

Guia Termos de Referência de Isolamento Acústico na Reabilitação de Edifícios

ANA ISABEL MAIA RAMOS

Outubro de 2014



Instituto Superior de Engenharia do Porto

Mestrado em Engenharia Civil – Ramo de Construções

**Guia Termos de Referência de Isolamento
Acústico na Reabilitação de Edifícios**

Mestrando: Ana Ramos - 1071078

Orientador: Eng.º José Manuel Sousa

Outubro 2014

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Engenheiro José Manuel Sousa, um agradecimento especial por toda a sua dedicação e esforço durante este longo caminho, pela oportunidade que me deu em realizar este trabalho, e por todo o conhecimento que me transmitiu.

Ao meu grande amigo e colega, Gustavo Pérez, que mesmo longe, mostrou sempre toda a sua disponibilidade e incentivo, ao longo da realização desta dissertação.

Um obrigado especial, aos meus amigos e “companheiros de guerra”, que me ajudaram e acompanharam sempre nas longas sessões de trabalho.

Em especial, aos meus pais e à minha irmã, as pessoas mais importantes da minha vida, pela educação e valores que sempre me transmitiram, pelo apoio incondicional, compreensão e motivação, que demonstraram.

Muito obrigado a todos os que contribuíram, nesta minha jornada, direta ou indirectamente, cada um de vocês tornou-a única.

PALAVRAS-CHAVE

Reabilitação; Isolamento acústico; Centro histórico do Porto; Ruído; Materiais acústicos; Edifícios antigos; Soluções de Reabilitação; Níveis de qualidade;

RESUMO

A presente dissertação foi realizada no âmbito na unidade curricular DIPRE, Dissertação/ Projeto/ Estágio, do 2º ano de Mestrado em Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia do Porto, do ramos de construções, tendo como tema central, soluções de isolamento acústico a implementar em obras de reabilitação.

A reabilitação é, cada vez mais, um dos processos mais importantes na construção civil, por se tornar cada vez mais necessária. A reabilitação de edifícios é uma tarefa que exige muito estudo, conhecimento e ponderação, visto que se trata de um processo complexo. Nesta dissertação desenvolve-se um guia na tentativa de facilitar um dos componentes de reabilitação, mais concretamente, o isolamento acústico. Realizou-se uma vasta pesquisa de livros e outros documentos tendo como objecto o desenvolvimento de soluções aplicáveis na reabilitação de edifícios. Para além de se realizar um estudo dos próprios edifícios, também se aborda o ambiente exterior aos edifícios do Porto, tendo sido feita uma breve análise dos mapas de ruído e do plano director municipal desta cidade.

Com toda a pesquisa realizada, definiram-se soluções baseadas nessa informação recolhida.

É ainda apresentado um método de avaliação de qualidade, desenvolvido pelo Doutor Engenheiro Jorge Patrício. Este método é descrito, explicando de que forma poderá ser aplicável, caso o objetivo seja o obter um nível de qualidade acústica específico.

Estes são, essencialmente, os pontos fulcrais desta dissertação, tendo sempre em conta a importância do património cultural existente.

KEY WORDS

Rehabilitation; Soundproofing; Porto's Historic Center; Noise; Acoustic materials; Old Buildings; Rehabilitation solutions; Quality levels;

ABSTRACT

This dissertation was prepared under the context of curriculum unit DIPRE, Dissertation/Project/Internship, of the second year of Master's degree in Civil Engineering of Superior Institute of Engineer of Porto, having as its central theme soundproofing solutions.

Rehabilitation is becoming one of the most important subjects in civil construction, due to it's increasing necessity. It is a task that requires a lot of study, knowledge and weighting, making it hard to achieve. In this dissertation, the main objective is to develop a guide that makes one of the many processes of rehabilitation easier, more specifically, acoustic insulation. A wide research of books and other documents was made with the purpose of developing several solutions that could be applied in rehabilitation. Besides the study of the old buildings itself, the exterior environment of Porto was also approached, by making a brief analysis of the noise maps, and the municipal director plan of the city of Porto.

Using all the information gathered through research, solutions were defined.

Besides that, there is a presentation of a quality levels method, developed by Doctor Engineer Jorge Patrício. This method is described, explaining how to apply it, if the goal is to obtain an specific acoustic quality level.

These are the essencial points of this dissertation, always taking into account the importance of the existing cultural heritage.

