dos novos bairros, de forma a rentabilizar o projecto, o plano não estabeleceu um conjunto de normas para o dimensionamento de lotes nem tipologias^{[13][16]}. A principal falha do plano de Ressano Garcia foi o facto do rigor nele investido, não ser acompanhado por meios lhe permitissem o controlo da construção que nele surgiu, não sendo por isso possível concretizar a totalidade do plano. “*Durante muitos anos não foi compreendida a verdadeira dimensão das avenidas de Ressano Garcia. Prejudicado pela construção especulativa de má qualidade e pela arquitectura medíocre que na época dominou a cidade, o plano foi julgado e confundido com elas*”^[7].



Figura 2.4- Plano de expansão das "Avenidas Novas" [7]

As Avenidas Novas foram construídas durante uma fase de desenvolvimento económica e social, e sobretudo parte de um plano de expansão residencial, destinavam-se de forma clara aos membros da burguesia, foram estes os principais habitantes dos novos bairros criados.

Durante um segundo período constatou-se o aparecimento de bairros operários e alojamentos para outros grupos de menor rendimento. Desta forma as diferentes categorias sociais encontravam-se reflectidas na ocupação do solo e do tipo de edifícios: “palacetes e prédios de andares de maior qualidade nos eixos principais, e prédios de rendimentos no resto do tecido.”

O grande rigor que caracterizou o plano de Ressano Garcia não foi acompanhado de meios que permitissem o controlo da construção que nele surgiu, deixar à iniciativa privada a responsabilidade da construção dos edifícios, foi um dos principais defeitos do plano.



Figura 2.5- Planta de Lisboa de Ressano Garcia [16]

De acordo com Raquel Henriques da Silva (1985), “(...) nascidas de um projecto moderno e qualificado de extensão da cidade, as Avenidas foram o primeiro campo aberto de actuação dos promotores imobiliários ávidos do lucro, classe nova de construtores civis sem o ofício dos velhos mestres de obras ainda activos no início do século, e que a memória da cidade baptizou de “gaioleiros”

“Gaioleiro” é uma designação inicialmente dada aos construtores, mas que acabou por designar aquilo que construíram.

O desenvolvimento da construção em Lisboa atraiu construtores do interior, inexperientes em construções de grandes dimensões e sem conhecimento empíricos, que extrapolaram os processos construtivos para os novos edifícios. Também houve alguns construtores, de forma a aumentar a margem de lucro, começaram a adquirir materiais mais económicos e de inferior qualidade. Muitos dos edifícios construídos por estes construtores, devido ao fraco rigor construtivo e por serem construídos com materiais de qualidade inferior, ruíram ainda na fase construtiva ou imediatamente após esta, sendo que muitos dos edifícios desse período representam ainda hoje uma ameaça [8] [13] [7].

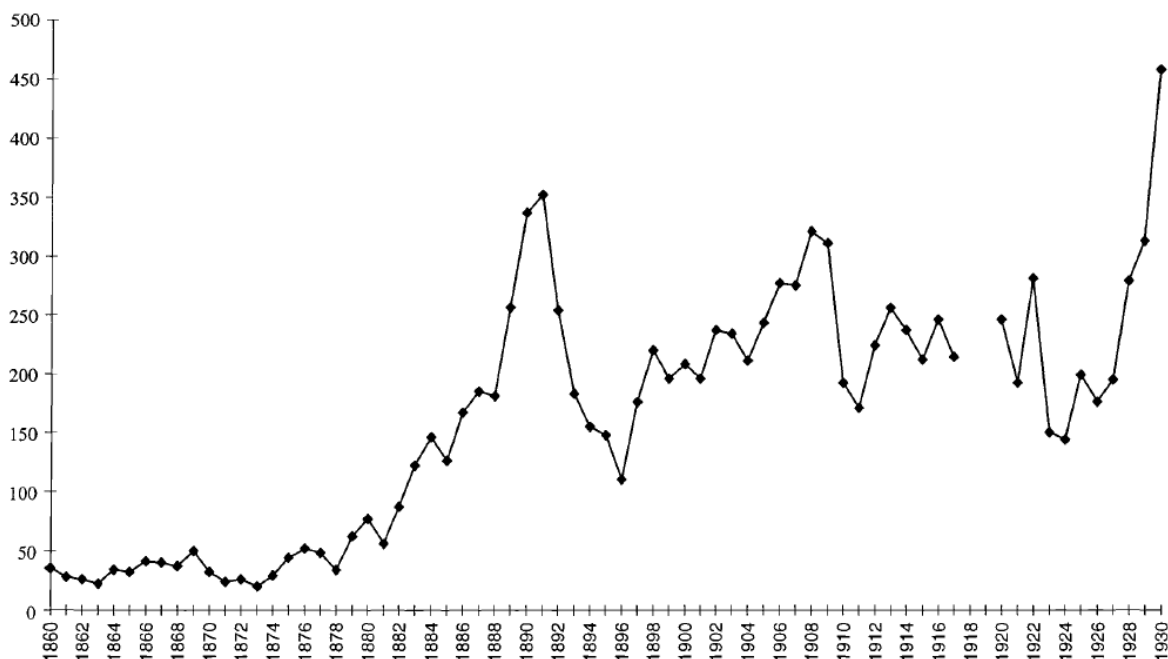


Gráfico 2.8 - Evolução do número de licenças de edificação (1860-1917) e de prédios construídos (1920-1930) [14]

Esta tipologia surge assim associada ao investimento de capital e à especulação, no sector imobiliário, que corresponde, em Lisboa, a um crescimento significativo da população a partir do final da década de 1870 [13].

Foi desta forma que se perdeu mão-de-obra qualificada na área da carpintaria essencial para a execução das gaiolas pombalinas, dando origem a uma nova tipologia construtiva – Edifícios “Gaioleiros”.

2.3. Evolução da regulamentação térmica de edifícios

Os edifícios são responsáveis pelo consumo de aproximadamente 40% da energia final na Europa e cerca de 30% para o caso de Portugal.

Porém, mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas eficiência energética, o que pode representar uma redução anual de 400 milhões de toneladas de CO₂ – quase a totalidade do compromisso da União Europeia no âmbito do Protocolo de Quioto [55].

Este facto, aliado ao crescimento acentuado das exigências de conforto, através da utilização crescente de tecnologias de climatização e o aumento dos preços dos combustíveis e da energia, tem motivado a actualização regular e consequente melhoria da regulamentação térmica. De referir, que o primeiro aspecto atrás referido se deve ao baixo nível de conforto oferecido pela maioria dos edifícios e, ao aumento das exigências de conforto por parte dos utilizadores.

A regulamentação de relevo sobre energia em edifícios surge em Portugal com a publicação, em 1982, das Regras de Qualidade Térmica da Envolvente de Edifícios (RQTEE) e do Regulamento de Gestão do consumo de Energia (RGCE) [17].

“As RQTEE foram elaborados pela Comissão para Estudo da Gestão de Energia em Edifícios (CEGENE) e constituíram, até à entrada em vigor do Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE), o documento que permitia a concepção da envolvente dos edifícios tendo em atenção as questões de possibilidade de condensações na estrutura e os problemas energéticos, mais propriamente as cargas através da envolvente. Estas regras propunham a utilização de estruturas com valores com valores recomendados do coeficiente global de transmissão de calor [18].”

O RGCE, de carácter obrigatório, tinha como objectivo reduzir o consumo energético dos grandes consumidores de energia e estabelecer metas para as empresas progressivamente reduzirem os seus consumos. Até 1994 visou apenas a indústria, ano em que a legislação complementar impôs a sua aplicação a edifícios [56].

Em 1985, com a entrada de Portugal para a Comunidade Económica Europeia (CEE), actual União Europeia (EU), passou a haver obrigação de implementar a regulamentação comunitária. Em 1990 são publicados o RCCTE (Decreto-lei n.º40/90 de 6 de Fevereiro), que estabelece os requisitos mínimos na verificação da qualidade e conforto térmico de edifícios. E (RQSE), com o objectivo de aumentar a eficiência energética dos sistemas, reduzindo o respectivo consumo de energia.

O Decreto-Lei n.º40/907 6 de Fevereiro, tinha como objectivo a melhoria da qualidade térmica, impondo limites aos consumos energéticos para climatização e produção de águas quentes. Promovendo, desta forma, a utilização de sistemas eficientes e de fontes energéticas com menos impacto em termos de energia primária. Ficavam abrangidos pelo Regulamento todo o edifício ou zona de um edifício que tivessem um contador individual de consumo de energia (zona independente) e que estivesse sujeito a um licenciamento municipal.

O RQSE (Decreto-Lei n.º156/92) tinha como objectivo estabelecer as condições de dimensionamento, instalação e manutenção de sistemas energéticos de aquecimento e/ou de arrefecimento, numa perspectiva de utilização racional de energia e segurança das instalações. Contudo, foi suspenso pela CEE por não cumprir todas as directivas comunitárias. No âmbito da sua revisão surge o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) na forma do Decreto-lei n.º 188/98 que recentemente foi revogado pelo Decreto-lei n.º 79/2006 com o mesmo nome.

No início do século XXI, a legislação para o sector energético revelou-se insuficiente face ao crescimento do consumo de energia nos edifícios ter aumentado a um ritmo médio de 7% ao ano desde 1900, aliado ao Protocolo de Quioto (1995) que visa reduzir as emissões de dióxido de carbono e ao potencial de poupança nos edifícios europeus se tivessem um bom desempenho

térmico. Estes factores conduziram a União Europeia a apostar na eficiência energética dos edifícios. Em 16 Dezembro de 2002 foi aprovada uma directiva (nº.2002/91/CE) que implica a necessidade de tratar energeticamente os edifícios. Esta directiva designa que os Estados membros da União Europeia devem implementar um sistema de certificação energética nos seguintes casos:

- Para obter licença e utilização em edifícios novos;
- Aquando de uma reabilitação importante de edifícios existentes;
- Aquando da locação ou venda de edifícios de habitação e de serviços existentes (validade do certificado: máx. de 10 anos);
- Edifícios públicos (de serviços) com mais de 1000m².

A 4 de Abril de 2006 é transporta a directiva 2002/91/CE para o Direito Nacional, iniciando-se a aplicação dos novos regulamentos (RSECE, RCCTE E SCE).

O Decreto-Lei nº. 80/2006/ de 4 de Abril aprovada a nova versão do RCCTE, que mantém os objectivos do regulamento anterior mas aumenta o nível de exigência da qualidade da envolvente dos edifícios. Este regulamento também tem como objectivo minimizar as situações patológicas nos elementos de construção, tendo em vista o aumento da durabilidade dos mesmos.

É mais exigente:

- Ao nível do estabelecimento de regras a observar no projecto de todos os novos edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados;
- Ao criar a obrigatoriedade de instalação de colectores solares;
- Ao impor limites aos consumos energéticos de habitação para climatização e produção de águas quentes;
- Na definição das taxas de renovação de ar.

É aplicável a novos edifícios de habitação e de serviços sem sistemas de climatização centralizados, ampliações de edifícios existentes (exclusivamente na nova área construída) e, às grandes intervenções de remodelação, de alteração na envolvente ou nas instalações de preparação de águas quentes sanitárias dos edifícios de habitação e serviços sem sistemas de climatização centralizados. Entende-se por grandes intervenções ou remodelação intervenções na envolvente ou nas instalações cujo custo seja superior a 25% do valor do edifício.

O Decreto-Lei nº. 79/2006/ 4 de Abril aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE), revogando o anterior RSECE de 1998, define um conjunto de requisitos para edifícios de habitação e serviços dotados de sistemas de climatização (com potência superior a 25kW), aos quais, para além dos aspectos relacionados com a envolvente e da limitação dos consumos energéticos, abrange também a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios, impondo a realização de auditorias energéticas periódicas aos edifícios de serviços [17].

O Decreto-lei nº.78/2006/ 4 de Abril aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade de Ar Interior dos Edifícios (SCE), estabelece um conjunto de regras e metodologias

de forma a assegurar a aplicação, no que diz respeito às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no RCCTE e RSECE.

O SCE tem os seguintes objectivos:

- Assegurar a aplicabilidade regulamentar definida nos também recém-publicados regulamentos para edifícios (RCCTE e RSECE)
- Certifica o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;
- Identificar as medidas correctivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior.

O SCE teve uma aplicação faseada, a primeira fase começou a 1 de Julho de 2007, aplicável a edifícios de serviços ou habitação com área útil de pavimento superior a 1000 m² ou 500 m², consoante a respectiva tipologia, cujos pedidos de licenciamento ou autorização de construção sejam apresentados à entidade licenciadora após entrada em vigor do SCE (1 de Julho de 2007). A segunda fase do começa a 1 de Julho de 2008, o SCE passa a ser aplicável a todos os edifícios de habitação e serviços com pedido de licenciamento feito a partir desta data.

É importante referir que há isenção de aplicação do RSECE e do RCCTE em caso de incompatibilidades, em intervenções de remodelação, recuperação e ampliação de edifícios em zonas históricas ou em edifícios classificados, desde que convenientemente justificadas e aceites pela entidade licenciadora [17][19].

O Decreto-Lei n.º 118/2013/ 20 de Agosto aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços, e transpõe a Directiva n.º2010/31/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios.

Esta atualização da legislação congrega num só diploma, de uma matéria anteriormente regulada em três diplomas distintos anteriormente (SCE,RSECE,RCCTE), procurando promover a harmonização conceptual e terminológica e a facilidade de interpretação por parte dos destinatários das normas.

Existe uma separação clara do âmbito de Aplicação do REH e do RECS, incidindo o primeiro, exclusivamente, sobre os edifícios de habitação e este último sobre os de comércio e serviços.

É estabelecida uma meta, no que diz respeito a comportamento térmico e eficiência de sistemas, com um horizonte temporal limite até 2020, a partir do qual são introduzidos requisitos de eficiência energética para os principais tipos de sistemas técnico dos edifícios, ficando desta forma, sujeitos a padrões mínimos de eficiência energética, os sistemas de climatização, de preparação de água quente sanitária, de iluminação, de aproveitamento de energias renováveis de gestão de energia. Surge o conceito de edifício com necessidade quase nulas de energia, que

passará a constituir o padrão para a nova construção a partir de 2020, ou de 2018, no caso de edifícios novos de entidades públicas [87].

2.4. Evolução da regulamentação acústica de edifícios

O ruído é quem mais contribui para a existência de poluição sonora. Resulta do som indesejado inerente ao desenvolvimento da nossa sociedade. A poluição sonora é uma forma de agressão ambiental que é frequentemente negligenciada, tornando-se um dos principais problemas ambientais dos grandes centros urbanos. Foi este facto que motivou o aparecimento em Portugal de legislação que visa reduzir o desconforto e prejuízo para a saúde e bem-estar das populações. O grande catalisador da regulamentação acústica em Portugal foi a introdução do conceito de poluição sonora feita pela Lei de Bases do Ambiente (Decreto-Lei nº.11/87, de 7 de Abril), quando Portugal já pertencia à CEE.

Em Portugal, a primeira legislação sobre o ruído (Decreto-Lei nº.251/87/ 24 de Junho) entrou em vigor em 1988, e contemplava substancialmente aspectos relacionados com a acústica de edifícios e o exercício de actividades comerciais e serviços, estabelecendo requisitos a serem cumpridos nos novos edifícios, em termos de isolamento sonoro e sons aéreos e de percussão, e condições de licenciamento estabelecimentos comerciais e similares. Classificou os locais para implantação de edifícios de acordo com os valores de nível sonoro produzido dos edifícios escolares e hospitalares em certos locais (admitindo excepções).

Esta primeira legislação sobre o ruído, pioneira para o despertar da consciência social, esteve em vigor durante 12 anos [17].

De acordo com os princípios constantes no livro verde sobre o ruído, foi preparado um novo conjunto de disposições normativas para substituição do regulamento 251/87, em 2000. A regulamentação portuguesa foi dividida em dois ramos:

- Ramo ambiental, que deu origem ao Regime Legal da Poluição Sonora (Decreto-Lei nº.292/2000/ 14 de Novembro), criou articulação com outras leis, reforçou a actuação preventiva, adoptou figuras de planeamento específicas, regulou as actividades temporárias geradoras de ruído e do ruído de vizinhança, aperfeiçoou o regime sancionatório e a previsão de medidas cautelares.
- Acústica de Edifícios, que deu origem ao Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (Decreto-Lei nº. 129/2002/11 de Maio), que tem como objectivo, a “ ... a harmonização, à luz da normalização europeia, das grandezas características do desempenho acústico dos edifícios e respectivos índices e quantificação dos requisitos, atendendo simultaneamente, quer à satisfação das exigências funcionais de qualidade dos edifícios”.

No ano de 2006, e por força da transposição para o direito interno da Directiva Europeia sobre Gestão e Avaliação do Ruído Ambiente, toda a legislação nacional sobre o ruído teve que ser alvo de um processo de adaptação ao novo enquadramento legal da directiva, fundamentalmente no que respeitava aos novos indicadores de ruído por ela propostos. Dando origem ao Decreto-Lei nº. 146/2006/ 31 de Julho, que tem como principal objectivo estratégico, o de reduzir o número de cidadãos expostos ao ruído, e não a intervenção específica e objectiva de redução do ruído em si.

O regulamento do ruído ambiente (Decreto-Lei nº.292/2000) foi actualizado, dando origem ao Decreto-Lei nº.9/2007/17 de janeiro, ou seja, o Regulamento Geral do Ruído. Como consequência, o regulamento de acústica de edifícios até então em vigor teve também que ser adaptado, o que ocorreu com a publicação do novo Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (Decreto-Lei nº.96/2008/ 9 de Junho), garantindo assim, a articulação entre os dois regulamentos e, com o de autorização e licenciamento de actividades.

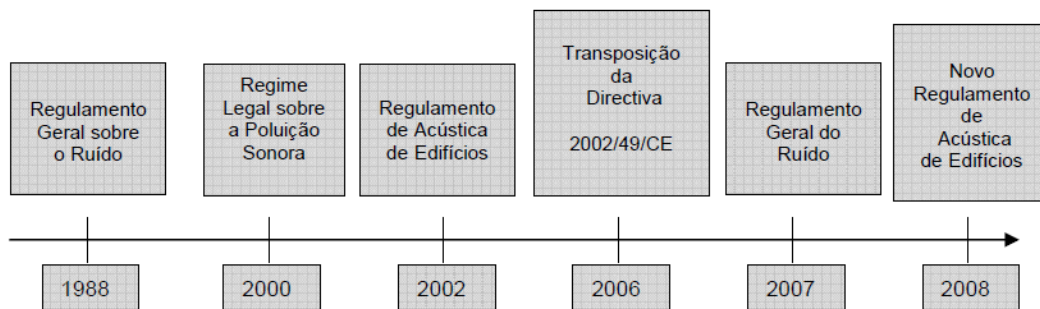


Figura 2.6- Esquema de evolução da regulamentação acústica em Portugal [27]

Esta legislação tem como princípio base o planeamento em função do uso do solo, RGR estabelece exigências com recurso a critérios de zoneamento, à utilização de mapas de ruído, à concepção de planos de redução de ruído e à imposição de obrigações para entidades gestoras de redes de tráfego.

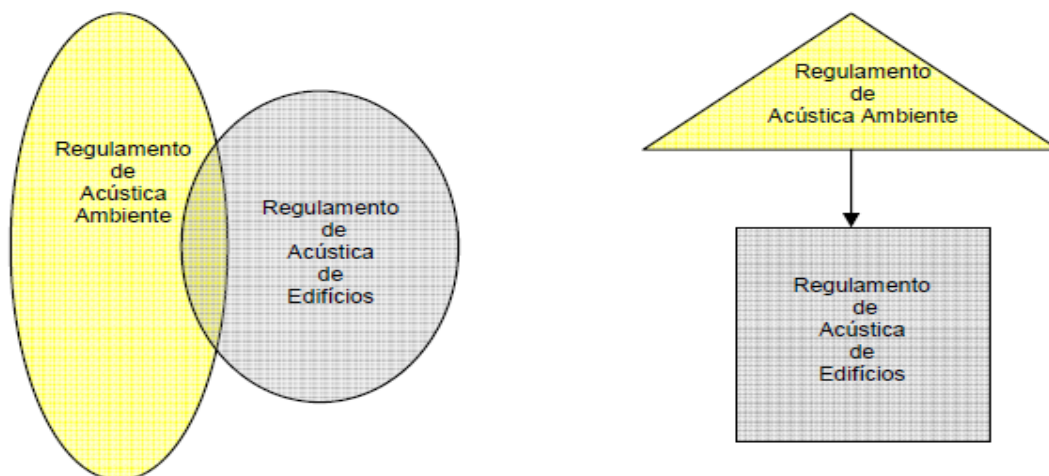


Figura 2.7- Inter-relação aplicativa e hierárquica entre os dois regulamentos [27]

3. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO “GAIOLEIRO”

3.1. Considerações Gerais

Os edifícios “Gaioleiros” surgem na segunda metade do século XIX, até ao aparecimento do betão armado, em 1930-1940, é coincidente com um dos maiores períodos de crescimento demográfico em Lisboa.