Índice Geral

AGRADECIMENTOS	i
PALAVRAS-CHAVE.....	iv
RESUMO.....	iv
KEYWORDS.....	vi
ABSTRACT.....	vi
1 Introdução	11
1.1 Enquadramento e Objectivo.....	11
1.2 Estrutura da Dissertação	12
2 Acústica: Enquadramento Legal.....	14
2.1 Isolamento Acústico de edifícios.....	14
2.1.1 Regulamento geral do ruído	15
2.1.2 Regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios	16
3 Reabilitação	18
3.1 Reabilitação: Enquadramento Legal.....	19
3.2 Área de intervenção da Sociedade de Reabilitação Urbana do Porto (SRU).....	21
4 Acústica.....	22
4.1 Noções Gerais	22
4.2 Acústica nos edifícios	23
4.3 Exigências Regulamentares (RRAE)	25
4.3.1 Isolamento acústico a sons aéreos.....	25
4.3.2 Isolamento sonoro a sons de percussão:	27
4.3.3 Isolamento sonoro a ruído proveniente de equipamentos	28
4.3.4 Transmissões Marginais	30

4.3.5	Tempo de Reverberação	35
4.3.6	Considerações gerais nas Exigências Acústicas.....	38
4.4	Isolamento Acústico.....	42
4.4.1	Ambiente Exterior.....	42
4.4.2	Exigências Regulamentares.....	44
4.5	Princípios de Medição de isolamento acústico.....	50
4.5.1	Medições “in situ”	50
4.5.2	Ensaio laboratoriais para efeitos de projecto	54
4.5.3	Modelos de Simulação: software de cálculo Automático.....	57
4.6	Modelos Multicamada.....	61
4.6.1	Modelo desenvolvido por Ookura e Saito para atenuação em paredes múltiplas com incidência aleatória	61
4.6.2	Modelo genérico de paredes múltiplas de acordo com a transformada de FOURIER espacial.....	63
4.7	Caracterização e tipificação das soluções construtivas sob o ponto de vista da acústica da zona histórica do Porto.....	66
4.7.1	Paredes exteriores.....	66
4.7.2	Paredes Interiores.....	76
4.7.3	Sobrados.....	77
4.7.4	Coberturas.....	80
4.8	Caracterização dos edifícios da zona histórica do Porto no seu ambiente exterior	87
4.8.1	Plano Director Municipal do Porto (PDMP).....	88
4.8.2	Mapa de Ruído.....	90

4.9	Isolamento Acústico: Soluções-Tipo; Níveis de qualidade e Principios Gerais de aplicação na Reabilitação	93
4.9.1	Soluções – Tipo.....	94
4.9.2	Princípios Gerais de aplicação na Reabilitação.....	127
4.10	Materiais de isolamento acústico.....	132
4.10.1	Gesso Cartonado.....	132
4.10.2	Lã de Rocha.....	134
4.10.3	Membranas Acústicas Betuminosas.....	135
4.10.4	Sistemas anti-vibráticos	136
4.10.5	Fibra de Cocô	136
4.10.6	Granulado de Cortiça.....	137
4.10.7	Placa OSB	137
4.11	Guia termos de Referência de Isolamento Acústico na Reabilitação de Edifícios 138	
4.12	Níveis de Qualidade	143
5	Projeto de Acústica.....	156
6	Conclusões	158
	BIBLIOGRAFIA.....	155
	ANEXOS.....	158
	ANEXO 1.....	159

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Área de intervenção da Porto Vivo, SRU; [1].....	21
Figura 2- Transmissão de som derivado de ruídos aéreos; [7]	26
Figura 3- Transmissão de som derivado de ruídos de percussão; [7]	28
Figura 4 - Influência da transmissão marginal em elementos homogêneos; [8]	31
Figura 5 - Caminhos da transmissão sonora; [9].....	32
Figura 6 - Tempo de Reverberação;.....	35
Figura 7 - Imagem apresentação do programa; [14].....	59
Figura 8 - Imagem retirado do powerpoint de apresentação do software; [14]	60
Figura 9 - Modelo Multicamada; [13].....	62
Figura 10 - Configuração genérica; [13].....	63
Figura 11 - Parede de fachada em alvenaria [16].....	67
Figura 12 - Pormenor de parede de fachada da rua ou de tardoiz com vão de janela de peito [16]	68
Figura 13 - Exemplos de paredes em tabique [16]	70
Figura 14- Parede interior em tabique [16]	71
Figura 15- Exemplos de Óculos e Frestas; [16];.....	72
Figura 16 - Exemplo de Mísulas; [16];.....	73
Figura 17 - Exemplos de platibandas com elementos decorativos e balaústres; [16].....	73
Figura 18 - Paredes de meação e revestimentos; [16];.....	75
Figura 19 - Vigamento da estrutura dos sobrados de um edifício em ruína; [16]	77
Figura 20- Destacamento do revestimento em estuque ficando visível o fasquiado e o revestimento; [16]	79
Figura 21- Tabuado de estrutura e fasquiado de revestimento de uma claraboia rasante; [16]	79

Figura 22 – Mapa de Ruído Porto;.....	91
Figura 23 - Mapa de Ruído Porto;	92
Figura 24 - Parede exterior alvenaria pedra 80 cm+2 cm (argamassa).....	95
Figura 25 - Parede exterior alvenaria pedra 28 cm+2 cm (argamassa).....	96
Figura 26 - Vidro simples com 4 mm de espessura;	97
Figura 27 - Vidro duplo com pano exterior de 4 mm, caixa-de-ar de 12 mm e pano interior de 8 mm, partindo do exterior, pano 1, para o interior, pano 2;.....	98
Figura 28 - Solução de Reabilitação: Vidro exterior de 4 mm com caixa-de-ar de 12 mm mais vidro laminado com 2 folhas de 4 mm cada e 1 mm de uma película de polivinil butiral (PVB) partindo do exterior, pano 1, para o interior, pano 3;.....	99
Figura 29 - Situação inicial de parede exterior em alvenaria de tijolo;.....	101
Figura 30 - Solução de Reabilitação de Parede exterior em alvenaria de tijolo, representando o primeiro reboco o lado exterior e as placas de gesso cartonado do lado interior;.....	102
Figura 31 - Solução de Reabilitação de parede exterior em tabique, sendo que o tabique corresponde ao exterior e a placa de gesso cartonado ao interior;.....	103
Figura 32 - Solução de reabilitação de parede exterior em tabique, sendo que o tabique corresponde ao exterior e a placa de gesso cartonado ao interior;.....	104
Figura 33 - Solução de parede em tabique interior, sendo que o tabique corresponde à divisória do compartimento recetor e as placas de gesso ao interior desse mesmo compartimento;.....	106
Figura 34 - Solução de reabilitação de parede em tabique interior, sendo que o tabique corresponde à divisória do compartimento recetor e as placas de gesso ao interior desse mesmo compartimento;	107

Figura 35 - Solução de reabilitação melhorada de parede em tabique interior, sendo que o tabique corresponde à divisória do compartimento recetor e as placas de gesso ao interior desse mesmo compartimento;.....	108
Figura 36 - Solução de reabilitação de parede em tabique interior, sendo que o tabique corresponde à divisória do compartimento recetor e as placas de gesso ao interior desse mesmo compartimento;.....	109
Figura 37 – Vidro simples e solução de reabilitação com vidro duplo, partindo do exterior, pano 1, para o interior, pano 2;	110
Figura 38 - Solução de reabilitação com vidro duplo laminado;	110
Figura 39- Solução de Reabilitação de teto adjacente à cobertura;	112
Figura 40 - Exemplo de Solução de reabilitação de pavimento térreo;	116
Figura 41 - Solução de reabilitação de pavimento intermédio em madeira;	118
Figura 42 - Figura Exemplificativa de ponto singular;.....	119
Figura 43 - Solução de reforço de isolamento sonoro em pontos singulares;	120
Figura 44 - Esquema com solução de reforço de coretes; [27]	122
Figura 45 - Propagação e radiação de ruído devido a equipamentos de carácter colectivo [10]	123
Figura 46 - Possíveis soluções construtivas para condicionamento vibráticos no suporte de equipamentos mecânicos; [6]	124
Figura 47 - Solução de reabilitação de tubos de queda; [10]	125
Figura 48 - Sistema de protecção de instalações de saneamento e de abastecimento de águas; [10].....	126
Figura 49 - Exemplo de placas de gesso cartonado; [28].....	133
Figura 50 - Exemplo de uma parede em gesso cartonado com respetivo fixação em chapas de aço galvanizado;.....	133