Estes edifícios possuem características próprias ao nível da arquitectura e, soluções construtivas, que permitem diferenciá-los em relação ao restante património edificado. É através destas características que é possível identificar a tipologia do edifício, e com isso, elaborar uma melhor proposta de intervenção no âmbito da reabilitação nestes edifícios.

A caracterização construtiva é feita segundo os elementos principais, revestimentos e elementos metálicos.

A elevada vulnerabilidade à acção dos sismos destes edifícios é também um factor característico desta tipologia.

3.2. Caracterização Arquitectónica

Os edifícios “Gaioleiros” apresentam uma liberdade de formas não existente no período pombalino como foi mencionado anteriormente. As fachadas caracterizam-se por serem trabalhadas com frisos, cimalhas, esculturas nos melhores edifícios, e são compostas por três zonas bem marcadas: soco, zona intermédia e sistema platibanda/telhado. É também usual a presença de arranjos florais, influência da Arte-Nova.

As janelas são de formas variadas e possuem maiores vãos, são constituídas por madeiras resinosas, cerne de pinho ou casquinhas e apresentam desenhos mais livres que em períodos anteriores.

As guardas das varandas são em ferro, com desenhos exuberante e tornam-se um adereço decorativo de relevo na fachada.

As cantarias são de pedra de lio ou pedra de origem calcária. Também é corrente a utilização de frisos de azulejos nestes edifícios.

As portas de entrada são elementos de relevo na fachada, podem ser em madeira ou ferro, e são pintadas com esmalte [13] [7].

A sua disposição pode ser em banda, geminada ou isolada, sempre alinhada com a frente do lote. A organização típica do fogo “Gaioleiro” é caracterizada por um corredor de distribuição longitudinal, com assoalhadas na frente e laterais do edifício, como se encontra ilustrado na Figura 3.1. A cozinha e casa de banho encontram-se no tardoz, junto às varandas. Em alguns edifícios a

casa de banho situa-se nas varandas/marquises, tendo sido acrescentadas posteriormente à construção do edifício.



Figura 3.1- Planta do típico fogo "Gaioleiro", adaptado de [7]

O corredor, a cozinha e casa de banho, são os espaços com menos valor arquitetónico, devido a isso identifica-se alguma heterogeneidade espacial no fogo. Os saguões situam-se na zona central do edifício ou nas laterais, quando não era possível integrar nos andares laterais [20]. A sala de jantar é uma divisão com grande incidência de luz, e com grande área. É comum as salas de jantar serem anexas à fachada principal, os tectos serem construídos por estafes e sancas de gesso decorativo. Outro traço característico dos edifícios "Gaioleiros" é o logradouro, que se encontra no tardo do edifício, sendo que hoje, a grande maioria se encontra em avançado estado de degradação [20] [21].

3.3. Caracterização Construtiva

O seu sistema construtivo caracteriza-se por ser de fraca qualidade e rigor, resulta de uma simplificação do processo pombalino, acrescentando a mão-de-obra não qualificada e os materiais de fraca qualidade. Para além das anomalias observáveis a olho nu, as consequências em caso de sismo são terríveis, tanto em vidas humanas como ao nível económico.

Os edifícios gaioleiros apresentam diversos aspectos característicos, que a seguir se descrevem.

3.4. Elementos Principais

3.4.1. Fundações

No concelho de Lisboa existem vários tipos de solos, desde solos muito macios, como é o caso dos terrenos aluvionares, até terrenos bastante resistentes, como é o caso dos terrenos calcareníticos ou carbonatados.

Através da sobreposição dos mapas de localização dos edifícios “Gaioleiros” com a carta de tipos de solo do conselho de Lisboa, é possível identificar que os solos que se encontram na zona das Novas Avenidas, são constituídos por terrenos arenoso, argiloso e areno-argilosos, como é possível verificar na Figura 3.2.

São solos considerados macios, de compacidade e resistência média/baixa.

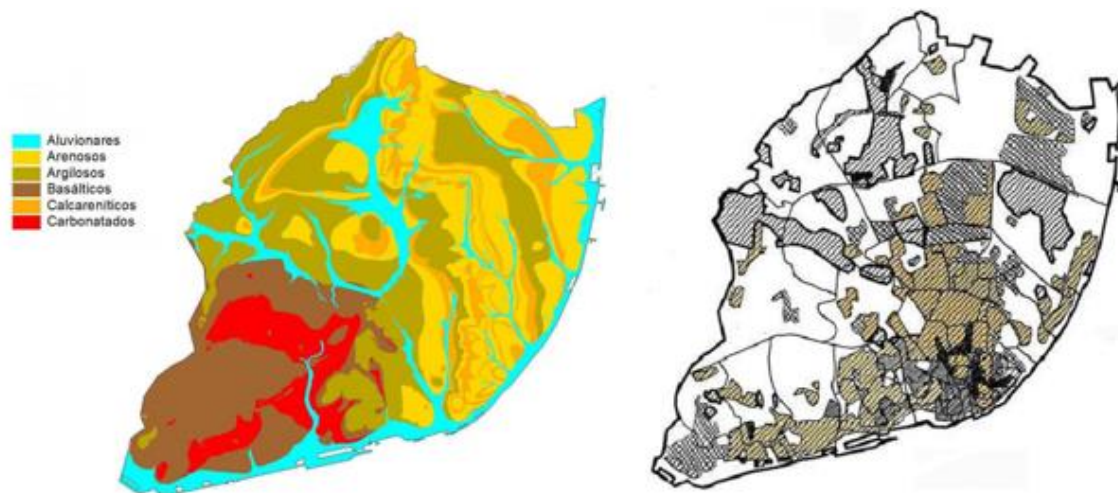


Figura 3.2- Carta de tipos de solos de Lisboa e mapa de localização de edifícios "Gaioleiros" [7]

As fundações foram construídas em alvenaria de pedra, com argamassas constituídas por areia e cal. O tipo de fundação e a sua dimensão vão depender do solo e da sua profundidade, podendo existir dois tipos de fundação:

1. Fundação contínua directa, que consiste num prolongamento das paredes até ao terreno resistente a pequena profundidade, aumentando a largura das mesmas. Em relação às dimensões, a largura das fundações das paredes de fachada e tardoza varia entre 0,90m a

1,50m, as fundações das paredes meirais e de empena apresentam uma espessura média de 0,66m, podendo variar entre 0,50m e 0,80m. As fundações das paredes dos saguões têm espessura semelhante à das paredes de empena, em média 0,66m.

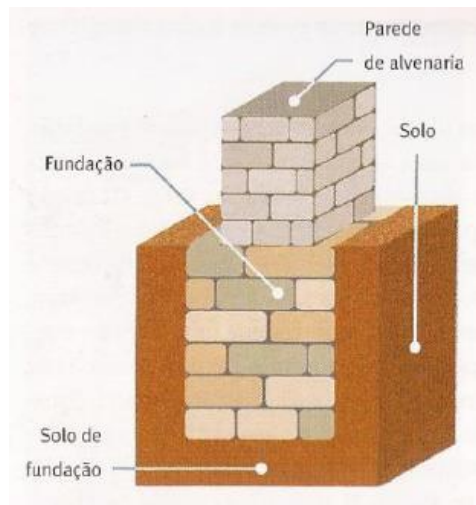


Figura 3.3- Fundação directa [5]

2. Fundação semi-directa sobre pilares e abóbadas, utilizavam-se quando o terreno firme está muito profundo (mais de 3m) e não é económico rasgar caboucos. Neste caso escavam-se poços quadrangulares, de alvenaria de pedra, com 1m de lado e altura suficiente para atingir o terreno resistente, sobre eles constroem-se as arcarias que irão suportar as paredes de alvenaria.

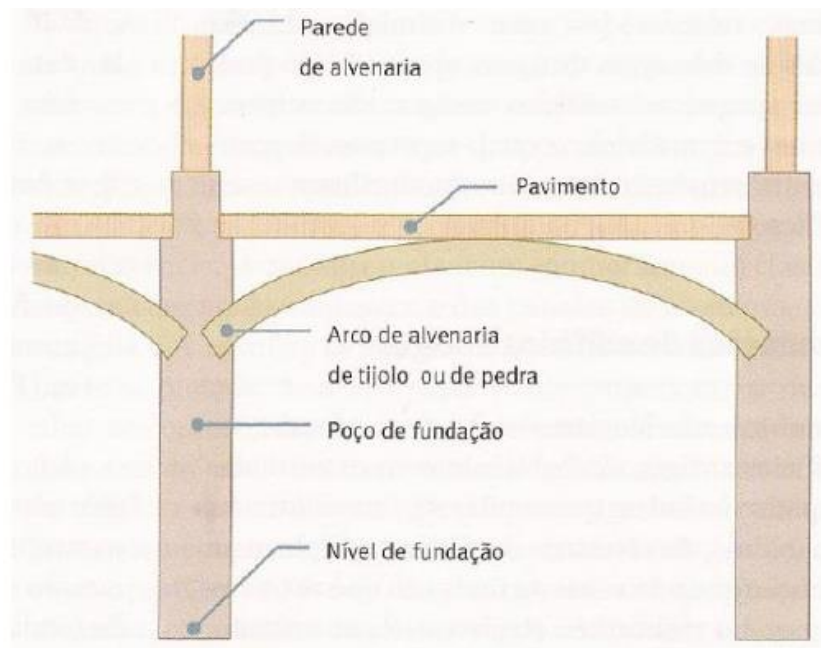


Figura 3.4- Fundação semi-directa [5]

3. Fundações indirectas que consiste na cravação de estacas de madeira no terreno, pode também ser encarada como uma técnica de consolidação do terreno e de fundação. É uma solução utilizada nos casos em que o solo só atinge a resistência desejada a grandes profundidades.

3.4.2. Paredes Exteriores

As paredes exteriores, ou mestras, têm um papel relevante na estrutura do edifício, no que se refere à resistência a cargas verticais (natureza gravítica) e forças horizontais (vento e sismos).

Apresentam geralmente grande espessura, as razões da grande espessura são as seguintes:

- “razões de efeito sumativo: uma parede larga é pesada e, portanto, a compressão daí resultante funciona como uma força estabilizadora, equilibrante de forças horizontais deslizante e derrubantes que são devidas, por exemplo, a impulsos de terras ou de elementos estruturais.” [5];
- Quanto mais larga for a parede, menos esbelta ela é, logo, é menor a probabilidade de instabilidade por encurvadura;
- A maior espessura das paredes implica que a água e o ar terão que percorrer um percurso acidentado e longo entre o ambiente exterior e interior do edifício, período de tempo que demoram a percorrer o percurso, durante a época das chuvas, a água infiltrada seguirá o percurso inverso, dando-se então, de novo, a secagem da parede e preparando-a para novo Inverno, altura em que reinicia o ciclo.

As paredes são constituídas por alvenaria de pedra (regular ou irregular), ou tijolo, argamassa de cal aérea e areia amarela sem argila, num traço de uma parte para o seu dobro (1:2, 2:5, 5:9). A espessura das paredes também varia em altura, uma vez que estas são mais largas junto às fundações do que junto às coberturas, devendo-se esta variação a razões de economia e de redução do peso próprio das paredes.

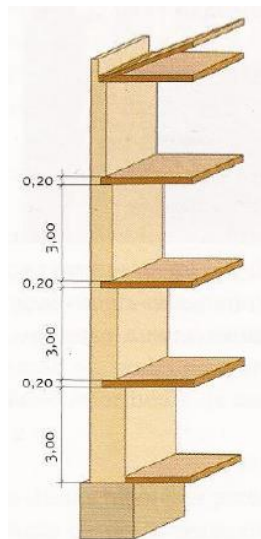


Figura 3.5- Espessura variável das paredes exteriores dos edifícios "Gaioleiros" [5]

As paredes da fachada e tardoaz são as mais largas do edifício, com uma espessura de 0,70m ao nível do rés-do-chão e 0,50m no último piso. As paredes de empena ou meeiras são bastante mais

finas, têm uma espessura de 0,50m no rés-do-chão e 0,40 no último piso, já as paredes dos saguões são as mais finas, com uma espessura de 0,40m no rés-do-chão e 0,35m no último piso. Esta variação da espessura em altura tem a vantagem de permitir o apoio dos pavimentos aproveitando os ressaltos, além de possibilitar o aumento das áreas úteis dos pavimentos.

3.4.3. Paredes Interiores

As paredes interiores executam a divisão horizontal do espaço definido pelas paredes da envolvente e, podem ser constituídas por alvenaria de tijolo ou madeira.

Existem dois tipos de paredes interiores que é importante distinguir: “frontais” e os “tabiques. Os “frontais” são aquelas que tinham funções de suporte no edifício, normalmente paralelas à fachada principal, e constituídas por alvenaria de tijolo. Os frontais têm em média 16cm, podendo esta, variar significativamente em altura, pelas mesmas razões que apontaram às paredes exteriores.

Podem existir frontais semelhantes aos executados na construção Pombalina, armados por prumos e frechais, com travessanhos horizontais e escoras em Cruz de Santo André, cheios com alvenaria de pedra ou tijolo e secções mais reduzidas, mas o mais comum nos edifícios “Gaioleiros” era a execução de outro tipo de frontal, idêntico ao anterior, mas retirando o travamento diagonal para simplificação do seu preenchimento com alvenaria de pedra e tijolo.



Figura 3.6- Parede Interior em tabique [28]

Enquanto os “tabiques” são paredes interiores mais finas, perpendiculares à fachada principal, sem qualquer função estrutural, podem ser constituídas por alvenaria de tijolo ou em tábuas de madeira fasquiadas e rebocadas, como se encontra representado na Figura 3.6 A sua espessura depende do tipo de material que é constituída, se for pranchas de madeira fasquiadas, podem ter espessuras inferiores a 0,10m, se forem constituídas por tijolos, terá uma espessura entre 0,10m e 0,15m.

3.4.4. Pavimentos

Os pavimentos dos edifícios “Gaioleiros” podem ser de dois tipos, com estrutura de madeira ou metálica.

Os pavimentos de estrutura de madeira são os mais utilizados, podendo ser utilizados em todas as divisões. Estes pavimentos têm uma estrutura constituída por vigamentos em madeira, que apoiam directamente sobre as paredes resistentes, com um afastamento que varia, entre 0,20m e 0,40m, perpendiculares à fachada principal e dispostos na direcção do menor vão. Nestes pavimentos utilizava-se geralmente o pinho bravo.

A ligação entre as vigas e as paredes resistentes consiste no encaixe das vigas em aberturas dispostas nas paredes, com afastamento entre os 20 e os 40cm, ou pela utilização de frechais à parede, com secção quadrada e dimensões entre 0,10 a 0,07m. Quando se pretendia que o pavimento tivesse uma maior importância no travamento horizontal do edifício, a ligação entre este e a parede era melhorada através da incorporação de peças metálicas pregadas às vigas de madeira e embebidas nas paredes, por vezes mesmo atravessando-as do interior para o exterior, é possível identificar os pormenores da ligação entre o pavimento e a parede na Figura 3.7 e Figura 3.8.

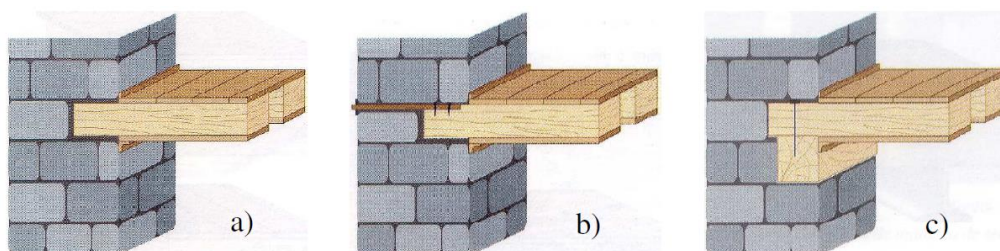


Figura 3.7- Tipos de ligações entre pavimentos e paredes resistentes: a) Ligação por encaixe; b) Ligação através de ancoragem; c) Ligação através de frechal [5]

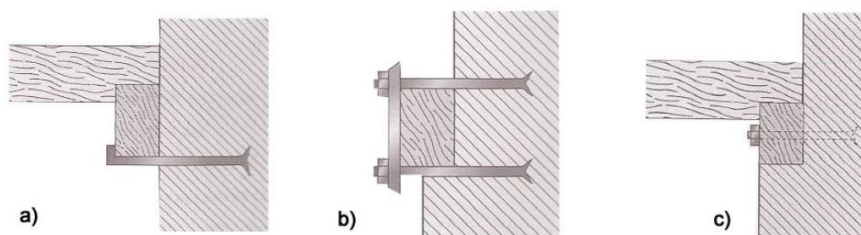


Figura 3.8- Tipos de ligação com utilização de frechais: a) Frechal sobre consola de ferro; b) Frechal aferrolhado sobre dente da parede; c) Frechal sobre dente da parede [13]

Os tarugos são outros elementos importantes, tornam mais estável o vigamento do pavimento. Têm como principal função o travamento dos vigamentos perpendicularmente de forma a evitar a encurvadura, deformação transversal e torção por razões estruturais ou devido à secagem de madeira [7] [5] [13].

As vigas são revestidas com soalho em casquinha, pregados directamente à estrutura principal por sarrafos, sendo revestidas com mosaicos hidráulicos assentes sobre tábuas de soalho, na cozinha e casa de banho nos edifícios onde existe este tipo de pavimento nessas divisões [5]. Os pavimentos em estrutura metálica, que geralmente se encontram nas zonas húmidas, isto é, cozinha e casas de banho. São constituídos por vigas de secção em “I” completados por estruturas de abobadilha formadas por elementos cerâmicos, como se encontra representado na Figura 3.9. No entanto, devido à ausência de tratamento contra a corrosão e, por estarem expostos de forma constante à humidade, encontram-se bastante corroídos [8].

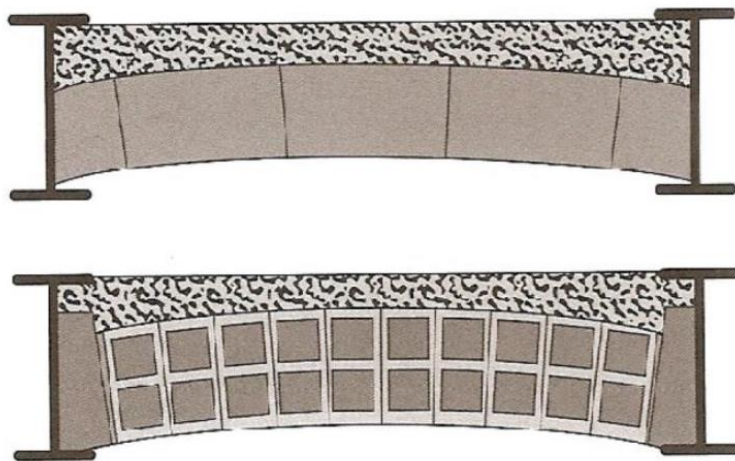


Figura 3.9- Pavimento em estrutura metálica [13]

O pavimento do piso térreo era geralmente em terra batida ou constituída por um enrocamento em alvenaria de pedra, sobre a qual assentava uma camada de desgaste em laje de pedra, a qual podia ser revestida por ladrilhos cerâmicos. Também podia ser utilizado um pavimento de madeira no piso térreo, mas esta situação impunha a criação de uma barreira entre o pavimento e o terreno. Era executada um caixa-de-ar ventilada, evitando assim o contacto com a humidade do terreno, esta situação levou a que esta solução fosse comum [22].

3.4.5. Cobertura

Nos edifícios “Gaioleiros”, em quase todos os casos, as coberturas consistem em estruturas inclinadas de madeira, com uma ou duas águas em edifícios menos nobres, ou várias águas nos edifícios mais complexos, contínuas ou quebradas no caso dos edifícios mais nobres e de maior dimensão [7]. A estrutura das coberturas são em pinho e revestidas a Telha de Marselha [13].

Durante o período dos edifícios “Gaioleiros” dá-se a transição das águas-furtadas com trapadeiras, do período Pombalino, para as mansardas, sendo estas estruturas que apresentam maior pendente, de modo a aumentar o espaço disponível nessa área, o seu processo construtivo é também mais complexo.