Figura 51 - Exemplo de Lã de rocha; [29].....	134
Figura 52 - Exemplo de imagem de M.A.D. 4, [31];.....	135
Figura 53 - Apoios antivibráticos com sistema de fixação no perfil metálico do tecto falso;	136
Figura 54 – Apoios anti vibráticos em piso de madeira	136
Figura 55 - Exemplo de fibras de cocô; [32];.....	136
Figura 56 - Exemplo de granulado de cortiça; [34]	137
Figura 57 - Exemplo de placa de OSB;	137
Figura 58 –Nível sonoro do ruído ambiente exterior medido (L_{den} , L_n), situação a); [35]	146
Figura 59 - Nível sonoro do ruído ambiente exterior medido (L_{den} , L_n), situação b); [35]	146

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1- Classificação da absorção sonora, segunda a norma ISO 11654; [11].....	37
Quadro 2 – Quadro-resumo de limites regulamentares no isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e quartos ou zonas de estar;	39
Quadro 3 - Quadro-resumo de limites regulamentares no isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos e quartos ou zonas de estar;	40
Quadro 4 - Quadro-resumo de limites regulamentares no isolamento sonoro a sons de percussão entr compartimentos e quartos ou zonas de estar;.....	40
Quadro 5 – - Quadro-resumo de limites regulamentares do nível de avaliação de ruído particular de equipamentos;.....	41
Quadro 6 - Limites Regulamentares do Regulamento Geral do Ruído;	48
Quadro 7 - Quadro-Resumo da caracterização e tipificação da estrutura;	81
Quadro 8 - Soluções propostas;.....	139
Quadro 9 - Disposições gerais;	145
Quadro 10- Disposições gerais e condicionamento acústico dos espaços e acessos comuns;	147
Quadro 11 - Disposições específicas de arquitetura disposição relativa interior;	148
Quadro 12 - Fatores de ponderação dos elementos de avaliação;.....	149

SÍMBOLOS

L_1 , Nível de pressão sonora médio no compartimento emissor (exterior);

L_2 , Nível de pressão sonora médio no compartimento receptor;

T , Tempo de reverberação do compartimento de recepção;

T_0 , Tempo de reverberação de referência (normalmente, igual a 0,5 s);

xx , tipo de fonte sonora considerada (altifalante; tráfego);

$D_{2m,nT,w}$, valor global do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea para elementos de fachada;

$D_{nT,w}$, valor de índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea para elementos de separação entre fogos;

L'_{nT} , Nível de pressão sonora médio padronizado no compartimento receptor, em dB;

L_i , Nível de pressão sonora médio medido no compartimento receptor, em dB;

$L_{Ar,nT}$, nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, durante um intervalo de tempo especificado

K , correcção devida às características tonais do ruído

R_w , índice de redução sonora;

L_{eq} , nível sonoro equivalente, ponderado A;

T , Tempo de Reverberação;

V , Volume interior do recinto em causa

A , Área de absorção sonora equivalente;

α , Coeficiente de absorção sonora dos materiais, ($0 \leq \alpha \leq 1$);

S , Superfície real do material [m^2];

A , Absorção sonora localizada [m^2];

L_{den} , indicador de ruído entardecer;

L_n , indicador de ruído noturno;

L_d , indicador de ruído diurno;

$R_{s,w}$, índice de redução sonora o elemento de separação inicial, em dB;

$R_{F,w}$, índice de redução sonora o elemento marginal F, no compartimento emissor;

$R_{f,w}$, índice de redução sonora o elemento marginal F, no compartimento receptor;

$\Delta R_{Ff,w}$, acréscimo de isolamento, nos elementos marginais do espaço emissor ou receptor;

$\Delta R_{Fd,w}$, acréscimo de isolamento, nos elementos marginais do espaço emissor e/ou no elemento de separação;

$\Delta R_{Df,w}$, acréscimo de isolamento, no elemento de separação, emissor, e no marginal, receptor;

K_{Ff} , índice de redução de transmissão de vibrações, no caminho Ff;

K_{Fd} , índice de redução de transmissão de vibrações, no caminho Fd;

K_{Df} , índice de redução de transmissão de vibrações, no caminho Df

S_s , área do elemento de separação ;

l_0 , comprimento de referência, $l_0 = 1m$;

l_f , comprimento comum entre o elemento de separação e o marginal, em m ;

xx , tipo de fonte sonora considerada (altifalante; tráfego);

NAA , Nível de Avaliação Acústica;

W_i , factores de ponderação das realidades físicas em avaliação consideradas: Vizinhança (0,25); Edifício (0,1); Habitação (0,65);

Pt_i , número de pontos atribuídos a cada realidade física em avaliação;

N , número de elementos considerados para a avaliação;