As águas furtadas eram utilizadas nas zonas mais humildes, devido à sua simplicidade de execução, enquanto nas zonas mais nobres eram utilizadas mansardas, a execução da cobertura em mansarda ou águas furtadas dependia da localização do edifício.

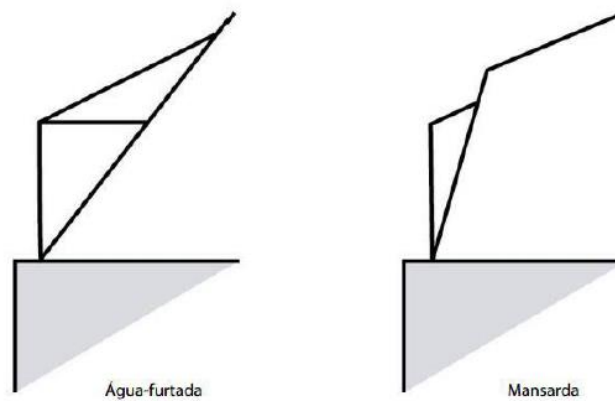


Figura 3.10- Esquema representativo da cobertura de Águas-furtadas e Mansarda [30]

Na Figura 3.11 encontra-se representada a estrutura de cobertura de madeira dos edifícios “Gaioleiros”, que consiste: *”um vareado, ligado triangularmente por pequenos elementos horizontais, apoia sobre madres, rincões e cumeeira, que descarregam em prumos [13]”*.

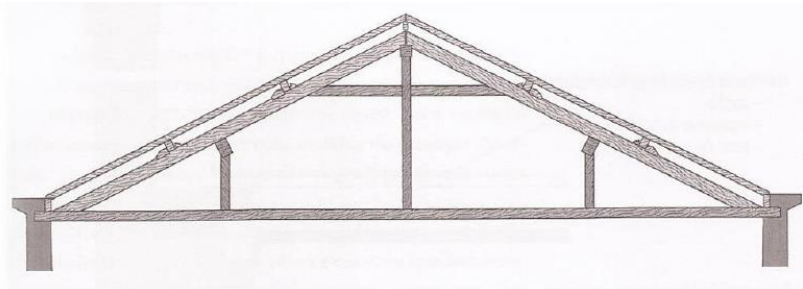


Figura 3.11- Estrutura de madeira utilizada nas coberturas dos edifícios "Gaioleiros" [13]

As ligações entre os diferentes elementos que constituem a estrutura, podem ser feitas através de ligações pregadas, coladas, ou recorrendo a peças auxiliares de ferro. Podiam ainda existir prumos, em vários pontos da cobertura, que tinham como função evitar a flexão das madres por fluência.

A transmissão das cargas da estrutura de cobertura às paredes resistentes através do apoio directo das asnas nas paredes pode ser feita, como se pormenorizado na Figura 3.12: pelo apoio simples das asnas em consolas de pedras; ou pelo apoio sobre uma viga de transição (frechal) que promovia uma melhor distribuição das cargas na parede [7].

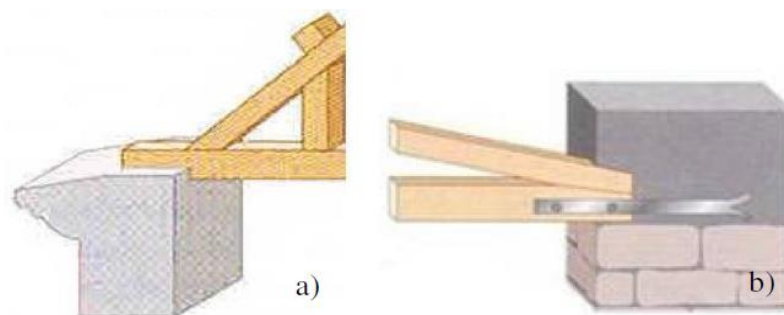


Figura 3.12 - Tipos de apoios da estrutura da cobertura: a) Apoio directo sobre a consola de pedra; b) Fixação das asnas à parede resistente por elementos metálicos [7]

4. ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO DE UM CASO PRÁTICO

A metodologia utilizada para realizar a análise do desempenho térmico e acústico do edifício em estudo foi a seguinte. Determinou-se o desempenho térmico e acústico de três pisos dos cinco pisos existentes, piso intermédio, piso térreo e cobertura. Foram escolhidos esses três pisos uma vez que estabelecem as condições de fronteira. Com base nos resultados obtidos na análise dos três pisos, foi extrapolado o desempenho térmico e acústico do edifício.

Para o cálculo do desempenho térmico foram utilizadas as tabelas de cálculo disponibilizadas pelo Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção, que tem como base a metodologia preconizada no REH.

No cálculo do desempenho acústico foram utilizadas duas metodologias, em função do tipo de ruído que se pretende isolar. Considera-se ruído aéreo os sons transmitidos via aérea. O RRAE estabelece limites de isolamento sonoro, segundo a localização de cada elemento de divisão, diferenciando a envolvente exterior do edifício dos diferentes elementos de divisão interna. Para calcular o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, de um determinado elemento de divisão, utilizou-se a Lei da Massa, de acordo com o *Projecto de condicionamento acústico de edifícios* [23]. A Lei da Massa é um método estimado que estabelece que a redução de intensidade acústica através de um determinado elemento, em função da massa superficial do elemento. O resultado da equação 1 expressa-se em decibel (dB).

$$R_w = 20,4 \times \log(m) - 1,5 \pm 3,15 \quad (1)$$

R_w – Índice de redução sonoro;

m – Massa superficial do elemento;

Considera-se ruído de percussão os sons que são transmitidos através dos elementos. Para comprovar o isolamento que os elementos possuem utilizou-se o método do invariante para avaliar as condições de isolamento a sons de percussão. Este método estimativo baseia-se numa formulação teórica que representa, de uma forma mais ou menos aproximada, a realidade. Em geral, os métodos estimativos usam-se na fase de desenho e concepção dos elementos. O método do invariante é preconizado no livro *Projecto de condicionamento acústico de edifícios* [23]. O fundamento teórico do método é o princípio da reciprocidade, que considera o seguinte: se uma determinada força F_1 , que actua no ponto 1, estabelece uma velocidade de vibração no ponto 2, originará no ponto 1 uma velocidade $V_{21}=V_{12}$. Aplicando o referido a um local reverberante temos que, quando uma divisão homogénea está excitada por um campo reverberante difuso originado por uma fonte de sons aéreos, a velocidade de vibração pode ser directamente determinada a partir

da energia sonora irradiada pelo referido elemento, quando este se gera com uma fonte de excitação pontual. O inverso é igualmente verdadeiro.

4.1. Considerações gerais

A visita obrigatória realizada ao imóvel teve lugar no dia (06-04-2015), com início às (15:00) e final às (15:30).

Para além da recolha de informação essencial ao processo de certificação, a vistoria realizada permitiu também confirmar a autenticidade da tipologia do edifício estudado.

Toda a vistoria realizada pelo foi documentada através de um relatório fotográfico do interior e do exterior do imóvel.

Durante a vistoria, não ocorreu qualquer incidente nem com pessoas nem com bens ou documentos. Também nenhum acidente.

O edifício localiza-se na Rua Carlos José Barreiros número 7, na freguesia de Arroios em Lisboa, sendo possível identificar na Figura 4.1.



Figura 4.1 - Fotografia aérea do edifício em estudo e fachada (<http://maps.google.pt/>)

Encontra-se inserido numa zona classificada pelo plano director municipal de Lisboa como espaço urbano consolidado. Existe alguma homogeneidade arquitectónica e numa rua com inclinação acentuada.

A zona que envolve o edifício é caracterizada pela existência de um número significativo de edifícios de habitação e pequeno comércio.

Este edifício possui duas fachadas livres, a fachada principal encontra-se orientada para o arruamento principal, a nascente, o tardoiz está orientado para um logradouro, a poente. Encontra-se confinado entre dois edifícios de habitação que se estima serem do mesmo período histórico.







4.2. Caracterização espacial

O edifício em estudo foi alvo de algumas intervenções, nomeadamente pintura da fachada principal e tardoiz, bem como da escada metálica que se encontra no tardoiz, substituição das caixilharias e vidros das janelas. O edifício é constituído por cinco pisos no total, sendo todos os pisos destinados a habitação.

Cada fogo de habitação é constituído por cinco quartos, uma cozinha, uma sala de jantar, um escritório, uma divisão de arrumos e duas casas-de-banho, que se encontra representado em planta na Figura 4.2. Uma das casas-de-banho localiza-se na varanda, verifica-se que foi construída posteriormente. O piso térreo tem acesso a um pequeno logradouro existente no tardoiz do edifício. Foi efectuada a planta ilustrativa do levantamento dimensional realizado durante a visita em autocad.

Estes elementos, incluem a indicação dos diferentes tipos de envolvente usando o esquema de cores a seguir indicado:

Tabela 4.1 - Legenda da planta ilustrativa

Envolvente exterior	
Envolvente interior com requisitos de exterior	
Envolvente interior com requisitos de interior	
Envolvente sem requisitos	
Em planta identificar pavimento (com a respectiva cor)	
Em planta identificar varanda (com a respectiva cor)	

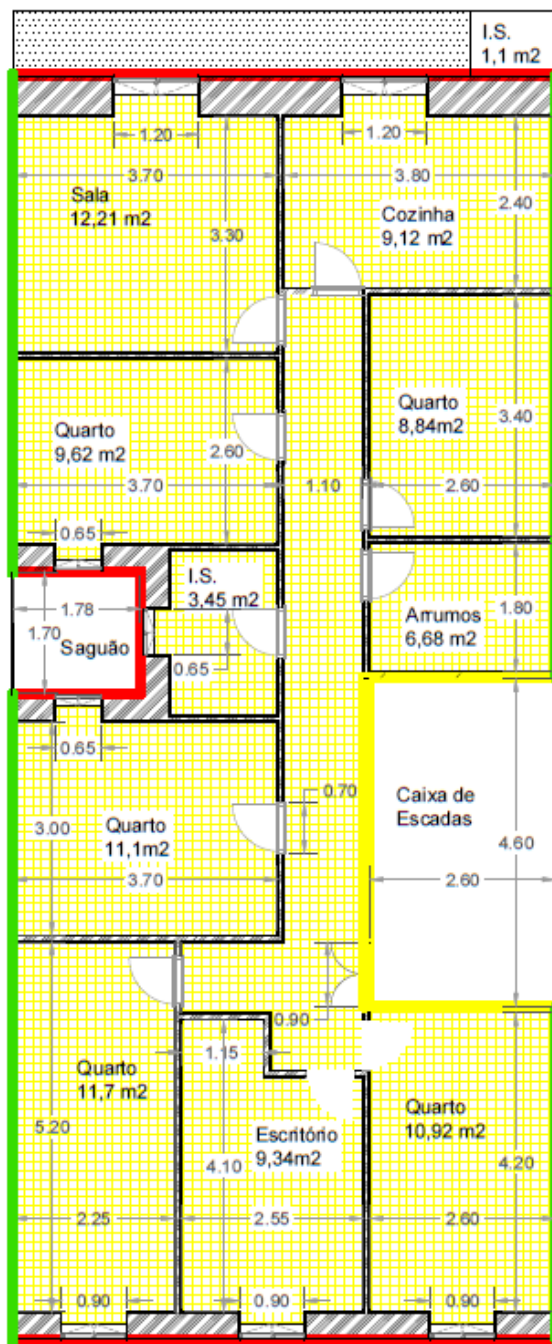


Figura 4.2 - Planta ilustrativa do levantamento dimensional do fogo

A Figura 4.2 representa a planta da fracção autónoma estudada, identifica-se com facilidade os traços característicos do fogo “Gaioleiro”, o corredor de distribuição, assoalhadas na frente do edifício. A cozinha localiza-se no tardoz, junto à varanda e a casa-de-banho que foi adicionada posteriormente à construção do edifício situa-se na varanda. Identifica-se também o saguão no centro do fogo, garantindo a iluminação natural dos quartos interiores e da casa-de-banho.

4.3. Caracterização construtiva

Na Tabela 4.1 encontra-se o resumo das características dimensionais dos elementos construtivos, considerados relevantes para a análise térmica e acústica do caso em estudo.

Tabela 4.2 - Resumo das características dos elementos construtivos do edifício em estudo.

ELEMENTO	MATERIAL	DIMENSÕES [m]	Piso					LOCALIZAÇÃO
			0	1	2	3	4	
Fundações	Alvenaria de pedra calcária	espessura: 1,40 espessura: 0,70						Fachada/Tardoz Meeira
Paredes Exteriores	Alvenaria de pedra calcária	espessura: 0,55	0,55	0,50	0,40	0,40	0,40	Fachada
		espessura: 0,55	0,55	0,50	0,40	0,40	0,40	Tardoz
		espessura: 0,45	0,45	0,45	0,40	0,40	0,40	Saguão
Paredes Interiores	Alvenaria de tijolo	espessura: 0,45	0,45	0,45	0,40	0,40	0,40	Meeira
	Fasquiado de Madeira	espessura: 0,10						Tabiques
	Alvenaria de pedra calcária	espessura: 0,16						Frontais
Pavimentos	Vigamento de madeira	largura: 0,07 altura: 0,20						Zonas comuns
	Massame	afastamento: 0,30						Zonas húmidas
	Massame armado	espessura: 0,10						Piso 0
Cobertura	Estrutura de madeira	secção: 0,16 x 0,08						Cobertura
Revestimentos Exteriores	Cal aérea e areia	espessura: 0,05						Cobertura
	Telha marselha	-						
	Vidro	-						
Revestimentos Interiores	Cantaria	-						Paredes/Tectos Zonas correntes Casa-de-banho/Cozinha
	Estuque	espessura: 0,02						
	Tábuas de solho	secção: 0,02 x 0,16						
	Azulejo	Pequena dimensão						

4.4. Análise de desempenho térmico

4.4.1. Coeficiente de transmissão térmica superficial

Na tabela 4.2 encontra-se o valor de coeficiente de transmissão térmica superficial (U), que teve como base a tabela de cálculo que se encontra no anexo A1, que caracteriza cada uma das diferentes soluções construtivas que compõem a envolvente do imóvel estudado.

De notar que, para determinação do valor de U das diferentes soluções construtivas, foi prioritariamente considerada toda a informação disponível sobre as características técnicas dos elementos que as constituem. Apenas na ausência de informação específica, recorreu-se aos valores tabelados de fontes de informação de referência, tendo, nesses casos, utilizadas as melhores opções aplicáveis e em coerência com a informação recolhida no local aquando da vistoria ao imóvel.

Tabela 4.3 - Tabela resumo dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos construtivos.

Designação do tipo de solução	Elemento	Tipo de solução	μ [W/m ² .°C]
PDE 1	Parede Exterior do tipo 1	As paredes exteriores são constituídas por alvenaria de pedra, argamassa de cal aérea e areia amarela sem argila, num traço (2:5).	1,23
VE 1	Envidraçado Interior do tipo 1	Caixilharia em plástico com vidro duplo, sem protecção.	3,30
PDI 1	Parede Interior do tipo 1	Parede simples de alvenaria composta de tijolo maciço ou perfurado, argamassa de cal aérea e areia amarela, num traço (2:5).	1,17
PDI 2	Parede Interior do tipo 2	Parede de tabique que resulta da pregagem de um fasquiado sobre tábuas colocadas ao alto, sendo revestido em ambas as faces, com reboco de argamassa de cal. espessura é de 0,10m.	2,4
PDI 3	Parede Interior do tipo 3	As paredes exteriores são constituídas por alvenaria de pedra, argamassa de cal aérea e areia amarela sem argila, num traço (2:5).	1,26
PVI 1	Pavimento Interior do tipo 1	Pavimentos constituídos por vigas únicas apoiadas directamente sobre as paredes resistentes, perpendiculares à fachada principal.	2,16
PVI 2	Pavimento Interior do tipo 2	Pavimento em estrutura metálica, constituído por vigas de secção em "I" completados por estruturas de abobadilha formadas por elementos cerâmicos.	2,36
CBI 1	Cobertura Interior 1	A estrutura de madeira era executada da forma tradicional por um conjunto de asnas de madeira, horizontais e inclinadas, travadas por pendurais e escoras, as quais suportavam as madres onde era aplicado o ripado.	2,16
VI 1	Envidraçado Interior do tipo 1	Caixilharia em plástico com vidro duplo, sem protecção.	3,30

4.4.2. Classe da inércia Térmica

No cálculo da inércia térmica foi adotado o seguinte procedimento:

- Cálculo da massa dos elementos exteriores, em contacto com outra fracção ou espaço não-útil, tendo em conta o seguinte:
 - A massa superficial útil (M_{si}) é metade da massa total do elemento (m_t);
 - Em caso de o elemento possuir isolamento térmico $M_{si} = m_t$, contabiliza-se a massa a partir do isolamento para o interior;
 - Em caso algum a M_{si} pode ultrapassar os 150 kg/m^2 .
- Cálculo da massa dos elementos em contacto com o solo tendo em conta o seguinte:
 - Caso o elemento não possua isolamento térmico a M_{si} é 150 Kg/m^2 .
 - Enquanto se o elemento não possuir isolamento térmico $M_{si}=m_i$, contabiliza-se a massa a partir do isolamento para o interior.
 - Em caso algum a M_{si} pode ultrapassar os 150 kg/m^2 .
- Cálculo da massa dos elementos de compartimentação interior da fracção autónoma, compreendendo parede ou pavimento, tendo em conta o seguinte:
 - Caso o elemento não possua isolamento térmico, a massa superficial útil (M_{si}) é igual a massa do elemento (m_i);
 - Enquanto se o elemento possuir isolamento térmico, tem de ser avaliado de forma independente em cada um dos lados da camada de isolamento térmico, sendo que em cada um dos lados $M_{si} = m_i$, onde m_i corresponderá à massa do elemento desde o isolamento térmico até à face em estudo;
 - Em caso algum a M_{si} pode ultrapassar os 150 kg/m^2 .

A inércia é Média pois não se verificaram cumulativamente as características definidas no Despacho 15793 – E/2013 para inércia Fraca e Forte.

4.4.3. Fator de redução da massa superficial

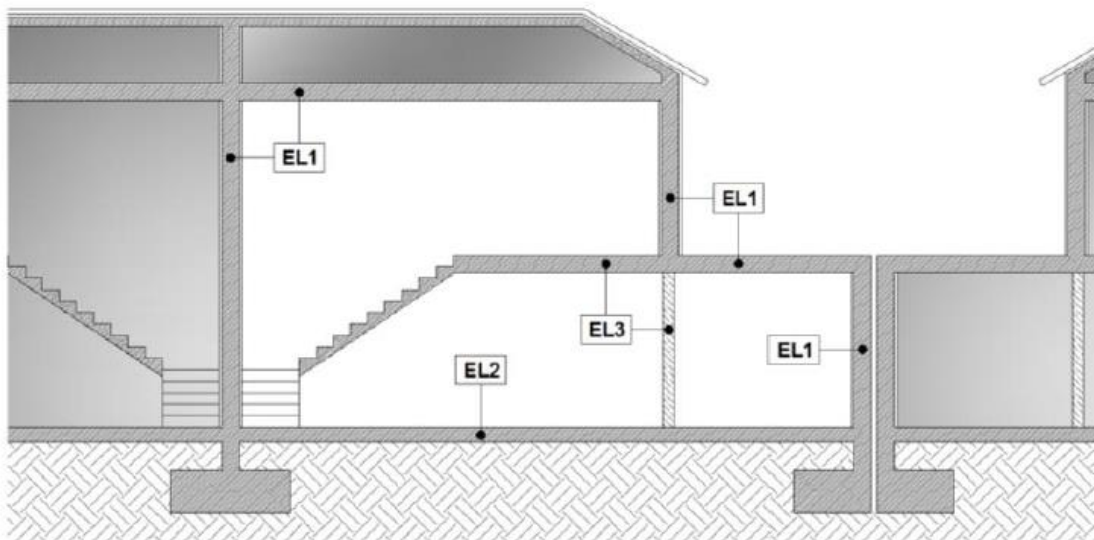


Figura 4.3 - Esquema representativo dos elementos que constituem a envolvente.

O factor de redução da massa superficial, r , depende da resistência térmica do revestimento superficial interior, com inclusão da resistência de uma eventual caixa-de-ar associada, R , considerando-se a aplicação das seguintes disposições:

Tabela 4.4 - Influência do revestimento superficial interior.