α_i , fator de ponderação dos elementos de avaliação

I_{final} , índice médio final;

D_i , isolamento da solução construtiva i ;

L_i , campo sonoro no espaço i ;

K , número de soluções construtivas consideradas

1 Introdução

1.1 ENQUADRAMENTO E OBJECTIVO

Com a evolução surgiram novas necessidades na construção, entre as quais, a reabilitação, que é, hoje em dia, um dos processos mais abordados na construção, por ser necessária, exigente, e, em alguns casos particulares, pouco clara. Surge, desta forma, o tema em estudo, *Guia Termos de Referência de Isolamento Acústico na Reabilitação de Edifícios*, que trata apenas de uma das muitas componentes da reabilitação.

A presente dissertação concentrar-se-á, mais propriamente, na reabilitação de edifícios sob o ponto de vista da acústica, da zona histórica do Porto. Existem vários princípios e ter em conta na reabilitação, entre os quais, a preservação de valores culturais, protecção ambiental, vantagens económicas e sustentabilidade promovendo conforto, dificultando, desta forma, a tarefa de reconstruir os edifícios sem destruir a sua história. Surge, desta forma, este tema de dissertação, que não sendo, de todo, prescritivo, visa facilitar este processo.

A Porto Vivo, SRU – Sociedade de Reabilitação Urbana, tem como missão conduzir o processo de reabilitação da zona histórica do Porto, como tal, apresentam o Guia de Termos de Referência para o Desempenho Energético – Ambiental. Este documento foi desenvolvido pela AdEPorto – Agência de Energia do Porto, com a colaboração do Laboratório de Física das Construções da Universidade do Porto e com representantes da Direcção Regional de Cultura do Norte e da Sociedade de Reabilitação Urbana. Não sendo prescritivo mas, apenas um guia de boas práticas, tem como principal objectivo a reabilitação das edificações respeitando todo o seu património de forma a promover um conforto térmico adequado às necessidades actuais. [1].

Esta dissertação incidirá na proposição de um guia, adaptado ao isolamento acústico na reabilitação de edifícios da zona histórica do Porto, tendo, igualmente, em consideração todo o seu património da cultural.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação divide-se em oito capítulos. No primeiro capítulo encontra-se uma introdução ao tema, explicando o âmbito e objectivo desta dissertação.

No segundo capítulo encontra-se o enquadramento legal de um tema mais específico, isolamento acústico, onde são expostos os regulamentos legislativos referentes a um dos principais assuntos desta dissertação.

No terceiro capítulo, faz-se uma abordagem à reabilitação, onde é apresentado um enquadramento legal da acústica na reabilitação, e, onde se encontra, também, a área de intervenção da Sociedade de Reabilitação Urbana do Porto.

O quarto capítulo representa o principal objectivo desta dissertação, onde se encontram, caracterização da baixa do Porto sob o ponto de vista acústica, tanto em relação aos edifícios, como no seu ambiente exterior. Encontra-se também as soluções desenvolvidas para reabilitar o isolamento acústico dos edifícios, alguns princípios a ter em conta na reabilitação, bem como, uma apresentação de níveis de qualidade na acústica. Ainda faz parte deste quarto capítulo um enquadramento dos materiais mais utilizados nas soluções apresentadas.

No quinto capítulo é descrito como se deverá apresentar um projecto de acústica.

No sexto capítulo são apresentadas as conclusões retiradas após a realização deste estudo.

Por fim, o sétimo e oitavo capítulos, correspondendo à bibliografia e anexos, respectivamente. Por fim, os anexos onde serão colocados todos as folhas de resultados e simulação acústica pelo programa de cálculo automático AISLA. 3.01.

2 Acústica: Enquadramento Legal

Antes de se iniciar um estudo ao isolamento acústico dos edifícios, é necessário fazer uma abordagem da respectiva legislação em vigor de forma a ser possível estabelecer os respectivos limites e exigências. Este segundo capítulo concentrar-se-á precisamente nessa abordagem, explicando, o âmbito e objectivo dos regulamentos em questão.

Neste capítulo serão abordadas todas as questões de carácter legal ligadas ao tema em estudo, mais propriamente, do tema, isolamento acústico.