Tipo de revestimento superficial interior	R [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]
Rebocos correntes, de gesso, cimento ou cal	$\leq 0,14$
Parquet de madeira	$\leq 0,14$
Revestimento cerâmico ou de pedra	$\leq 0,14$
Alcatifa espessa com base de borracha	$0,14 \leq R \leq 0,3$
Soalho sobre laje com espaço de ar	$0,14 \leq R \leq 0,3$
Placas de gesso cartonado e espaço de ar	$0,14 \leq R \leq 0,3$

Para elementos do tipo EL1 e EL2:

Tabela 4.5 - Valor do factor de redução em função de R para EL1 e EL2.

R [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]	r
$> 0,3$	0
$0,14 \leq R \leq 0,3$	0,5
$< 0,14$	1

Para elementos tipo EL3:

Tabela 4.6 - Valor do factor de redução em função de R para EL3.

R [m ² .°C/W]		r
Face		
Interior/Exterior	Interior/Exterior	
> 0,3	>0,3	0
> 0,3	0,14 ≤ R ≤ 0,3	0,25
> 0,3	<0,14	0,5
0,14 ≤ R ≤ 0,3	0,14 ≤ R ≤ 0,3	0,5
0,14 ≤ R ≤ 0,3	<0,14	0,75
<0,14	<0,14	1

Para os elementos do tipo 1 do edifício estudado, considerou-se o factor de redução igual a 1, sendo o revestimentos da face exterior constituído por um reboco corrente de cal e, o revestimento da face interior constituído por um reboco corrente de gesso, como se encontra assinalado na Figura 4.4.

Paredes exteriores					
Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
PDE1	16,18	830,00	150,00	1,00	2427,00
PDE1	15,48	830,00	150,00	1,00	2322,00
			0,00		
TOTAL					4749,00

Figura 4.4 - Coeficiente de redução para elementos do tipo 1.

Para os elementos do tipo 3 do edifício estudado, considerou-se o factor de redução igual a 0,75, sendo o revestimento da face exterior constituído por um reboco de gesso e, o revestimento da face interior constituído por um soalho de madeira com espaço de ar, assinalado na Figura 4.5.

Pavimentos sobre espaços não úteis					
Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
PVI1	92,90	50,00	50,00	0,75	3483,75
PVI2	12,60	201,00	150,00	0,75	1417,50
			0,00		
TOTAL					4901,25

Figura 4.5 - Coeficiente de redução para elementos do tipo 3.

4.4.4. Classe energética

A classificação para os edifícios existentes segue uma escala pré-definida de 7+2 classes (A+, A, B, B-, C, D, E, F e G), em que a classe A+ corresponde a um edifício com melhor desempenho

energético, e a classe G corresponde a um edifício de pior desempenho energético. Embora o número de classes na escala seja o mesmo, os edifícios de habitação e de serviços têm indicadores e formas de classificação diferente [5].

Sigla	Descrição	Valor	Referência	
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	53,96	33,29	
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	13,60	13,83	
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	3566	3566	
Wvm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	0,00		
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis (kWh/ano)	0		
Eren,ext	Energia exportada proveniente de fontes renováveis (kWh/ano)	0,00		
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m ² .ano)	196,53	140,17	
				Ntc/Nt 1,40
				Classe Energética C

Figura 4.6 - Balanço energético do piso térreo.

Sigla	Descrição	Valor	Referência	
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	61,32	32,75	
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	12,29	13,83	
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	3566	3566	
Wvm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	0,00		
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis (kWh/ano)	0		
Eren,ext	Energia exportada proveniente de fontes renováveis (kWh/ano)	0,00		
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m ² .ano)	213,83	138,82	
				Ntc/Nt 1,54
				Classe Energética D

Figura 4.7 - Balanço energético do piso intermédio.

Sigla	Descrição	Valor	Referência	
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	87,14	41,36	
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	8,76	13,83	
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	3566	3566	
Wvm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	0,00		
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis (kWh/ano)	0		
Eren,ext	Energia exportada proveniente de fontes renováveis (kWh/ano)	0,00		
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m ² .ano)	267,40	160,34	
				Ntc/Nt 1,67
				Classe Energética D

Figura 4.8 - Balanço energético do piso de cobertura.

Através da análise do balanço energético dos três pisos, verifica-se que o piso com desempenho energético menos eficiente é o piso de cobertura, obtém uma classificação D, o piso intermédio encontra-se na mesma classe energética, mas a relação entre as necessidades nominais anuais de energia útil de aquecimento e arrefecimento é mais favorável, o piso com melhor desempenho é o térreo, com uma classificação C. Constata-se também que o piso com maiores necessidades

nominais anuais de energia útil para aquecimento é o de cobertura, através da análise da Figura 4.8, devido às trocas de calor entre o piso e o desvão não habitado, em particular na estação de aquecimento. O piso com maiores necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento o piso térreo, como é possível constatar na Figura 4.6, deve-se ao facto do pavimento estar em contacto com terreno. As medidas de melhoria preconizadas para o edifício terão em consideração a classificação energética dos três pisos, pois através deles é possível caracterizar o desempenho do edifício.

4.5. Análise de desempenho acústico

Apesar do RERU dispensar o cumprimento de requisitos acústicos previstos no RRAE, optou-se por manter as exigências, de forma a garantir o conforto dos habitantes e implementar medidas que se traduzam numa melhoria significativa em relação á situação actual. Os elementos construtivos que serão alvo da análise são as paredes exteriores, paredes meeiras, paredes em contacto com espaços comuns e pavimentos interiores. O cálculo detalhado dos parâmetros regulamentares encontra-se no Anexo A6.

4.5.1. Isolamento acústico a sons de condução aérea

4.5.1.1. Envolvente exterior

Requisitos:

Ponto ii, alínea a) do n.º 1 do art.º 5.º do DL 96/2008 de 9 de Junho

$D_{2,m,n,w} \geq 28$ dB (zona sensível)

O parâmetro regulamentar de separação com o exterior $D_{2,m,n,w}$ pode ser calculado em função do isolamento dos vários constituintes de separação (paredes e envidraçados), das respectivas áreas e do valor de transmissão marginal.

Situação actual:

Conj. Env./pared. $D_{2,m,n,w} = 38$ dB ≥ 28 dB (**verifica**)

Com base nos valores apresentados justifica-se a conformidade regulamentar da envolvente do edifício com o Ponto ii, alínea a) do n.º 1 do art.º 5.º do DL 96/2008 de 9 de Junho, aplicável a quartos ou zonas de estar dos fogos.

4.5.1.2. Isolamento entre compartimentos

Requisitos:

alínea b) do n.º 1 do art.º 5.º do DL 96/2008 de 9 de Junho

$$D_{n,w} \geq 50 \text{ dB}$$

Os diversos elementos constituintes da compartimentação interior do edifício conferem os seguintes níveis de isolamento sonoro a sons de condução aérea:

Situação actual:

Paredes int. $D_{n,w} = 48 \text{ dB} \leq 50 \text{ dB}$ (**não verifica**)

Tectos/pavimentos rev. madeira $D_{n,w} = 46 \text{ dB} \geq 50 \text{ dB}$ (**não verifica**)

Com base nos valores apresentados não se justifica a conformidade regulamentar com a alínea b) do n.º 1 do art.º 5.º do DL 96/2008 de 9 de Junho, aplicável à separação entre compartimentos de um fogo (emissão) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (recepção).

4.5.1.3. Isolamento entre compartimentos e circulações

Requisitos:

Ponto ii, alínea c) do n.º 1 do art.º 5.º do DL 96/2008 de 9 de Junho

$$D_{n,w} \geq 40 \text{ dB}$$

Os diversos elementos constituintes da compartimentação interior do edifício conferem os seguintes níveis de isolamento sonoro a sons de condução aérea:

Situação actual:

Paredes int. $D_{n,w} = 46 \text{ dB} \geq 40 \text{ dB}$ (**verifica**)

Com base nos valores apresentados justifica-se a conformidade regulamentar com o ponto ii, alínea c) do n.º 1 do art.º 5.º do DL 96/2008 de 9 de Junho, aplicável à separação entre locais de circulação comum do edifício (emissão) e quartos ou zonas de estar dos fogos (recepção).

4.5.2. Isolamento acústico a ruídos de percussão

4.5.2.1. Isolamento entre compartimentos

Requisitos:

Alínea e) do n.º 1 do art.º 5.º do DL 96/2008 de 9 de Junho

$$L'_{n,w} \leq 60 \text{ dB}$$

Situação actual:

Tectos/pavimentos rev. madeira $L'_{n,w} = 64 \text{ dB} \leq 60 \text{ dB}$ (**não verifica**)

5. MEDIDAS DE MELHORIA

O edifício estudado foi objecto de um estudo de medidas de melhoria que visa identificar oportunidades para otimizar o desempenho energético, aumentar o conforto térmico e acústico, promover a salubridade dos espaços. O estudo de soluções teve em conta também os princípios da reabilitação de edifícios antigos, cada intervenção realizada deve ser reversível, preservar a autenticidade do edifício e, garantir a compatibilidade entre os materiais utilizados e os que constituem o edifício [29] [30]. Foi considerada a seguinte hierarquia de prioridades definida para o efeito, nomeadamente:

- Correção de patologias construtivas;
- Compatibilidade dos materiais;
- Reversibilidade das medidas implementadas;
- Autenticidade do edifício;
- Redução das necessidades de energia útil por intervenção na envolvente;
- Utilização de energias renováveis;
- Melhoria da eficiência dos sistemas;
- Sustentabilidade.

5.1. Piso Intermédio

5.1.1. Paredes Exteriores

SOLUÇÕES:

- **Tipo I:** Isolamento pelo interior

O isolamento térmico pelo interior é normalmente efectuado através de painéis isolantes pré-fabricados ou, da aplicação de uma contra fachada (pano de alvenaria ou forro contínuo) no lado interior da parede a reabilitar. Esta última hipótese não é válida para o caso de estudo, uma vez que apenas serão tido em conta soluções leves.

Realizou-se uma análise higrotérmica à parede exterior existente para verificar se existe a possibilidade de condensações no paramento interior, de forma a justificar ou não a utilização de caixa-de-ar nas soluções propostas [25].

Tendo em conta a localização geográfica, e a parede existente com $U=1,23$ ($W/m^2.C$), considerando a temperatura exterior mínima de $0^{\circ}C$ e a temperatura interior de $20^{\circ}C$. Admitindo uma humidade relativa no ambiente interior de 50%, corresponde uma humidade absoluta de $8,5$ (g/m^3). De acordo com a equação 2, que permite determinar a temperatura superficial, a temperatura superficial interior da parede é de $17,8^{\circ}C$, a que corresponde um valor abaixo do tabelado para o limite de saturação de $8,5g/m^3$, não provocando a ocorrência de condensações

superficiais para as condições estudadas. Não é necessário aplicar caixa-de-ar nas soluções propostas para as paredes exteriores.

$$\theta_i = t_i - 0,12 \cdot U \cdot (t_i - t_e) \quad (2)$$

θ_i = Temperatura superficial interior;

t_i = Temperatura interior;

t_e = Temperatura exterior;

U = Coeficiente de transmissão térmica;

A Figura 5.1 representa em planta a aplicação do isolamento térmico pelo interior em gesso cartonado, sem caixa-de-ar.

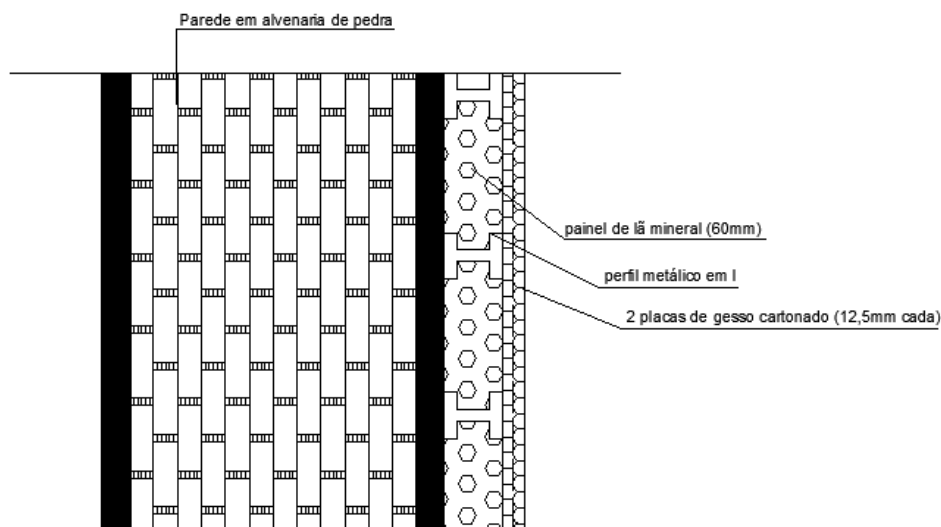


Figura 5.1 - Representação em planta da solução de isolamento pelo interior

Na Tabela 5.1 encontram-se resumidas as vantagens da aplicação das soluções de isolamento térmico pelo interior.

Tabela 5.1 - Principais vantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo interior

Factor	Desempenho
Aplicabilidade e Durabilidade	Aplicação e desempenho futuro não são afectados pelas condições climáticas exteriores.
Isolamento térmico	Reduz de forma significativa o coeficiente de transmissão térmica da parede, garantindo um isolamento eficiente.
Isolamento acústico	Esta solução oferece um incremento do isolamento a ruídos aéreos provenientes do exterior garantido pela fachada.
Compatibilidade	Os materiais utilizados são compatíveis com a parede existente.
Reversibilidade	Caso se pretenda substituir, reparar ou retirar é possível, sem comprometer a parede existente.

Autenticidade	Sendo o isolamento aplicado pelo interior não compromete as características arquitectónicas da fachada.
---------------	---

Na Tabela 5.2 encontram-se resumidas as desvantagens da aplicação das soluções de isolamento térmico pelo interior.

Tabela 5.2 - Principais desvantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo interior

Factor	Desempenho
Área útil	Implica uma redução da área útil interior, que implica uma diminuição do valor do imóvel.
Autenticidade	Não permite a manutenção dos ornamentos que se encontram no paramento interior das paredes de fachada.
Inércia Térmica	A inércia térmica (interior) é reduzida em consequência da inutilização da parede exterior como massa de armazenamento térmico.

▪ **Tipo II: Isolamento pelo exterior - ETICS**

A aplicação de isolamento pelo exterior vai permitir reduzir as trocas de calor entre interior e exterior, pelo que desta forma, é possível minimizar as necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento.

Um dos tipos de isolamento pelo exterior são os sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior, conhecidos pela siglas ETICS – *External Thermal Insulating Composite Systems*. Este tipo de solução é constituído por placas de isolamento térmico. O isolamento térmico pode ser fixado ao paramento por colagem, fixações mecânicas ou por ambos os processos. O sistema ETICS pode ser de revestimento espesso ou de revestimento delgado [32].

A Figura 5.2 representa o esquema de dois sistemas compósitos de isolamento térmico aplicado pelo exterior do tipo “ETICS”, um de revestimento espesso, esquerda, e o outro de revestimento delgado, direita.

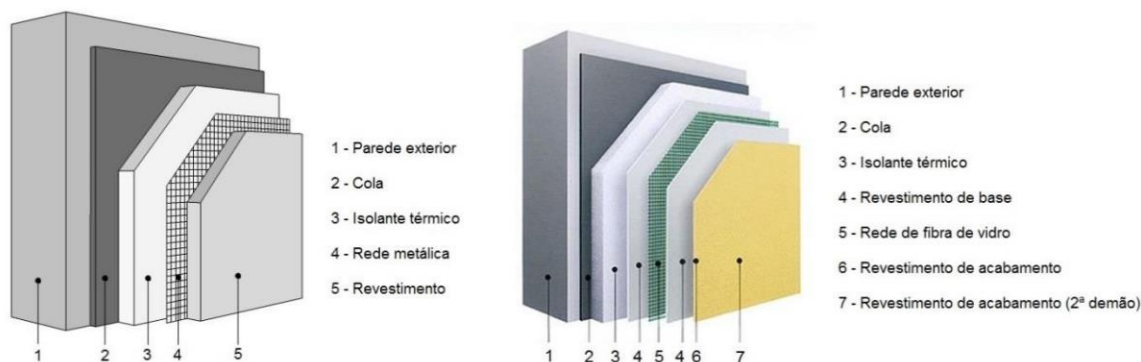


Figura 5.2 - Sistema de isolamento térmico com revestimento espesso (esquerda). Sistema de isolamento térmico com revestimento delgado (direita) [32]

Na Tabela 5.3 encontram-se as principais vantagens da aplicação dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior ETICS.

Tabela 5.3 - Principais vantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior ETICS

Factor	Desempenho
Inércia Térmica	Incremento da inércia térmica (interior) com benefícios em termos de conforto interior e eficiência energética, sobretudo para regimes de aquecimento contínuo.
Isolamento térmico	Reduz de forma significativa o coeficiente de transmissão térmica da parede, garantindo um isolamento eficiente.
Isolamento acústico	Esta solução oferece um incremento do isolamento a ruídos aéreos provenientes do exterior garantido pela fachada.
Estanquidade	Contribui para a estanquidade global da parede exterior à acção da água de precipitação.
Área útil	Não existe redução da área útil interior.
Solicitações Parede Suporte	Maior protecção da envolvente exterior face às solicitações climáticas exteriores.
Compatibilidade	Os materiais utilizados são compatíveis com a parede existente.
Reversibilidade	Caso se pretenda substituir, reparar ou retirar é possível, sem comprometer a parede existente.

Na Tabela 5.4 encontram-se resumidas as desvantagens da aplicação das soluções de isolamento térmico pelo interior.

Tabela 5.4 - Principais desvantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior ETCIS

Factor	Desempenho
Aplicação	Técnica de execução delicada, efectuada por equipas especializadas e com condições climáticas apropriadas. Implica também a necessidade de efectuar remates nos vãos de fachada, para não comprometer a eficiência da solução.
Autenticidade	Compromete a autenticidade arquitectónica da fachada do edifício, ao garantir um acabamento diferente do original.
Inércia Térmica	A inércia térmica (interior) elevada pode revelar-se como um factor prejudicial para edifícios com sistemas de aquecimento intermitente.
Resistência ao choque	O sistema possui uma resistência ao choque reduzida, requerendo disposições construtivas específicas para a sua utilização ao nível dos pisos inferiores.
Condensações Internas	Risco de ocorrência de condensações internas na interface do material isolante térmico com a camada exterior.

- **Tipo III:** Isolamento pelo exterior - revestimento independente com interposição de um isolante térmico na caixa-de-ar.

Este tipo de solução de reforço do isolamento consiste na aplicação do isolamento térmico entre a parede do edifício e um revestimento exterior, fixado à parede através de uma estrutura secundária, espaçando os materiais com uma caixa-de-ar, o que torna a fachada ventilada e protege ainda o isolamento térmico contra a acção da chuva e radiação solar. Este revestimento pode ser contínuo (rebocos armados) ou descontínuo (composto por placas metálicas, fibrocimento ou material plástico) [32].

Na figura 5.3 encontra-se representado um esquema construtivo deste tipo de solução.

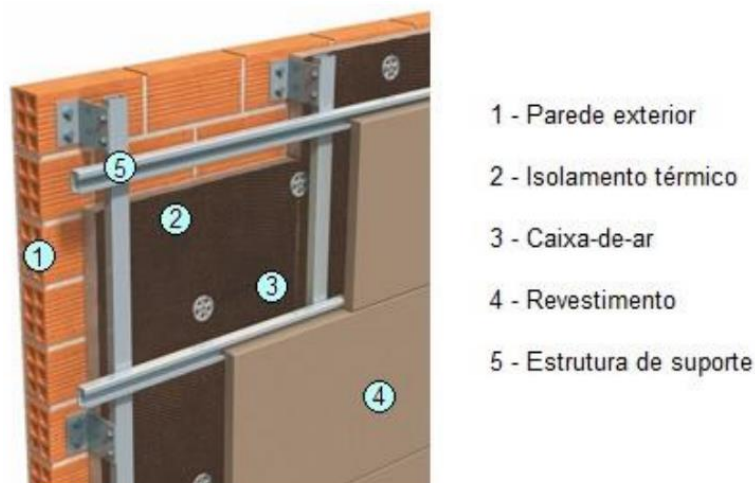


Figura 5.3 - Esquema do revestimento independente com interposição de isolante térmico na caixa-de-ar [32]

No que diz respeito às vantagens que o sistema de isolamento pelo exterior com revestimento independente oferece, são as mesmas que as do sistema ETICS, que se encontram resumidas na Tabela 5.3.

Em relação às desvantagens que o sistema de isolamento pelo exterior com revestimento independente oferece, são também as mesmas que as do sistema ETICS, com excepção da possibilidade de condensações internas, devido à existência de caixa-de-ar.

5.1.2. Paredes Meeiras

SOLUÇÕES:

- **Tipo I**

Optou-se pelo isolamento térmico pelo interior pois é uma solução leve e tratando-se de uma parede interior é única a considerar. Esta solução consiste em aplicar uma camada isolante de lâ-mineral, que se encontra fixada através de uma estrutura de apoio constituída por perfis metálicos.

São então aparafusados painéis prefabricados de gesso acartonado à estrutura de apoio, como se encontra representado na Figura 5.4.

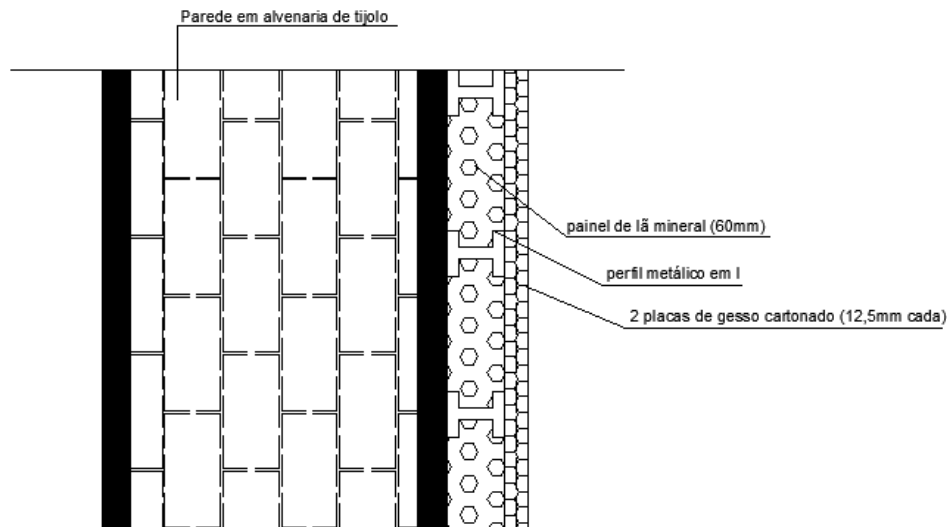


Figura 5.4 - Representação em planta da solução de isolamento pelo interior

No que diz respeito às vantagens e desvantagens desta solução já foram explicadas anteriormente, na solução do tipo I para as paredes exteriores.

5.1.3. Pavimentos Interiores

Os pavimentos interiores são elementos importantes no desempenho acústico de uma habitação. Consoante a localização do pavimento, existem três diferentes tipos de reforço do isolamento:

- Isolamento na zona inferior do pavimento;
- Isolamento na zona intermédia do pavimento;
- Isolamento na zona superior do pavimento;

Tratando-se de um pavimento interior em contacto com espaços não úteis, o recomendado será aplicar o isolamento na zona inferior e intermédia do pavimento. Embora existam outras condicionantes, tais como o pé-direito do edifício, tipo de utilização, acessibilidade e caso se pretenda uma intervenção não destrutiva [26].

SOLUÇÕES:

▪ Tipo I

Esta é a solução mais vantajosa em relação à aplicação do isolamento na zona intermédia do pavimento, não implica o desmonte do soalho para colocar o isolamento. Como desvantagem a colocação do tecto falso tem a redução do pé-direito, mas como o do edifício estudado é de 2,80m, não existe prejuízo na sua aplicação. O tecto falso tem como principal função garantir o

isolamento ao ruído aéreo. Em relação ao isolamento colocado na zona superior, sobreposto de um pavimento laminado flutuante, garante o isolamento ao sons de percussão. Nas zonas húmidas o acabamento do pavimento flutuante deve ser cerâmico tradicional, de forma a não advir infiltrações de água e degradação do pavimento.

A Figura 5.5 representa em corte vertical o sistema que combina isolamento aplicado na zona inferior e superior do pavimento.

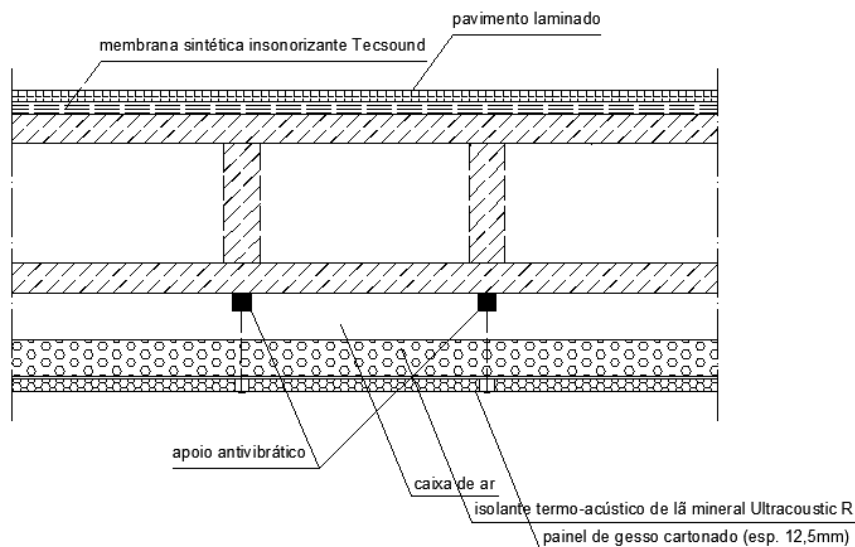


Figura 5.5- Corte vertical da solução que combina isolamento inferior e superior

A Tabela 5.5 resume as vantagens da aplicação do sistema de isolamento aplicado na zona superior e inferior do pavimento.

Tabela 5.5 - Principais vantagens da aplicação de isolamento nas zonas superior e inferior

Factor	Desempenho
Isolamento térmico	Reduz de forma significativa o coeficiente de transmissão térmica do pavimento, garantindo um isolamento eficiente.
Isolamento acústico	Esta solução oferece um incremento do isolamento a ruidos aéreos e sons de percussão provenientes da fracção adjacente.
Compatibilidade	Os materiais utilizados são compatíveis com o pavimento existente.
Reversibilidade	Caso se pretenda substituir, reparar ou retirar é possível, sem comprometer o pavimento existente.

Na Tabela 5.6 encontram-se resumidas as desvantagens da aplicação das soluções de isolamento térmico pelo interior.

Tabela 5.6 - Principais desvantagens da aplicação de isolamento nas zonas superior e inferior

Factor	Desempenho
Altura útil	A aplicação do tecto falso implica uma redução da altura útil do pé-direito.
Autenticidade	Não permite a manutenção dos ornamentos que se encontram no tecto da sala e quartos.
Aplicação	O pavimento obriga a execução de remates nas portas e guarnições, retirar o rodapé existente com cuidado de forma a não danificá-lo de forma que seja possível aplica-lo novamente após colocado o pavimento.

▪ **Tipo II**

Este tipo de solução deve ser aplicada apenas quando o pé-direito do edifício é reduzido, não sendo possível colocar o tecto falso implica uma redução da altura útil. Para colocar o isolamento na zona intermédia é necessário proceder ao desmonte do soalho existente e do rodapé, este processo deve ser executado de forma cuidado de forma a não danificar tanto o soalho como o rodapé. O isolamento colocado na zona intermédia garante o isolamento aos ruídos de aéreo. No do isolamento colocado na zona superior é válido o que foi dito anteriormente, tanto ao nível da sua função como das suas condicionantes.

A Figura 5.7 representa em corte vertical o sistema que combina isolamento aplicado na zona intermédia e superior do pavimento.

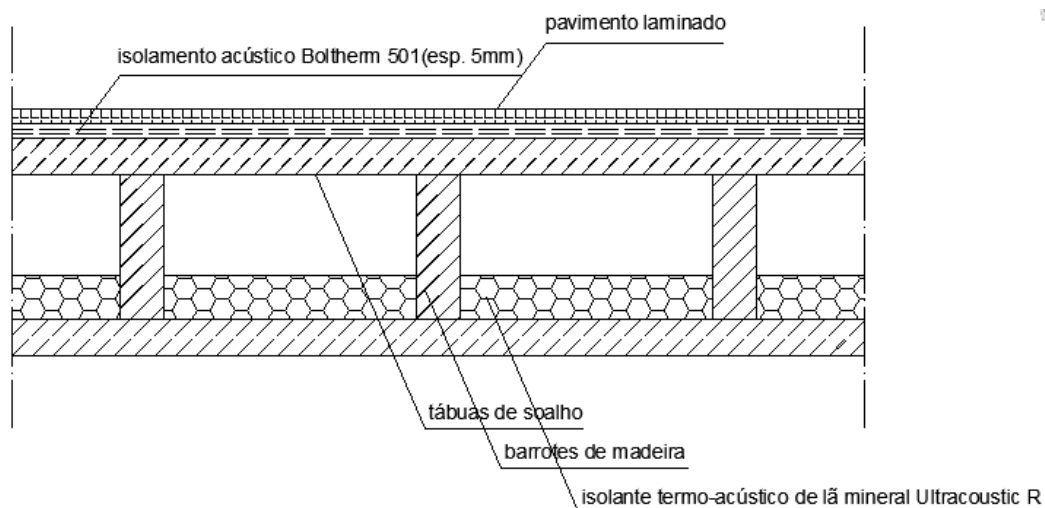


Figura 5.6 - Corte vertical da solução que combina isolamento intermédio e superior

Esta solução apresenta sensivelmente as mesmas vantagens que a solução anterior, resumidas na Tabela 5.7, com excepção da autenticidade.

Tabela 5.7 - Principais vantagens do sistema de isolamento superior e intermédio

Factor	Desempenho
--------	------------

Isolamento térmico	Reduz de forma significativa o coeficiente de transmissão térmica do pavimento, garantindo um isolamento eficiente.
Isolamento acústico	Esta solução oferece um incremento do isolamento a ruídos aéreos e sons de percussão provenientes da fracção adjacente.
Compatibilidade	Os materiais utilizados são compatíveis com o pavimento existente.
Reversibilidade	Caso se pretenda substituir, reparar ou retirar é possível, sem comprometer o pavimento existente.
Autenticidade	Permite a manutenção dos ornamentos que se encontram no tecto da sala e quartos, característicos da época.

Na Tabela 5.8 encontram-se resumidas as desvantagens da aplicação das soluções, sendo estas as que podem condicionar de forma significativa a escolha de uma solução em detrimento de outra.

Tabela 5.8 - Principais desvantagens do sistema de isolamento superior e intermédio

Factor	Desempenho
Reabilitação	A aplicação do isolamento na zona intermédia do pavimento implica o desmonte do soalho existente, aumentando o custo de forma significativa.
Aplicação	O pavimento obriga a execução de remates nas portas e guarnições, retirar o rodapé existente com cuidado de forma a não danificá-lo para que seja possível aplica-lo novamente após colocado o pavimento.

5.1.4. Vãos Envidraçados

A reabilitação térmica dos vãos envidraçados permite a melhoria não só do seu desempenho térmico, como também reduzir as infiltrações de ar não controladas e melhorar a ventilação natural. Tem também como objectivo o controlo de ganhos solares, através do aproveitamento solar no Inverno e reforço da protecção face à radiação solar no Verão, e melhoria da eficiência da iluminação natural.

Por estes motivos, a qualidade dos envidraçados e o tipo de caixilharia a aplicar, são determinantes na optimização do desempenho energético do edifício [32].

As medidas de melhoria a implementar nos vãos envidraçados no caso de estudo podem ser divididas em dois tipos de intervenção.

SOLUÇÕES:

- **Tipo I** – Conservação da janela existente, intervindo de forma a melhorar o desempenho face às exigências actuais.

Medidas: - Instalação de uma segunda janela em cada vão, com caixa-de-ar entre as janelas, obtendo assim um sistema de janela dupla com caixa-de-ar. Esta medida tem como principal condicionante a largura do peitoril;

- Substituição de vidro existente por outro com desempenho mais eficiente.

- **Tipo II** – Substituição da janela existente por outra adaptada às exigências actuais.

Medidas: - Nova janela e sistema de caixilharia com reposição dos elementos que caracterizam a tipologia do edifício.

Os envidraçados e sistema de caixilharia original foram substituídos, sensivelmente há cinco anos, devido ao seu elevado estado de degradação. Na altura optou-se por uma solução do tipo II, sendo a janela constituída por um sistema de caixilharia em PVC, com vidro duplo. Não sendo por isso necessário implementar nenhuma medida de melhoria no que diz respeito aos vãos envidraçados.

5.2. Piso Térreo

5.2.1. Pavimento térreo

No pavimento do piso térreo, que encontra em contacto com o solo, o comportamento térmico é melhorado devido à existência de uma caixa-de-ar entre o pavimento e o solo.

SOLUÇÕES:

- **Tipo I**

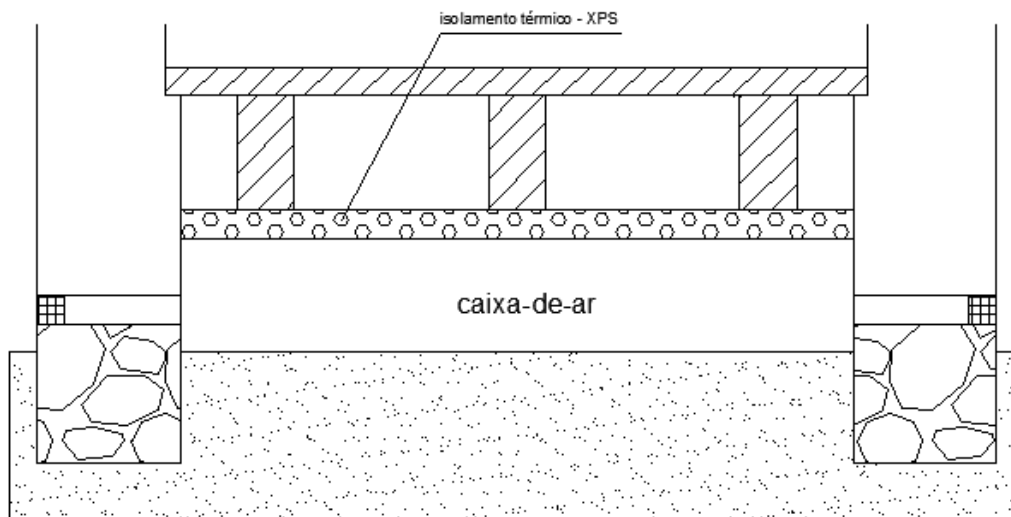


Figura 5.7 – Corte vertical da solução de isolamento térmico na zona inferior do pavimento

Na Tabela 5.9 encontram-se resumidas as vantagens da aplicação das soluções de isolamento térmico pelo interior.

Tabela 5.9 - Principais vantagens da aplicação de isolamento na zona inferior do pavimento

Factor	Desempenho
Isolamento térmico	Reduz de forma o coeficiente de transmissão térmica do pavimento, garantindo um isolamento eficiente.
Altura útil	Não existe redução do pé direito.
Autenticidade	Não compromete a autenticidade do edifício, não sendo necessário proceder ao desmonte do soalho existente.
Compatibilidade	Os materiais utilizados são compatíveis com os elementos de madeira do pavimento.
Reversibilidade	Caso se pretenda substituir, reparar ou retirar é possível, sem comprometer o pavimento existente.

No que diz respeito às desvantagens da aplicação do isolamento na zona inferior do isolamento existe a dificuldade intrínseca de uma intervenção num pavimento térreo de um edifício antigo, o acesso deve ser realizado através das grelhas de ventilação da caixa-de-ar, procurando não comprometer o pavimento existente.

▪ **Tipo II**

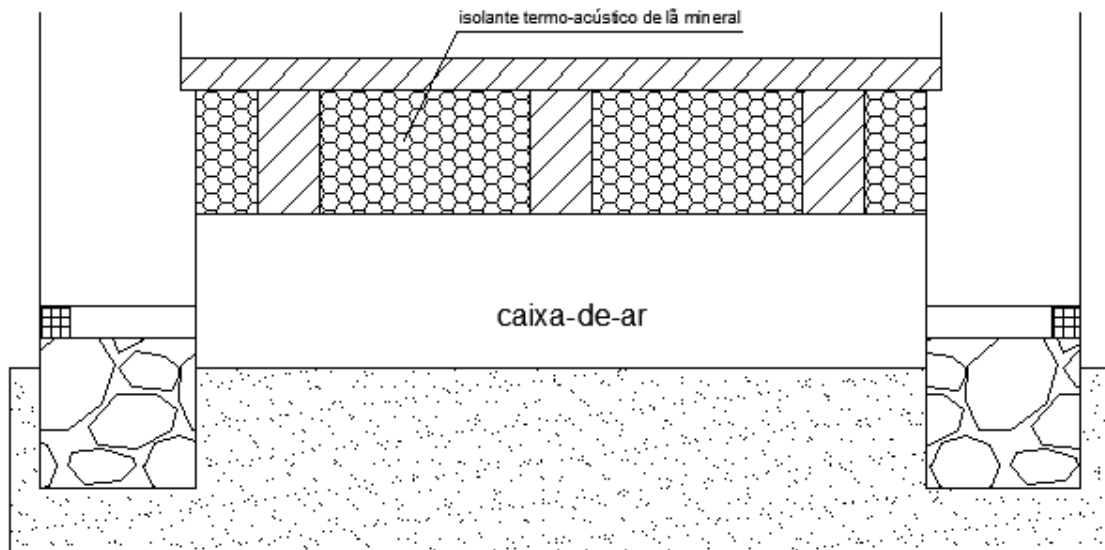


Figura 5.8 – Corte vertical da solução de isolamento térmico na zona intermédia do pavimento

As vantagens que aplicação do isolamento na zona intermédia do pavimento são as mesmas que a aplicação do isolamento na zona inferior do pavimento. O que as diferencia de forma

significativa, e pode condicionar a escolha de uma em detrimento de outra, são as desvantagens, que se encontram resumidas na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Principais desvantagens da aplicação de isolamento na zona intermédia do pavimento

Factor	Desempenho
Reabilitação	A aplicação do isolamento na zona intermédia do pavimento implica o desmonte do soalho existente, aumentando o custo de forma significativa.
Aplicação	O desmonte do pavimento implica o desmonte do rodapé, que deve ser feito com cuidado de forma a não danificá-lo, pois não é possível encontrar igual no mercado.

5.3. Piso de Cobertura

5.3.1. Cobertura

Em relação à cobertura, neste caso de estudo inclinada, o reforço do isolamento térmico pode seguir duas metologias, que se se diferenciam pelo elemento das cobertura no qual se aplica o isolante.

- **Tipo I:** Isolamento da esteira horizontal

Quando o espaço entre a cobertura e o último piso, isto é, o desvão, não é utilizado para fins de habitação, torna-se mais eficiente aplicar o isolamento térmico sobre a esteira horizontal.

A Figura 5.10 representa em corte vertical a aplicação do isolamento térmico na esteira horizontal da cobertura.

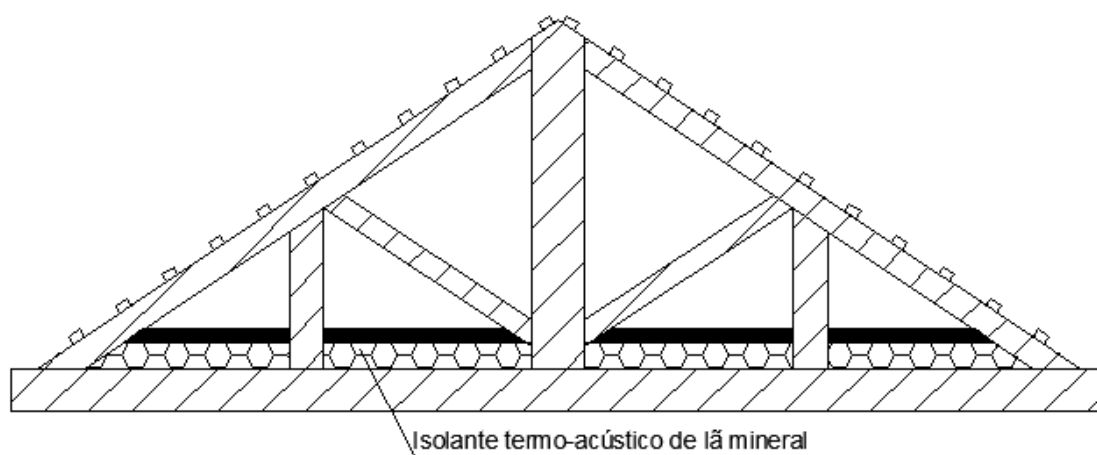


Figura 5.9 – Corte vertical da cobertura inclinada com isolamento térmico na esteira horizontal de um desvão habitável

A Tabela 5.11 resume as vantagens da aplicação do sistema de isolamento aplicado na esteira horizontal da cobertura.