2.1 ISOLAMENTO ACÚSTICO DE EDIFÍCIOS

Legislação actualmente em vigor no isolamento acústico de edifícios:

- Decreto-Lei nº9/2007 – RGR (Regulamento Geral de Ruído);
- Decreto-Lei nº96/2008 – RRAE (Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios);

2.1.1 REGULAMENTO GERAL DO RUÍDO

Segundo o Decreto-Lei n.º9/2007, "A prevenção do ruído e o controlo da poluição sonora, visando a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações constitui tarefa fundamental do Estado, nos termos da constituição da República Portuguesa e da Lei de Bases do Ambiente."

O regime geral da poluição sonora foi objecto de alterações introduzidas por diversos diplomas legais ao longo do tempo, sendo que, as últimas foram aprovadas pelo Decreto-Lei n.º9/2007 de 17 de Janeiro, compatibilizando desta forma o Regulamento Geral do Ruído (RGR) com as normas aprovadas, incluindo, em especial, a adoção de indicadores de ruído ambiente harmonizadas. Este regulamento é aplicável às actividades ruidosas permanente e temporárias, bem como outras fontes de ruído susceptíveis de provocar incomodidade à população, tais como, tráfego, obras de construção, veículos, ruído de vizinhança, entre outros. Foi realizado e actualizado de acordo com os seguintes diplomas: Decreto-Lei 9/2007 de 17/01 e Declaração de rectificação n.º 18/2007, de 14/03.

Encontra-se dividido em cinco capítulos, trinta e quatro artigos e dois anexos, enquadrando o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios. [2]

2.1.2 REGULAMENTO DOS REQUISITOS ACÚSTICOS DOS EDIFÍCIOS

Foi publicado a 9 de Junho de 2008 o Decreto-Lei n.º96/2008, o qual procede à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º129/2002, de 11 de Maio, aprovando o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE). Este Decreto-Lei efectuou a revisão deste regulamento (RRAE) com o objectivo de o tornar conciliável com as exigências do novo Regulamento Geral do Ruído, tratado anteriormente.

As normas do RRAE aplicam-se á construção, reconstrução, ampliação, ou alteração dos seguintes tipos de edifícios:

- Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras;
- Edifícios comerciais e de serviço, e partes similares em edifícios industriais;
- Edifícios escolares, similares e de investigação;
- Edifícios hospitalares e similares;
- Recintos desportivos;
- Estações de transporte de passageiros;
- Auditórios e salas;

O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios encontra-se dividido em três capítulos, quinze artigos, e um anexo, correspondendo o primeiro capítulo a disposições gerais, o segundo, a requisitos acústicos dos edifícios, e o terceiro a fiscalização e sanções, respectivamente.

O primeiro capítulo apresenta o âmbito de aplicação, definições, responsabilidade e acompanhamento da aplicação e apoio técnico.

No segundo capítulo podem ser consultados os requisitos acústicos dos vários tipos de edifícios que o regulamento trata, tais como, habitacionais, comerciais, hospitalares, recintos desportivos, auditórios, salas, entre outros.

A fiscalização, a classificação das contra ordenações, das sanções acessórias e a aplicação das coimas são tratadas no capítulo três.

Por fim, no anexo do presente regulamento, podem ser consultados alguns valores regulamentares para a obtenção do conforto acústico. [3]

3 Reabilitação

“À medida que as necessidades de habitação e infra-estruturas do país vão sendo colmatadas, a actividade do sector da construção tende a deslocar-se, progressivamente, da construção nova para a manutenção e reabilitação das construções existentes (...)” [4]

Todos os edifícios, com o passar do tempo, se degradam progressivamente, por vários motivos, envelhecimento, exposição a agentes atmosféricos, entre outros. Provém daí, a necessidade de reabilitar. A reabilitação de edifícios, é, hoje em dia, um dos ramos de intervenção na construção civil muito comum, por ser considerado, um mercado em expansão. É um processo que tem como base a conservação do património construído, aspeto fundamental a ser considerado nesta dissertação.

Entende-se reabilitação como uma grande reparação, renovação e modificação de um edifício de forma a obedecer a critérios económicos ou funcionais equivalentes aos exigidos a um edifício novo, com a mesma finalidade. Pode envolver execução de instalações, sistemas de serviços, acessos, iluminação natural, equipamento e acabamentos.

Em edifícios com valor patrimonial, a reabilitação deverá preservar as partes ou características que transmitem o seu valor histórico e cultural, quer se realizem, ou não, adaptações.