Tabela 5.11 - Principais vantagens da aplicação de isolamento térmico na esteira

Factor	Desempenho
Eficiência energética	Como se trata de um desvão não habitável, na estação de aquecimento tem-se um menor volume para aquecer, logo menor consumo de energia.
Aplicação	A aplicação do isolamento na esteira é relativamente simples.
Solução económica	A quantidade de isolamento utilizada é menor do que se fosse aplicado nas vertentes, tornando-se mais económica.

A única desvantagem que esta solução apresenta, é a colocação de uma protecção na parte superior do isolamento, no caso de o desvão ser acessível.

▪ **Tipo II: Isolamento das vertentes**

Este tipo de solução deve ser considerada apenas quando o desvão seja habitável, que não é o caso, onde o isolamento térmico é aplicado segundo as vertentes da cobertura. Tendo em conta a possibilidade de infiltração da água da chuva, embora à partida isso seja garantido através da pendente de cobertura e do revestimento de telhas. O reforço da protecção superior do isolante pode ser feito através de uma camada que impeça a passagem da água e que, simultaneamente, não origine condensações internas, aplica-se uma subtelha entre as ripas e as varas.

Na Figura 5.11 encontra-se representada em corte vertical a aplicação do isolamento térmico nas vertentes da cobertura.

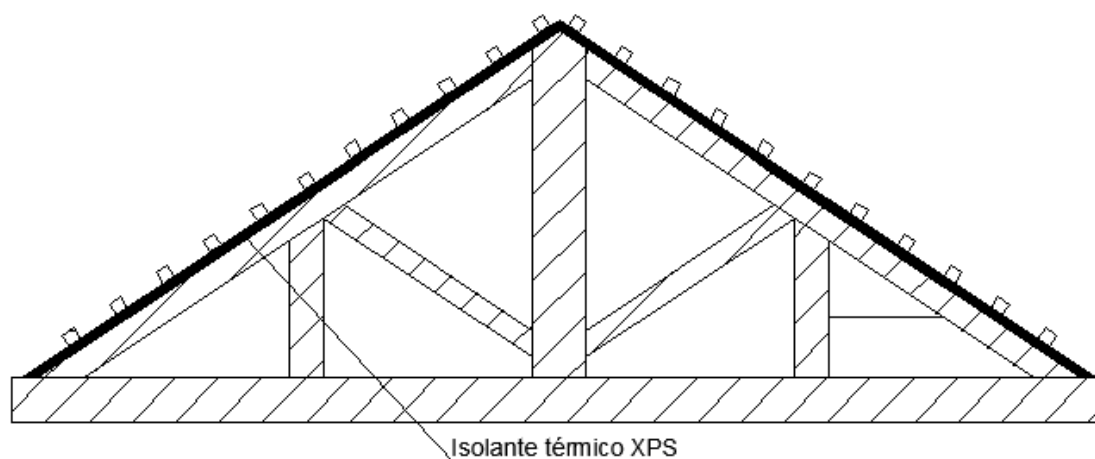


Figura 5.10 - Corte vertical da cobertura inclinada com isolamento térmico nas vertentes de um desvão não habitável

Na Tabela 5.12 encontram-se resumidas as desvantagens da aplicação do sistema de isolamento aplicado nas vertentes da cobertura.

Tabela 5.12 - Principais desvantagens da aplicação de isolamento térmico nas vertentes

Factor	Desempenho
Área de aplicação	Implica uma maior área de aplicação e, conseqüentemente a um custo maior.
Consumo energético.	Define um volume não-habitado desnecessariamente climatizado, independentemente se é aquecido ou arrefecido, logo um maior consumo energético.
Fraca ventilação	Não permite a adequada e benéfica ventilação do espaço.

5.4. Renovação do ar interior

De forma a aumentar o número de ciclo de renovação de ar por hora em condições nominais, $r_{ph,(h-1)}$, optou-se por introduzir um dispositivo de extração mecânica na casa de banho interior. Esta solução tem a vantagem de garantir os caudais pretendidos em regime contínuo, permitindo assim taxas de renovação permanentes, além de poder realizar o pré-aquecimento e a filtragem do ar insuflado. Em contrapartida impede a circulação do ar quando de encontra desligado, reduzindo a ventilação a caudais quase nulos, assim como o ruído provocado pelo funcionamento da mesmo [33].

O número de renovações de ar estimado em condições nominais é de 0,42. Sendo superior ao valor mínimo regulamentar, de 0,40.

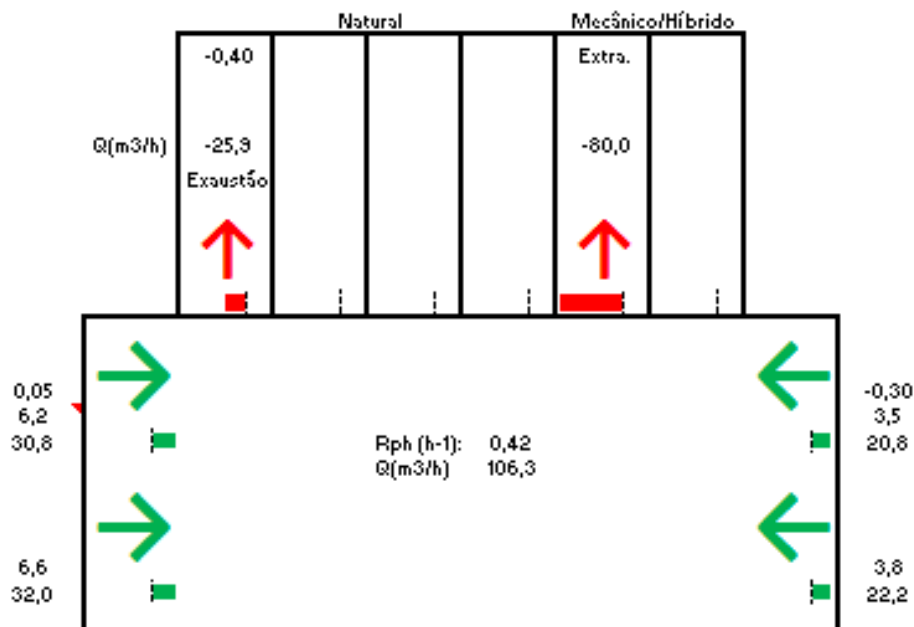


Figura 5.11 - Representação esquemática do funcionamento da ventilação melhorada

6. ANÁLISE COMPARATIVA

6.1. Análise comparativa energética

Na Tabela 6.1 encontram-se as diferentes combinações utilizadas para determinar a classe energética do piso intermédio, de modo a identificar qual a combinação mais eficiente do ponto de vista energético. Determinou-se o número de combinação da seguinte maneira, apenas uma solução para as paredes meirais que é o isolamento pelo interior, para o pavimento interior existem duas soluções, para as paredes exteriores existem três soluções possíveis, multiplica-se o número de soluções de cada um dos elementos e obtêm-se um total de seis combinações possíveis.

Tabela 6.1 - Combinações das diferentes medidas de melhoria propostas para os elementos construtivos do piso intermédio

Combinação	Paredes Exteriores	Paredes Meirais	Pavimento interior
1	Isolamento pelo interior	Isolamento pelo interior	isolam. inferior + superior
2	ETICS	Isolamento pelo interior	isolam. inferior + superior
3	Revest. Indep. do suporte	Isolamento pelo interior	isolam. inferior + superior
4	Isolamento pelo interior	Isolamento pelo interior	isolam. interm. + superior
5	ETICS	Isolamento pelo interior	isolam. interm. + superior
6	Revest. Indep. do suporte	Isolamento pelo interior	isolam. interm. + superior

Procedendo à análise da Tabela 6.2, que resume a classe energética para as diferentes combinações do piso intermédio, verifica-se que todas se traduzem na mesma classe energética, B-. Deve-se aos valores da coeficiente de transmissão térmica das diferentes soluções serem próximos, que é uma consequência de serem utilizados materiais com valores de condutibilidade térmica próximos nas diferentes soluções. Desta forma, o que condiciona a escolha de uma solução em detrimento de outra é a zona onde é aplicado o isolamento.

Tabela 6.2 - Resumo da classe energética para as diferentes combinações do piso intermédio

Elemento	Tipo de isolamento	U.antes [W/m ² .°C]	U.depois [W/m ² .°C]	Classe energética (antes)	Combinação	Classe energética (depois)
	Isolam. pelo interior		0,41		1	B ⁻
Paredes Exteriores	ETICS	1,23	0,54		2	B ⁻
	Revest. Indep. do suporte		0,57		3	B ⁻
Paredes Meeiras	Isolam. pelo interior	1,17	0,41	D	4	B ⁻
Pavimentos interiores	isolam. inferior + superior	2,16	0,285		5	B ⁻
	isolam. intermédio + superior		0,517		6	B ⁻

Na Tabela 6.3 encontram-se as combinações possíveis para determinar a classe energética do último piso. Este foi piso com o maior número de combinações, pois é também o piso com mais elementos susceptíveis a intervenção, uma vez que incorpora a cobertura interior, com duas soluções possíveis, isolamento aplicado na esteira ou nas vertentes. Multiplica-se as seis combinações do piso intermédio pelas duas soluções possíveis da cobertura interior, obtêm-se um total de doze combinações.

Tabela 6.3 - Combinações das diferentes medidas de melhoria propostas para os elementos construtivos do piso de cobertura

Combinação	Paredes Exteriores	Paredes Meeiras	Pavimento interior	Cobertura interior
1	Isolamento pelo interior	Isolamento pelo interior	isolam. inferior + superior	isolamento na esteira
2	ETICS		isolam. inferior + superior	isolamento na esteira
3	Revest. Indep. do suporte		isolam. inferior + superior	isolamento na esteira
4	Isolamento pelo interior		isolam. Interm. + superior	isolamento na esteira
5	ETICS		isolam. Interm. + superior	isolamento na esteira
6	Revest. Indep. do suporte		isolam. interm. + superior	isolamento na esteira
7	Isolamento pelo interior		isolam. inferior + superior	isolamento nas vertentes
8	ETICS		isolam. inferior + superior	isolamento nas vertentes
9	Revest. Indep. do suporte		isolam. inferior + superior	isolamento nas vertentes
10	Isolamento pelo interior		isolam. Interm. + superior	isolamento nas vertentes
11	ETICS		isolam. Interm. + superior	isolamento nas vertentes
12	Revest. Indep. do suporte		isolam. interm. + superior	isolamento nas vertentes

Analisando a Tabela 6.4, que resume a classe energética para as diferentes combinações do último piso, verifica-se que as combinações que implicam a aplicação do isolamento na esteira da cobertura obtêm menores consumo de energia primária, que se vai traduzir numa poupança energética. As combinações que implicam uma aplicação do isolamento nas vertentes obtêm a mesma classificação energética, C. Embora os consumos de energia primária sejam superiores. Fica assim evidenciada a eficiência da aplicação do isolamento na esteira da cobertura interior, em relação à sua aplicação nas vertentes. No que diz respeito às soluções propostas para os outros elementos, as medidas aplicadas nas paredes exteriores são as que tem maior impacto no consumo energético, como é possível identificar no anexo A7.

Tabela 6.4 - Resumo da classe energética para as diferentes combinações do piso de cobertura

Elemento	Tipo de isolamento	U.antes [W/m ² .°C]	U.depois [W/m ² .°C]	Classe energética (antes)	Combinação	Classe energética (depois)					
Cobertura Interior	Isolamento na esteira	4,55	1,16	F							
Paredes Exteriores	Isolam. pelo interior		0,41				1	C			
	ETICS	1,23	0,54				2	C			
	Revest. Indep. do suporte		0,57				3	C			
Paredes Meeiras	Isolam. pelo interior	1,17	0,41				4	C			
Pavimentos	isolam. inferior + superior	2,16	0,285				5	C			
	isolam. Interm. + superior		0,517				6	C			
Cobertura Interior	Isolamento nas vertentes	4,55	1,25				F				
Paredes Exteriores	Isolam. pelo interior		0,41							7	C
	ETICS	1,23	0,54							8	C
	Revest. Indep. do suporte		0,57							9	C
Paredes Meeiras	Isolam. pelo interior	1,17	0,41							10	C
Pavimentos	isolam. inferior + superior		0,285	11	C						
	isolam. Interm. + superior	2,16	0,517	12	C						

As combinações possíveis para determinar a classe energética do piso térreo encontram-se na Tabela 6.5. Este é piso com menor número de combinações, é também o piso com menos elementos susceptíveis a intervenção, apenas as paredes exteriores, já que as duas soluções propostas para o pavimento do piso térreo divergem na zona onde é aplicado o isolamento, mas

convergem no valor do coeficiente de condutibilidade térmica. Obtendo-se assim um total de três combinações possíveis, que é igual ao número de soluções propostas para as paredes exteriores.

Tabela 6.5 - Combinações das diferentes medidas de melhoria propostas para os elementos construtivos do piso de térreo

Combinação	Paredes Exteriores	Paredes Meeiras	Pavimento térreo
1	Isolamento pelo interior	Isolamento pelo interior	Isolamento inferior/intermédio
2	ETICS	Isolamento pelo interior	Isolamento inferior/intermédio
3	Revest. Indep. do suporte	Isolamento pelo interior	Isolamento inferior/intermédio

Olhando de forma detalhada para a Tabela 6.6, que resume a classe energética para as diferentes combinações do piso térreo, regista-se uma diminuição do consumo de energia primária mas não suficientemente significativo para que implique uma melhoria na classificação energética. Este facto deve-se à menor influência que as paredes exteriores tem na classificação energética do piso térreo, devido a isso é também o piso com a melhor classificação antes de aplicadas as medidas de melhoria.

Tabela 6.6 - Resumo da classe energética para as diferentes combinações do piso térreo

Elemento	Tipo de isolamento	U.antes [W/m ² .°C]	U.depois [W/m ² .°C]	Classe energética (antes)	Combinação	Classe energética (depois)
Paredes Exteriores	Isolam. pelo interior		0,41	C	2	C
	ETICS	1,23	0,54			
	Revest. Indep. do suporte		0,57			
Paredes Meeiras	Isolam. pelo interior	1,17	0,41			
Pavimento térreo	isolamento inferior /intermédio	2,16	0,61		3	C

No Anexo A5 encontra-se uma tabela que resume de forma detalhada o balanço energético de todas as combinações para os três pisos.

6.2. Análise comparativa de desempenho acústico

Encontram-se resumidas na Tabela 6.7 as soluções propostas nas medidas de melhoria para os diferentes elementos construtivos, de forma a melhorar o desempenho acústico do edifício.

Tabela 6.7 - Resume das soluções propostas para melhoria do isolamento sonoro dos diferentes elementos

Elemento	Tipo de isolamento	Sons de Percussão		Limite Regulamentar	Ruído Aéreo		Limite Regulamentar
		Existente (dB)	Melhoria (dB)		Existente (dB)	Melhoria (dB)	
	Isolam. pelo interior	-	-		36	38	
Paredes Exteriores	ETICS	-	-		36	38	≥ 28 dB
	Revest. Indep. do suporte	-	-		36	38	
Paredes Meeiras	Isolam. pelo interior	-	-		48	58	≥ 50 dB
Pavimentos interiores	isolam. inferior + superior	64	42	≤ 60 dB	46	61	≥ 50 dB
	isolam. intermédio + superior	64	44	≤ 60 dB	46	53	

Através da análise Tabela 6.7, é possível constatar que as soluções propostas em relação ao isolamento acústico a sons de condução aérea não se traduziram numa melhoria significativa, acrescentando apenas dois decibéis ao índice de isolamento sonoro existente. As soluções propostas para as paredes exteriores visam sobretudo melhorar o seu desempenho térmico. Sendo a Lei da Massa o método estimado que determina a redução de intensidade acústica através de um elemento, em função da sua massa superficial. Possuindo as paredes exteriores uma elevada espessura, e o material constituinte alvenaria de pedra, resulta numa elevada massa superficial e consequente elevado índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea.

No que diz respeito aos elementos interiores, pavimentos e paredes meeiras, a situação actual não cumpre com os requisitos de desempenho acústico. Para as paredes meeiras foi proposta apenas uma solução, sendo a única possível devido à inexistência de espaço para aplicar isolamento pelo exterior, que é aplicar isolamento pelo interior. Contabiliza-se um acréscimo de isolamento por sistema de dez decibéis, resultando num isolamento sonoro a sons de condução aérea de cinquenta

e oito decibéis, superior aos cinquenta decibéis estipulados no regulamento dos requisitos acústicos de edifícios. Em relação aos pavimentos foram propostas duas soluções, ambas com aplicação do isolamento na parte superior do pavimento, pavimento flutuante e, diferenciando-se pela aplicação de isolamento na parte intermédio ou inferior do pavimento. O pavimento flutuante garante o isolamento a ruídos de percussão, a diferença de dois decibéis entre as soluções deve-se às propriedades do isolamento utilizado em cada uma das soluções, ambas cumprem os requisitos estabelecidos no RRAE. No que diz respeito ao isolamento acústico a sons de condução aérea, ambas as soluções garante um isolamento eficiente, aplicado na zona intermédia ou superior do pavimento, sendo a diferença de apenas dois decibéis no índice de isolamento. Se for tido em conta apenas o desempenho acústico a primeira solução é a mais eficiente, mas numa intervenção deste tipo devem ser tido em conta outros factores, tais como a redução do pé-direito, a manutenção dos ornamentos característicos da época que se encontram no tecto, desmonte do pavimento existente.

7. CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

7.1. Conclusões e Comentários Finais

O trabalho desenvolvido teve como principal objectivo melhorar o desempenho térmico e acústico do edifício antigo através da aplicação de várias medidas de melhoria, respeitando os princípios da reabilitação de edifícios. Estas medidas destinaram-se essencialmente ao reforço térmico da envolvente e reforço acústico dos elementos interiores.

Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica que permitiu aprofundar o conhecimento acerca da reabilitação de edifícios, acerca da evolução do parque habitacional em Lisboa e de maneira mais aprofundada, sobre a tipologia de edifícios “Gaioleiros”.

Através da caracterização dos edifícios de tipologia “Gaioleiros” que permitiu conhecer as respectivas necessidades habitacionais, e entender que o seu desempenho térmico e acústico não fornece um nível de conforto aceitável aos seus habitantes. Esta análise ajudou a fomentar a ideia que a intervenção no âmbito da reabilitação do edificado pode resultar em melhorias da eficiência energética dos edifícios de forma a contribuir para a redução dos consumos de energia deste sector.

De forma atingir o objectivo de avaliar o impacto de diferentes medidas de reabilitação na eficiência energética de um edifício antigo, foi usado como caso de estudo um edifício de habitação construído na década de 40, seleccionado por se inserir na tipologia pretendida e apresentar potencial para reabilitação. A metodologia utilizada consistiu em realizar a análise de desempenho acústico e térmico de três pisos do edifício, com o auxílio das folhas de cálculo disponibilizados pelo IteCons, realizando as alterações de acordo com requisitos das medidas de reabilitação obtendo a classificação energética e desempenho acústico dos pisos antes e após intervenção. Para esta análise foram consideradas três soluções para as paredes exteriores, duas para os pavimentos interiores, pavimento térreo e cobertura e apenas uma solução para as paredes interiores, estabelecendo para cada solução diferentes materiais, espessuras e zonas de aplicação do isolamento.

Actualmente o piso intermédio e de cobertura encontram-se na classe D ao nível do desempenho energético, enquanto o piso térreo encontra-se na classe C. Em relação ao seu desempenho acústico, o isolamento a sons de condução aérea das paredes interiores e pavimentos interiores não verificam as exigências estabelecidas no RRAE, o isolamento a ruídos de percussão dos pavimentos interiores também não verifica as exigências.

A partir dos resultados obtidos após implementação das medidas de melhoria concluiu-se o seguinte:

- A aplicação do isolamento pelo interior nas paredes exteriores é a melhor solução, trata-se da solução com o menor coeficiente de transmissão térmica, não compromete a

autenticidade do edifício, é compatível com os materiais existentes e reversível. O isolamento acústico a sons de condução aérea é melhorado, embora já fosse eficaz devido à espessura das paredes.

- Nos pavimentos interiores a melhor solução é a que combina a aplicação do isolamento nas zonas superior e inferior, garante um isolamento eficaz tanto aos sons de condução aérea como aos ruídos de percussão, e não implica uma intervenção destrutiva como seria necessário no caso de aplicar o isolamento na zona intermédia do pavimento. A sua principal desvantagem é a redução da altura útil, mas como uma das características dos edifícios “Gaioleiros” é o elevado pé-direito, não constitui um entrave.
- No caso da cobertura não restam dúvidas, a melhor solução é a aplicação do isolamento na esteira horizontal sendo o desvão não habitável, na estação de aquecimento tem-se um menor volume para aquecer o que vai implicar menor consumo de energia, e a sua aplicação é bem mais simples do que aplicar o isolamento nas vertentes.
- Em relação às paredes interiores só existe uma solução possível que é a aplicação do isolamento pelo interior, sendo também a mais eficaz. Optou-se por aplicar o isolamento apenas nas meeiras e nas paredes divisórias com a caixa-de-escadas, sendo estas as paredes com maior exposição ao ruído aéreo. No caso de aplicar-se em todas as paredes divisórias interiores resultava numa redução considerável de área interior.
- No que diz ao pavimento térreo a melhor solução é a aplicação do isolamento na zona inferior, já que não implica o desmonte do soalho existente.
- A combinação destas medidas resulta numa melhoria da classe energético do piso intermédio e de cobertura para a classe B⁻, no piso térreo não permite uma melhoria de classe mas existe diminuição das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento.

Constata-se que com a entrada em vigor do RERU para os edifícios antigos, as exigências ao nível térmico e acústico são mínimas, como resultado não existe garantia de conforto para os habitantes. Permite também a intervenção de técnicos e operários com conhecimentos insuficientes para trabalhar neste sector, que dão origem a reabilitações deficientes e conseqüente desvalorização do património existente.

De notar que os resultados apresentados corresponde apenas ao edifício estudado, e não devem ser extrapolados para edifícios da mesma tipologia. Na reabilitação de edifícios não é possível definir um fluxograma de forma a generalizar as intervenções, cada caso é um caso, implicando a necessidade de um estudo rigoroso para cada um deles. Contudo conclui-se que o parque habitacional tem um grande potencial para a reabilitação térmica e acústica que resulta numa poupança energética e melhoria das condições de habitabilidade, contribuindo desta forma para o desenvolvimento sustentável.

7.2. Desenvolvimentos Futuros

Com este trabalho denotou-se que é necessário sensibilidade no planeamento de uma intervenção em edifícios antigos, devido às diferentes condicionantes que cada caso apresenta, o grau de degradação, materiais e processos construtivos utilizados. Seria uma mais-valia a formação de técnicos especializados para a reabilitação de edifícios, e uma maior fiscalização sobre as empresas que trabalham neste sector.

No âmbito da reabilitação térmica e acústica de edifícios antigos, seria proveitoso considerar:

- O estudo de um maior número de casos práticos, de forma a compreender quais as soluções mais eficientes tendo em conta as diferentes tipologias e condicionantes;
- Efectuar a comparação entre diferentes casos de estudo;
- Apresentar mais soluções que utilizem materiais tradicionais de forma a garantir a compatibilidade.

No desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas dissertações e trabalhos já realizados no âmbito da reabilitação, pretende-se que este item constitua uma ferramenta para o desenvolvimento de futuros trabalhos e investigações, de forma aperfeiçoar e dar continuidade ao já desenvolvido nesta área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] – DIREÇÃO GERAL DE GEOLOGIA E ENERGIA (2004) – Reabilitação Energética da Envolvente de Edifícios Residenciais; DGGE/ IP-3E; Lisboa;
- [2] – CARDOSO, M. (2002) – Vulnerabilidade Sísmica de Estruturas Antigas de Alvenaria – Aplicação a um Edifício Pombalino. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia de Estruturas; IST; Lisboa;
- [3] – POMBA, F. (2007) – Comportamento sísmico de edifícios de pequeno porte; Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil; IST; Lisboa;
- [4] – VILHENA, A. (2013) – Reabilitação habitacional e o setor da construção civil; LNEC; Lisboa;
- [5] – APPLETON, J. (2003) – Reabilitação de Edifícios Antigos – Patologias e Tecnologias de Intervenção; 1ªed. ; Edições Orion; Alfragide
- [6] – INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA – Estatísticas da Construção e Habitação 2013;
- [7] – ANDRADE, H. (2011) – Caracterização de Edifícios Antigos. Edifícios “Gaioleiros”; Dissertação para a obtenção de grau de Mestre em Engenharia Civil – Reabilitação de Edifícios; FCT; Monte da Caparica;
- [8] – PEREIRA, C. (2013) – Reabilitação de Edifícios “Gaioleiros”; Dissertação para obtenção de grau Mestre em Engenharia Civil na Área de Especialização de Edificações; ISEL; Lisboa;
- [9] – MASCARENHAS, J. (2004) – Sistemas de Construção V; O Edifício de Rendimento da Baixa Pombalina de Lisboa – Processo evolutivo dos edifícios; inovações técnicas; sistema construtivo; Materiais Básicos (3ª parte): O Vidro; Livros Horizonte;
- [10] – FRANÇA, J. A. (1980) – Lisboa: Urbanismo e Arquitectura; 1ª Edição; Biblioteca Breve/Volume 53; Instituto de Cultura e Língua Portuguesa; Lisboa;
- [11] – TEIXEIRA, M. (2010) – Reabilitação de edifícios pombalinos – Análise experimental de paredes de frontal; Dissertação para a obtenção de grau de Mestre em Engenharia Civil; IST; Lisboa;
- [12] – MASSON, C. (2005) – Túneis e Circulação Pedonal na Zona Das Avenidas Novas; Estudo de Impacto Sociológico; Associação de Cidadãos Auto-Mobilizados Projecto de Serviço Voluntário Europeu;
- [13] – APPLETON, J. (2005) – Reabilitação de Edifícios Gaioleiros – Um quarteirão em Lisboa; Edições Orion; Lisboa;
- [14] – RODRIGUES, T. E FERREIRA, O. (1993) – As Cidades de Lisboa e Porto na Viragem do Século XIX – Características da sua Evolução Demográfica: 1860-1930; 1º Congresso de Arqueologia Peninsular; Porto;

- [15] – SILVA, A.F. (1996) – A construção residencial em Lisboa: evolução e estrutura empresarial (19860 – 1930); *Análise Social*, Volume XXXI; ICSUL; Lisboa;
- [16] – SILVA, R. (2001) – Lisboa, Conhecer Pensar Fazer Cidade; Centro de Informação Urbana de Lisboa; Câmara Municipal de Lisboa; Lisboa;
- [17] – ARAUJO, A. (2008) – A Regulamentação Térmica e Acústica e sua aplicabilidade em edifícios a reabilitar no centro histórico do Porto – Estudo de Caso; Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Construções; FEUP; Porto
- [18] – INSTITUTO DA SOLDADURA E QUALIDADE, (1996) – Térmica dos Edifícios - Regulamentação energética em edifícios; Instituto da Soldadura e Qualidade, Lisboa;
- [19] – MENDES, P. (2012) – Isolamentos Térmicos em Edifícios e seu Contributo para a Eficiência Energética – Recomendações de Projecto; Universidade Fernando Pessoa; Porto;
- [20] – GOMES, R. (2011) – Sistema Estrutural de Edifícios Antigos de Lisboa – Os Edifícios “Pombalinos” e os Edifícios “Gaioleiros”; Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil; IST; Lisboa;
- [21] – FERREIRA, J (2008) – Aplicabilidade dos novos regulamentos da construção em Edifícios “gaioleiros”; Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil; IST; Lisboa;
- [22] – BRANCO, M. (2007) – Reforço Sísmico de Edifícios de Alvenaria. Aplicação a edifícios “Gaioleiros”; Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil; IST; Lisboa;
- [23] – SILVA, P. (2006) – Projecto de condicionamento acústico de edifícios; LNEC; Lisboa;
- [24] – PINTO, A. (2011) – Reabilitação Térmica de Fachadas – Estudo de caso através de simulação numérica; Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização de Construções; FEUP; Porto;
- [25] – HENRIQUES, F. (2007) – Humidade em Paredes; LNEC; Lisboa;
- [26] – TEIXEIRA, F. (2008) – Reabilitação do ponto de vista térmico em pavimentos – Actuais exigências, novos materiais e tecnologias construtivas; Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização de Construções Civis; FEUP; Porto;
- [27] – PATRÍCIO, J. (2009) – Congresso Nacional de Acústica; Encontro Ibérico de acústica e Simpósio Iberoamericano e Europeo sobre Acústica Ambiental e Edificación Acusticamente Sostenible; Cádiz;
- [28] – PIRES, A. (2013) – Análise de Paredes de Tabique e de Medidas de Reforço Estrutural; Estudo Numérico; Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização de Estruturas; FEUP; Porto.
- [29] – COSTA, L. – Processos Gerais de Construção II; Escola Superior de Tecnologia de Tomar; Tomar;
- [30] – APPLETON, J. (2010) – Reabilitação de Edifícios Antigos e Sustentabilidade; VI ENEEC – Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Civil; Évora;

[31] – PAINÇO, R. (2013) – Estratégias de projecto para intervenção reabilitação sustentável; Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Meste em Engenharia Civil. Área de Especialização: Construções; Universidade do Minho Escola de Engenharia; Guimarães;

[32] – MACHADO, R. (2014) – Reabilitação de Edifícios visando a Eficiência Energética; Tese de Mestrado. Mestrado integrado em Engenharia Civil; Universidade do Minho Escola de Engenharia; Guimarães;

[33] – PENEDA, M. (2013) – Recomendações para o Projecto de Sistemas de ventilação Mista em Edifícios de Habitação; Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Construções; FEUP; Porto;

Legislação consultada:

- REH – Decreto-Lei n.º118/2013 de 20 de Agosto
- RERU – Decreto-Lei n.º53/2014 de 8 de Abril
- RRAE – Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho
- RGCE – Decreto-Lei n.º118/2013 de 20 de Agosto

WEBSITES

[S1] - http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/evol_tipol.html

[S2] - http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/Edif_ant_1755.html

[S3] - http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/Ident_edif_Pomb.html

[S4] - <http://www.ordemengenheiros.pt/pt/centro-de-informacao/dossiers/historias-da-engenharia/dimensoes-e-replicas-intemporais-do-terramoto-de-1755/>

[S5] - <http://www.dgeg.pt/>

[S6] - http://www.adene.pt/sites/default/files/normas_classe_energetica.pdf

ANEXOS

A1. COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS	1
A2. COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS APÓS APLICADAS AS MEDIDAS DE MELHORIA	1
A3. INTRODUÇÃO DE DADOS I - FOLHA DE CÁLCULO DE APLICAÇÃO DO REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO – PISO INTERMÉDIO	2
A4. INTRODUÇÃO DE DADOS II - FOLHA DE CÁLCULO DE APLICAÇÃO DO REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO - PISO INTERMÉDIO	12
A5. CÁLCULO DA INERCIA TÉRMICA DOS ELEMENTOS DO PISO INTERMÉDIO	15
A6. FOLHAS DE CÁLCULO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DO PISO INTERMÉDIO	17
A7. TABELA COMPARATIVA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO PARA AS DIFERENTES COMBINAÇÕES	20

A1. COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

Elemento	Material	λ	Espessura [m]	$R[(m^2 \cdot ^\circ C/W)]$	$U [W/m^2 \cdot ^\circ C]$
Pavimento	Soalho (Pinho)	0,18	0,22	0,1222	2,16
	Lajeta (betão) + revestimento cerâmico	-	0,11	0,164	2,36
Parede Exterior	Alvenaria de pedra + cal aérea + areia amarela	-	0,45	0,815	1,23
	Alvenaria de tijolo + cal aérea + areia amarela	-	0,40	0,855	1,17
Parede Interior	Fasquiado de madeira + cal aérea	-	0,10	0,417	2,4
	Alvenaria de pedra + cal aérea + areia amarela	-	0,16	0,815	1,23
Cobertura	Elementos de madeira (pinho)	0,18	0,22	0,1222	1,22

A2. COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS APÓS APLICADAS AS MEDIDAS DE MELHORIA

Elemento	Tipo de solução	Localização do isolamento	Material isolante	Espessura [mm]	$\lambda [W/m^2 \cdot ^\circ C]$	$U [W/m^2 \cdot ^\circ C]$
Paredes Exteriores	painéis	interior	lã mineral	60	0,037	0,41
	ETICS	exterior	wallmate XPS	60	0,04	0,54
	painéis	exterior	wallmate XPS	60	0,037	0,57
Parede Interior	Painéis	interior	lã mineral	60	0,037	0,41
Pavimentos	granel + rolo	inf. + sup.	lã mineral + polímero sintético	100	0,028	0,285
	granel + rolo	interm. + sup.	lã mineral + geotextil	50	0,026	0,517
	granel + rolo	inf. + sup.	lã mineral + polímero sintético	100	0,028	0,285
	granel + rolo	interm. + sup.	lã mineral + geotextil	50	0,026	0,517
Cobertura	granel	esteira	lã mineral	100	0,040	1,14
	painéis	vertentes	roofmate XPS	60	0,037	1,25

A3. INTRODUÇÃO DE DADOS I - FOLHA DE CÁLCULO DE APLICAÇÃO DO REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO – PISO INTERMÉDIO

Características do Imóvel

Altitude (m)	60
--------------	----

Distância à costa	Inferior a 5km
-------------------	----------------

Edifício situado	no interior de uma zona urbana
------------------	--------------------------------

O ano de construção é conhecido?	<input type="radio"/> Sim	<input checked="" type="radio"/> Não
----------------------------------	---------------------------	--------------------------------------

Período de Construção	entre 1919 e 1945
-----------------------	-------------------

Tipo de utilização	Habitação
--------------------	-----------

Nº total de pisos que constitui o edifício	4
--	---

Possui elevador?	<input type="radio"/> Sim	<input checked="" type="radio"/> Não
------------------	---------------------------	--------------------------------------

Características da Fração

Área útil de pavimento (m ²)	92,98
--	-------

Pé-direito ponderado (m)	2,80
--------------------------	------

Tipologia	T5
-----------	----

Tipologia Fiscal	T5
------------------	----

Inércia Térmica	Média
-----------------	-------

Nº de pisos de fração	1
-----------------------	---

Situação da fração face a outras frações	Entre pisos
--	-------------

Levantamento Dimensional

Divisão	Área (m ²)	Pé Direito (m)	% Área	Volume (m ³)
Sala	12,21	2,80	13,1	34,19
Cozinha	9,12	2,80	9,8	25,54
Quarto 1	9,62	2,80	10,3	26,94
Quarto 2	8,84	2,80	9,5	24,75
Quarto 3	11,10	2,80	11,9	31,08
Quarto 4	11,70	2,80	12,6	32,76
Quarto 5	9,34	2,80	10,0	26,15
Quarto 6	10,92	2,80	11,7	30,58
Casa-de-banho	3,45	2,80	3,7	9,66
Arrumos	6,68	2,80	7,2	18,70
TOTAL	92,980	2,800	100,0	260,34

Envolvente Exterior

Paredes Exteriores – Soluções correntes e pontes térmicas planas

Solução corrente ou Ponte Térmica Plana?	Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução
Solução Corrente	Parede Exterior - Tipo 1	Parede simples de alvenaria de pedra e argamassa

Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Descrição Detalhada	U Solução (W/m ² .°C)	Solução Incorpora PTP's?
PDE1	Parede Exterior - Tipo 1	As paredes exteriores são constituídas por alvenaria de pedra, argamassa de cal aérea e areia amarela sem argila, num traço (2:5). A sua espessura é variável em altura, devido a isso por considerou-se a menor espessura, neste caso, 0,60m.	1,23	Não

Reabilitação Térmica e Acústica de Edifícios Antigos

Designação do tipo de solução	Orientação	Qual a solução corrente adjacente associada?	Área (m ²)	Área envidraçada (m ²)	U Solução (W/m ² .°C)	Área Efectiva (m ²)	U referência (W/m ² .°C)	U máximo (W/m ² .°C)
PDE1	Este		21,28	3,24	1,23	18,04	0,50	-
PDE1	Oeste		21,28	4,68	1,23	16,60	0,50	-

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Áreas por orientação (m ²)								Área Total (m ²)	U Solução (W/m ² .°C)	U referência (W/m ² .°C)	U máximo (W/m ² .°C)
		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO				
PDE1	Parede Exterior - Tipo 1	0,00	0,00	18,04	0,00	0,00	0,00	16,60	0,00	34,64	1,23	0,50	-

Vãos Envidraçados Exteriores

Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Janela	Tipo de solução caixilharia 1	Tipo de solução caixilharia 2
Envidraçado Exterior - Tipo 1	Simplex	Caixilharia plástica com vidro duplo	

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Descrição Detalhada	Tipo de Protecção	Descrição da Protecção
VE1	Envidraçado Exterior - Tipo 1	Caixilharia em plástico, de cor branca, com vidro duplo	Sem protecção	

Tipo de Solução	U _{wdn} (W/m ² .°C)	U _{Ref} (W/m ² .°C)		Área (m ²)					
VE1	3,30	2,90		7,56					
ID Vão	Divisão	Designação do tipo de solução	Orientação	Área envidraçada (m ²)	g _T corrigido	Área do compartimento que serve (m ²)	Área de envidraçados do compartimento que serve (m ²)	g _{Tmax}	Aenv < 5% Apav
1	Cozinha	VE1	Oeste	2,16	0,32	9,12	2,16	-	Não
2	Sala	VE1	Oeste	2,16	0,32	12,21	2,16	-	Não
3	Quarto 4	VE1	Este	0,81	0,28	11,70	0,81	-	Não
4	Quarto 5	VE1	Este	1,62	0,28	9,34	1,62	-	Não
5	Quarto 6	VE1	Este	0,81	0,28	10,92	0,81	-	Não

Envolvente Interior

Definição da Envolveinte Interior

Aplicação da regra de simplificação relativa à determinação do coeficiente de redução de perdas de ENU?	Sim
--	-----

^(XX) Ventilação fraca do espaço não útil se este tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas e ventilação forte do espaço não útil se este é permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas.