Pode ser realizada, fundamentalmente a três níveis:

- Desempenho do exterior, fachadas e coberturas;
- Condições de habitabilidade, conforto e segurança de utilização: reabilitação acústica, térmica, funcional e do ponto de vista de segurança contra incêndios;
- Comportamento estrutural: reabilitação de reforço, reabilitação sísmica;

Existem princípios básicos que se devem cumprir neste processo, nomeadamente, a reversibilidade das intervenções, tanto quanto possível, a compatibilidade entre o existente e o novo bem como da eficácia e compatibilidade das soluções.

O presente trabalho tem em vista a caracterização acústica na reabilitação de edifícios de habitação.

3.1 REABILITAÇÃO: ENQUADRAMENTO LEGAL

Tratando o presente trabalho de reabilitação, é de todo o interesse fazer um enquadramento legal, mais propriamente, do decreto-lei n.º53/2014 de 8 de Abril que é o diploma mais recente que refere a dispensa de aplicação dos requisitos acústicos em edifícios.

O decreto-lei n.º53/2014 trata de promover a reabilitação urbana, referindo a sua grande importância no desenvolvimento das cidades e economia, tendo como principal objectivo estabelecer um regime excepcional e temporário aplicado à reabilitação de edifícios.

Este decreto aplica-se a:

- Reabilitação de edifícios ou fracções concluídas há pelo menos 30 anos ou localizados em zonas de reabilitação urbana destinados a uso habitacional não originando desconformidades nem agravamentos, ou que contribuam para melhorar as condições de segurança e salubridade do edifício;

O artigo que interessa referir é o artigo 5.º deste decreto que trata da dispensa de aplicação de requisitos acústicos, que diz o seguinte:

“As operações urbanísticas identificadas no n.º2 do artigo 2.º estão dispensadas do cumprimento dos requisitos acústicos, previstos no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, aprovados pelo Decreto-Lei n.º129/2002, de 11 de maio, alterado pelo Decreto-Lei n.º96/2008, de 9 de junho, com exceção das que tenham por objecto partes de edifícios ou fracções autónomas destinados a usos não habitacionais.”

No seguimento deste artigo conclui-se que tudo o que está definido no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios não tem que ser obrigatoriamente implementado em obras de reconstrução de edifícios para uso habitacional, o que permite liberdade na concretização de soluções construtivas para aplicação de isolamento acústico, em que o principal objectivo será promover o conforto acústico do edifício não colocando em questão o património histórico.

Para a concretização do Guia de Termos de Referência todas as exigências e limitações regulamentares serão tidas em conta, pois, este, embora não seja prescritivo, será um manual de boas práticas que deverá adaptar-se à legislação promovendo o conforto e preservando toda a cultura dos edifícios. [5]

3.2 ÁREA DE INTERVENÇÃO DA SOCIEDADE DE REABILITAÇÃO URBANA DO PORTO (SRU)



Figura 1 - Área de intervenção da Porto Vivo, SRU; [1]

Na figura 1, em cima, encontra-se definida a zona de intervenção de reabilitação do Porto a realizar pela sociedade de reabilitação urbana (SRU), correspondendo ao limite do velho burgo formado pela cerca medieval e congado pelo Rio Douro, delimitados a verde. [1]. A área do centro histórico do Porto representa cerca de 3200 de edifícios com uma área construída de $820.000 m^2$, estando, a maior parte destes edifícios muito degradados e abandonados, sendo a sua reabilitação necessária. [1]

4 Acústica

4.1 NOÇÕES GERAIS

Acústica é uma ciência que se dedica ao estudo do som e/ou ruído, à sua propagação em diferentes meios, e da exposição do ser humano aos seus efeitos.

O som e/ou o ruído correspondem a uma variação de pressão atmosférica que o ouvido humano pode captar, sendo que, geralmente, associa-se sensações agradáveis ao som e sensações indesejáveis ao ruído, estando esta distinção dependente da respectiva frequência e amplitude da onda sonora. [6]

Existem vários tipos de ruído, desde ruídos contínuos a ruídos aleatórios, passando por ruídos intermitentes e ruídos impulsivos. De forma a caracterizar o ruído podem ser utilizados indicadores de ruído que conduzem a um único valor, mesmo em situações de grande variabilidade de níveis sonoros ao longo do tempo. Estes indicadores podem ser obtidos directamente através de equipamentos de medição sonora, nomeadamente sonómetros e analisadores integradores com análise em frequência, equipamentos geralmente usados em medições acústicas, sendo possível obter níveis sonoros quer em dB quer em dB (A). [6]

De entre os indicadores de ruído existentes destacam-se:

- Nível sonoro equivalente, L_{eq} , em dB, ou L_{Aeq} , em dB (A), correspondendo ao valor único que contém a mesma energia sonora da globalidade do ruído.