ESPAÇO NÃO-ÚTIL						b _{tr}
Edifício Adjacente						0,60
TODOS						0,80

Parede Interior, Ponte Térmica Plana ou Vão Opaco?	Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução
Solução Corrente	Parede Interior - Tipo 1	Parede simples de alvenaria composta de tijolo maciço ou perfurado
Solução Corrente	Parede Interior - Tipo 2	Parede simples de alvenaria moldadas (paredes de taipa)
Solução Corrente	Parede Interior - Tipo 3	Parede simples de alvenaria de pedra e argamassa
Vão Opaco	Vão Opaco - Tipo	Não aplicável

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Descrição Detalhada	U Solução (W/m ² .°C)			Solução Incorpora PTP's?
PDI1	Parede Interior - Tipo 1	Parede simples de alvenaria composta de tijolo maciço ou perfurado, argamassa de cal aérea e areia amarela, num traço (2:5). A sua espessura é de 0,40m.	1,17			Não
PDI2	Parede Interior - Tipo 2	Parede de tabique que resulta da pregagem de um fasquiado sobre tábuas colocadas ao alto, sendo revestido em ambas as faces, com recoboco de argamassa de cal. A sua espessura é de 0,10m.	2,40			Não
PDI3	Parede Interior - Tipo 3	As paredes exteriores são constituídas por alvenaria de pedra, argamassa de cal aérea e areia amarela sem argila, num traço (2:5). A sua espessura é de 0,40m.	1,26			Não
VOI1	Vão Opaco - Tipo	Porta da fracção em madeira, directamente para a caixa de escada, sem borrachas vedantes no seu contorno, sendo por isso considerada mal vedada.	2,00			Não

Designação do Tipo de Solução	Espaço não útil	btr	Qual a solução corrente adjacente associada ?	Área (m ²)	Área envidraçada (m ²)	U Solução (W/m ² .°C)	Área Efectiva (m ²)	URef (W/m ² .°C)	UMáx (W/m ² .°C)
PDI1	Edifício Adjacente	0,60		49,84	0,00	1,17	49,84	1,00	-
PDI2	TODOS	0,80		27,55	0,00	2,40	27,55	0,50	-
PDI3	TODOS	0,80		14,84	1,76	1,26	13,08	0,50	-
VOI1	TODOS	0,80		1,80	0,00	2,00	1,80	0,50	-

Designação do Tipo de Solução	btr	Área por btr (m ²)	U Solução (W/m ² .°C)	URef (W/m ² .°C)	UMáx (W/m ² .°C)
PDI2	0,80	27,55	2,40	0,50	-
PDI3	0,80	13,08	1,26	0,50	-
PDI1	0,60	49,84	1,17	1,00	-
VOI1	0,80	1,80	2,00	0,50	-

Pavimentos Interiores - Soluções correntes e pontes térmicas planas

Solução corrente ou Ponte Térmica Plana?	Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução
Solução Corrente	Pavimento Interior - Tipo 1	Pavimento sem isolamento térmico
Solução Corrente	Pavimento Interior - Tipo 2	Pavimentos em madeira

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Descrição Detalhada	U Solução (W/m ² .°C)
PVI1	Pavimento Interior - Tipo 1	Pavimentos constituídos por vigas únicas apoiadas directamente sobre as paredes resistentes, perpendiculares à fachada principal. Nestes pavimentos é utilizado o pinho bravo.	2,16
PVI2	Pavimento Interior - Tipo 2	Pavimento em estrutura de madeira, sobre o qual foi aplicada uma lajeta de betão (0,10m) e revestido por elementos cerâmicos.	1,96

Designação do Tipo de Solução	Espaço não útil	btr	Área Total (m ²)	Udesc (W/m ² .°C)	URef (W/m ² .°C)	UMáx (W/m ² .°C)
PVI1	Edifício Adjacente	0,60	92,9	2,16	0,80	-
PVI2	Edifício Adjacente	0,60	12,6	1,96	0,80	-

Designação do Tipo de Solução	btr	Área Total (m ²)	U Solução (W/m ² .°C)	U referência (W/m ² .°C)	U máximo (W/m ² .°C)
PVI1	0,60	92,90	2,16	0,80	-
PVI2	0,60	12,60	1,96	0,80	-

Vãos Envidraçados Interiores

Tipo de Solução	Tipo de Janela	Tipo de solução caixilharia 1	Tipo de solução caixilharia 2
Envidraçado Interior - Tipo 1	Simplex	Caixilharia plástica com vidro duplo	

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Descrição Detalhada	Tipo de Protecção	Descrição da Protecção	Uwdn (W/m ² .°C)	URef (W/m ² .°C)
VI1	Envidraçado Interior - Tipo 1		Sem protecção		3,30	2,90

Localização	Designação do Tipo de Solução	Espaço não útil	btr	Área (m ²)	Uwdn (W/m ² .°C)	URef (W/m ² .°C)
Interior Solário	VI1	TODOS	0,80	1,76	3,30	2,90

Ventilação

Sistema de Ventilação	Não cumpre a norma 1037-1
-----------------------	---------------------------

Foi medido o valor n_{50} ?	<input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não
-------------------------------	--

Tem aberturas de admissão de ar na fachada?	<input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não
---	--

Existem condutas de ventilação natural sem obstruções significativas?	<input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não
---	--

Existem meios mecânicos?	<input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não
--------------------------	--

Existem meios híbridos?	<input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não
-------------------------	--

É possível efetuar arrefecimento noturno com janelas?	<input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não
---	--

Rph Estimada (h ⁻¹)	Rph mínimo (h ⁻¹)	Rph, i (h ⁻¹)	Rph, v (h ⁻¹)
Efectuar o cálculo na ferramenta desenvolvida pelo LNEC designada " APLICAÇÃO LNEC - VENTILAÇÃO REH E RECS"			
0,25	0,40	0,40	0,60

Sistema Técnicos

Existem Sistema Técnicos?	<input checked="" type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não
---------------------------	--

O edifício dispõe de abastecimento de combustível líquido ou gasoso?	<input checked="" type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não	Tipologia de abastecimento	Gás Natural
--	--	----------------------------	-------------

Reabilitação Térmica e Acústica de Edifícios Antigos

Identificação do Sistema	Fonte de Energia	Tipo de Equipamento	Nº de unidades iguais	Marca	Gama	Modelo	Foi possível aceder ao equipamento?	Descrição Específica do Equipamento	Produção Total de Energia (kWh/ano)
Sistema 1	Gás Natural	Esquentador	1	Vulcano	CLIC K HDG	WDRG 11	Sim		

Eletricidade, Gás (natural, propano, butano), Gasóleo, Biomassa (sólida, líquida, gasosa)

Identificação do Sistema	Potência (kW)	Eficiência do Equipamento (0 a 6)	Fracção servida (0 a 1)	Idade do sistema	EREN (kWh/ano)	EREN ext (kWh/ano)	Consumo Energia Final (kWh/ano)	Perda Estática (QPR) Solução	Perda Estática (QPR) Máximo	Parcela das necessidades (0 a 1)
Sistema 1	19,2	5,00	1,00	Depois de 1995	-					1,00

Balço Energético

Indicadores Energéticos

Sigla	Descrição	Valor	Referência	
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m2.ano)	61,32	32,75	
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m2.ano)	12,29	13,83	
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	3566	3566	Ntc/Nt 1,54
Wvm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)		0,00	
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis (kWh/ano)	0		Classe Energética
Eren, ext	Energia exportada proveniente de fontes renováveis (kWh/ano)		0,00	D
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m2.ano)	213,83	138,82	

Indicadores de Desempenho

	Valor de Referência (kWh/m ² .ano)	Valor do Edifício (kWh/m ² .ano)	Renovável (%)
Aquecimento	32,75	61,32	0,00
Arrefecimento	4,94	4,39	0,00
AQS	44,60	49,55	0,00

Energia Renovável (%)	0,00	Emissões de CO ₂ (t/ano)	3,13
-----------------------	------	-------------------------------------	------

Dados Climáticos

Graus-dia	988
-----------	-----

Zona Climática de Inverno	I1
---------------------------	----

Zona Climática de Verão	V3
-------------------------	----

Temperatura Média Exterior Inverno (°C)	11,0
---	------

Temperatura Média Exterior Verão (°C)	22,2
---------------------------------------	------

Duração da estação de aquecimento (meses)	5,2
---	-----

Duração da estação de arrefecimento (meses)	4,0
---	-----

Indicadores de aquecimento

Paredes (W/°C)		
Hext	Henu;adj	Hecs
42,61	101,07	0,00

PTP (W/°C)	
Hext	Henu;adj
0,00	0,00

Portas (W/°C)	
Hext	Henu;adj
0,00	2,88

PTL (W/°C)	
Hext	Henu;adj
0,00	0,00

Coberturas (W/°C)	
Hext	Henu;adj
0,00	0,00

Pavimentos (W/°C)		
Hext	Henu;adj	Hecs
0,00	135,22	0,00

Vãos envidraçados (W/°C)	
Hext	Henu;adj
24,95	4,65

Renovação de Ar (W/°C)
Hve
35,41

Indicadores de arrefecimento

Paredes (kWh)
Qsol,v EXT
340,86

Coberturas	
Qsol,v EXT	Qsol, Desv
0,00	0,00

Portas (kWh)
Qsol,v EXT
0,00

Vãos Envidraçados (kWh)
Qsol,v EXT
1845,19

Ganhos Internos (kWh)
Qint,v
1088,98

A4. INTRODUÇÃO DE DADOS II - FOLHA DE CÁLCULO DE APLICAÇÃO DO REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO - PISO INTERMÉDIO

Sistemas			
O edifício dispõe de rede de abastecimento de combustível líquido ou gasoso?	Sim	Qual?	Gás Natural
Existe aplicação de isolamento na tubagem de distribuição de AQS com resistência térmica $\geq 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$?	Não		
Os chuveiros ou sistemas de duche da fracção possuem certificado de eficiência hídrica com rótulo A ou superior?	Não		

Envolvente Exterior:

⁽¹⁾ A caixa-de-ar de considera-se fortemente ventilada se $A > 1500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$

^(II) A face interior do revestimento exterior é de baixa emissividade se $\varepsilon \leq 0.2$

Paredes exteriores	Orientação	Cor	Fachada Ventilada?	Grau de ventilação ⁽¹⁾	Emissividade ^(II)	Área de sombreamento na est. de arrefecimento m ²	U W/m ² ·°C	U _{REF} W/m ² ·°C	
									Descrição
PDE1	Este	Média	Não			18,04	Sombreamento Normal/Standard	1,23	0,50
PDE1	Oeste	Média	Não			16,60	Sombreamento Normal/Standard	1,23	0,50

VÃO ENVIDRAÇADOS EXTERIORES	Orientação	Área m ²	Vão Envidraçado à Face Exterior da Parede?	Tipo de vidro
Descrição				
1 (VE1)	Oeste	2,16	Não	Duplo
2 (VE1)	Oeste	2,16	Não	Duplo
3 (VE1)	Este	0,81	Não	Duplo
4 (VE1)	Este	1,62	Não	Duplo
5 (VE1)	Este	0,81	Não	Duplo

^(III) Factor solar do vidro para uma incidência normal ao vão.

^(IV) Factor solar global do vão com todos os dispositivos de proteção solar permanentes ou móveis totalmente ativados (para uma incidência normal à superfície). Caso não existam é igual ao factor solar do vidro.

^(V) Factor solar global do vão com todos os dispositivos de proteção solar permanentes totalmente ativados (para uma incidência normal à superfície). Caso não existam é igual ao factor solar do vidro.

VÃO ENVIDRAÇADOS EXTERIORES	Classe da Caixailharia	Permeabilidade da Caixa de Estore	Factor Solar do vidro (III) $g_{\perp vi}$	FS Global Prot. Perm. e Móveis (IV) g_{LT}	FS Global Prot. Perm. (V) $g_{\perp Tp}$	FS de Inverno g_i	FS de Verão g_v	FS de Verão de Referência $g_{v REF}$	U_{wdn} W/m ² .°C	U_{REF} W/m ² .°C
1 (VE1)	Sem classificação	Não tem	0,35	0,35	0,66	0,66	0,66	0,40	3,30	2,90
2 (VE1)	Sem classificação	Não tem	0,35	0,35	0,66	0,66	0,66		3,30	2,90
3 (VE1)	Sem classificação	Não tem	0,35	0,35	0,66	0,66	0,66		3,30	2,90
4 (VE1)	Sem classificação	Não tem	0,35	0,35	0,66	0,66	0,66		3,30	2,90
5 (VE1)	Sem classificação	Não tem	0,35	0,35	0,66	0,66	0,66		3,30	2,90

(continuação)	Orientação	Condições de sombreamento na estação de aquecimento	Condições de sombreamento na estação de arrefecimento
1 (VE1)	Oeste	Sem Sombreamento	Sem Sombreamento
2 (VE1)	Oeste	Sem Sombreamento	Sem Sombreamento
3 (VE1)	Este	Sombreamento Normal/Standard	Sombreamento Normal/Standard
4 (VE1)	Este	Sombreamento Normal/Standard	Sombreamento Normal/Standard
5 (VE1)	Este	Sombreamento Normal/Standard	Sombreamento Normal/Standard

Envoltório exterior

PAREDES INTERIORES Descrição	ESPAÇO NÃO-ÚTIL	Área m ²	U W/m ² .°C	U_{REF} W/m ² .°C
PDI2	TODOS	27,55	2,40	0,50
PDI3	TODOS	13,08	1,26	0,50
VOI1	TODOS	1,80	2,00	0,50

PAREDES INTERIORES EM CONTACTO COM EDIFÍCIO ADJACENTE Descrição	ESPAÇO NÃO-ÚTIL	Área m ²	U W/m ² .°C	U_{REF} W/m ² .°C
PDI1	Edifício Adjacente	49,84	1,17	1,00

PAVIMENTOS INTERIORES Descrição	ESPAÇO NÃO-ÚTIL	Área m ²	U _{descendente} W/m ² .°C	U _{REF} W/m ² .°C
PVI1	Edifício Adjacente	92,9	2,16	0,80
PVI2	Edifício Adjacente	12,6	1,96	0,80

^(xii) Na ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO considera-se que os elementos opacos da envolvente exterior do ENU causam sombreamento ao vão interior; ^(xiii) Na ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO assume-se que a envolvente exterior do ENU não provoca sombreamento ao vão interior.

VÃOS ENVIDRAÇADOS INTERIORES EM CONTACTO COM SOLÁRIOS, MARQUISES, JARDINS DE INVERNO, ETC. Descrição	Orientação	Área m ²	Vão Envidraçado à Face Exterior da Parede?	Tipo de vidro	ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO (xii)				ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO (xiii)			
					Obstrução do Horizonte α_h	Pala horizontal α	Pala vertical à esquerda β_{esq}	Pala vertical à direita β_{dir}	Pala horizontal α	Pala vertical à esquerda β_{esq}	Pala vertical à direita β_{dir}	
Descrição					°	°	°	°	°	°	°	
VI1	Horizontal	1,8	Sim	Duplo	45	60	1	1	60	1	1	

VÃOS ENVIDRAÇADOS INTERIORES EM CONTACTO COM SOLÁRIOS, MARQUISES, JARDINS DE INVERNO, ETC. Descrição	ESPAÇO NÃO-ÚTIL	Vão interior em contacto c/ ENU					Vão exterior do ENU			U _{REF} W/m ² .°C
		Factor Solar do vidro $g_{\perp vi, int}$	FS Global Prot. Perm. e Móveis $g_{\perp T, int}$	FS Global Prot. Perm. $g_{Tp, int}$	Fracção Envidraçada $F_{g, int, int}$	U _{wdn} W/m ² .°C	Factor Solar do vidro $g_{\perp Lvi, ENU}$	FS Global Prot. Perm. $g_{Tp, ENU}$	Fracção Envidraçada $F_{B, ENU}$	
VI1	TODOS	0,78	0,35	0,35	0,66	3,30	0,78	1,00	0,78	2,90
										-

A5. CÁLCULO DA INERCIA TÉRMICA DOS ELEMENTOS DO PISO INTERMÉDIO

EL1 – Elementos da envolvente exterior

Paredes exteriores

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa Total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
PDE1	18,04	830,00	150,00	1,00	2706,00
PDE1	16,60	830,00	150,00	1,00	2490,00
			0,00		0,00
TOTAL					5196,00

EL1 – Elementos da envolvente interior

Paredes em contacto com espaços não úteis

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
PDI2	27,55	33,60	33,60	1,00	925,68
PDI3	13,08	680,00	150,00	1,00	1962,00
VO	1,80		0,00		0,00
			0,00		
TOTAL					2887,68

Paredes em contacto com edifícios adjacentes

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
PDI	49,84	440,00	150,00	1,00	7476,00
			0,00		
TOTAL					7476,00

Pavimentos sobre espaços não úteis

Designação do tipo de soluções	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
PVI1	92,60	50,00	50,00	0,75	3478,75
PVI2	12,60	201,00	150,00	0,75	1417,50
			0,00		
TOTAL					4901,25

It	220,06
Classe de inércia térmica	Média

A6. FOLHAS DE CÁLCULO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DO PISO INTERMÉDIO

CÁLCULO DO ISOLAMENTO SONORO A SONS DE CONDUÇÃO AÉREA - PAREDES EXTERIORES

	Reboco de cal			Pedra			Reboco de cal						
	esp	x	massa vol.	+	esp	x	massa vol.	+	esp	x	massa vol.		
Valor aprox. massa superficial	=	0,01	1600		0,4	2000		0,01	1600	=	832	kg/m ²	
Rw =	=	20.4 x log (m) – 1.5 +/- 3.15 (estimado pela lei das massas)									=	58	dB
Acréscimo por isolamento do sistema	=	(valor estimado e muito conservativo)									=	0	dB
Correcção por transmissão marginal	=										=	5	dB
Rw parte opaca	=	(Rw + acréscimo por isol. - TM)									=	53	dB

Previsível para o conjunto – parede exterior com envidraçado	=	$10 \log \left(\frac{\sum_i A_i}{\sum_i A_i 10^{(-R_{wi}/10)}} \right)$	R _{w,opaca}	=	53	dB
			R _{w,env}	=	31	dB
			R _{w,porta}	=	0	dB
			S _{opaca}	=	10,36	m ²
			S _{env}	=	2,16	m ²
			S _{porta}	=	0,00	m ²
			e _{frincha}	=	0	m
			L	=	9,00	m
			S _{frincha}	=	0,000	m ²
			R _w (global)	=	39	dB

Conversão para a diferença padronizada (D2m,nT,w)	=	$R_w + 10 \log \frac{0,16V}{T_0 S}$	Volume	T ₀	S	=	38	dB
			34,19	0,5	11,04			
			\	s	m ²			

CÁLCULO DO ISOLAMENTO SONORO A SONS DE CONDUÇÃO AÉREA – PAREDES MEEIRAS

	material 1		+	material 2		+	material 3		
	esp	x massa vol.		esp	x massa vol.		esp	x massa vol.	
Valor aprox. massa superficial	= 0,01	1600		0,4	1200		0,01	1600	= 512 kg/m ²
Rw =	= 20.4 x log (400.5) – 1.5 +/- 3.15 (estimado pela lei das massas)								= 54 dB
Acréscimo por isolamento do sistema	= (valor estimado e muito conservativo)								= 0 dB
Correcção por transmissão marginal									= 5 dB
Rw parte opaca	= (Rw + acréscimo por isol. - TM)								= 49 dB

Previsível para o conjunto – parede exterior com envidraçado

$$= 10 \log \left(\frac{\sum_i A_i}{\sum_i A_i 10^{(-R_{wi}/10)}} \right)$$

Rw,opaca = 49 dB

Rw,env = 0 dB

Rw,porta = 0 dB

Sopaca = **14,5**
6 m²

Senv = **0,00** m²

Sporta = **0,00** m²

Efrincha = 0 m

L = **0,00** m

Sfrincha = 0,000 m²

Rw (global) = 49 dB

Conversão para a diferença padronizada (D2m,nT,w)

$$= R_w + 10 \log \frac{0,16V}{T_0 S}$$

Volume

T0

S

32,76

0,5

12,48

= 48 dB

m³

s

m²

CÁLCULO DO ISOLAMENTO SONORO A SONS DE CONDUÇÃO AÉREA – PAVIMENTO INTERIOR

	material 1		material 2		material 3									
	esp	x massa vol.	+	esp	x massa vol.	+	esp	x massa vol.						
Valor aprox. massa superficial	=	0,2		1000		0,1		1200		0		0	=	320 kg/m ²
Rw	=	20.4 x log (m) – 1.5 +/- 3.15 (estimado pela lei das massas)										=	50 dB	
Acréscimo por isolamento do sistema	=	(valor estimado e muito conservativo)										=	0 dB	
Correcção por transmissão marginal	=											=	4 dB	
Rw global	=	(Rw + acréscimo por isol. - TM)										=	46 dB	

CÁLCULO DO ISOLAMENTO SONORO A SONS DE PERCUSSÃO – PAVIMENTO INTERIOR

Invariante (Ln,w + Rw)	=	(método do invariante)										=	105 Db
Rw global	=	(isolamento a sons aéreos, estimado pela lei das massas)										=	46 dB
Δ Lw	=	(Atenuação acústica devida à natureza do revestimento de piso)										=	0 dB
Correcção por transmissão marginal	=	(depende d massa superficial média dos elementos marginais)										=	2 dB
Ln,w	=	(Ln,w + Rw) - Rw global - Δ Lw + TM										=	61 dB

		Volume	T0	A0		
Conversão para a diferença padronizada (L'nT,w)	=	$L_n - 10 \log \left(\frac{0,16V}{A_0 T_0} \right)$			=	61 dB
		34	0,5	10		
		m ³	s	m ²		

A7. TABELA COMPARATIVA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO PARA AS DIFERENTES COMBINAÇÕES

Combinação	Nic.antes (kWh/m ² .ano)	Nvc.antes (kWh/m ² .ano)	Ntc.antes (kWh/m ² .ano)	Ntc/Nt.antes (kWh/m ² .ano)	Classe energética (antes)	Nic.depois (kWh/m ² .ano)	Nvc.depois (kWh/m ² .ano)	Ntc.depois (kWh/m ² .ano)	Ntc/Nt.depois (kWh/m ² .ano)	Classe energética (depois)
PISO TÉRREO										
1						39,28	13,74	160,01	1,14	
2	53,77	14,47	196,89	1,41	C	40,68	13,85	163,61	1,17	C
3						41,00	13,88	164,45	1,17	
PISO INTERMÉDIO										
1						21,94	18,04	120,50	0,87	
2						23,22	18,12	123,78	0,89	
3	61,32	13,12	214,08	1,54	D	23,52	18,13	124,54	0,90	B-
4						24,82	17,21	126,96	0,92	
5						26,13	17,30	130,32	0,94	
6						26,44	17,32	131,10	0,95	
PISO DE COBERTURA										
1						44,66	12,67	172,52	1,08	
2						46,08	12,79	176,17	1,10	
3						46,41	12,82	177,01	1,11	
4						47,82	12,09	179,89	1,12	
5						49,24	12,22	183,56	1,15	
6	158,22	4,24	445,09	2,78	F	49,57	12,25	184,41	1,15	C
7						46,72	12,29	177,32	1,11	
8						48,14	12,41	180,99	1,13	
9						48,47	12,44	181,83	1,14	
10						49,89	11,73	184,74	1,15	
11						51,31	11,86	188,42	1,18	
12						51,65	11,89	189,27	1,18	