- Parâmetros estatísticos ou níveis percentis, L_n , em que n representa a percentagem do intervalo de medição (T) em que o nível de ruído é excedido;
- Níveis sonoros instantâneos;

De acordo com a legislação em vigor, no nosso país, a avaliação do ruído é efectuada em termos do indicador L_{Aeq} , podendo ser utilizado em conjunto com outros indicadores. [6]

O ruído produzido por uma fonte pode ser caracterizado, por exemplo, através do nível de potência sonora, em dB. A pressão sonora num determinado ponto depende das características da fonte sonora e das características da envolvente, absorção, reflexão e transmissão. [6]

Em espaços fechados, a propagação do som é condicionada pelas superfícies envolventes e pelos obstáculos existentes no interior. [6]

4.2 ACÚSTICA NOS EDIFÍCIOS

Nos últimos anos, com o aumento do ruído, especialmente em meios urbanos e suburbanos, associada à crescente necessidade de conforto, a protecção acústica dos edifícios assume uma importância cada vez maior. De uma forma geral, esta protecção acústica pode ser concretizada através de quatro vertentes da acústica:

- Isolamento a sons aéreos, quer no interior, quer no exterior dos edifícios;
- Isolamento a sons de percussão transmitidos por via sólida, provenientes essencialmente do interior dos edifícios;
- Condicionamento acústico interior;
- Minimização de ruído e vibrações produzidos por equipamentos mecânicos do edifício;

O isolamento acústico a sons aéreos entre dois compartimentos depende, não só do elemento de separação mas também da envolvente de cada compartimento. O aumento deste isolamento pode ser conseguido através, por exemplo, da criação de elementos de uma ou mais camadas, sem ligação rígida entre si.

O isolamento a sons de percussão depende das transmissões diretas e das transmissões marginais, através de elementos adjacentes.

O estudo do condicionamento acústico interior de um espaço fechado depende essencialmente da geometria do espaço, dos revestimentos interiores e dos respectivo recheio (mobiliário e ocupação), visando obter um ambiente acústico adequado ao seu volume e às suas funções.

O minização ruído proveniente de equipamentos acaba por depender das vertentes anteriormente indicadas, no entanto, é, por vezes, mais importante a minimização da transmissão da vibração estrutural e o controlo da transmissão de ruído por via aérea, que poderão ser concretizadas através da aplicação de atenuadores sonoros e barreiras acústicas absorventes. [6]

4.3 EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES (RRAE)

4.3.1 ISOLAMENTO ACÚSTICO A SONS AÉREOS

Entende-se por ruído aéreo os sons transmitidos fundamentalmente pelo ar, tais como, televisão, música, vozes, entre outros. O isolamento sonoro a ruídos aéreos constitui um eficaz obstáculo à transmissão do mesmo.

Segundo o RRAE, o isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, D_{nT} , é dado por:

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \text{Log} \left(\frac{T}{T_0} \right) [dB]$$

Correspondendo à diferença entre o nível médio de pressão sonora medido no compartimento emissor (L_1) produzido por uma ou mais fontes sonoras, e o nível médio de pressão sonora medido no local de recepção (L_2), corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento receptor.

Segundo o artigo 5.º do Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios, os limites estabelecidos para os diferentes elementos de um edifício são os seguintes:

O valor global do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea para elementos de fachada:

$$D_{2m,nT,w} \geq 33dB$$

Este valor de índice é válido para zonas mistas ou zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído;

Para zonas sensíveis reguladas pelas alínea b) do n.º1 do artigo 11.º do RGR:

$$D_{2m,nT,w} \geq 28dB$$

Quando a área translúcida do elemento de fachada for superior a 60%, deve ser adicionado ao índice $D_{2m,nT,w}$ o termo de adaptação C ou C_{tr} , correspondendo ao ruído de rosa e ruído de tráfego urbano respectivamente;

O valor de índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea para elementos de separação entre fogos é o seguinte:

$$D_{nT,w} \geq 50dB$$

O valor de índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre vias de circulação comum e quartos ou zonas de estar deverá ser:

$$D_{nT,w} \geq 48dB$$

$D_{nT,w} \geq 40dB$, caso se trate de uma via de comunicação vertical, como local emissor, sendo o edifício dotado de ascensores, sendo o local emissor dotado de caixa de escadas;

$D_{nT,w} \geq 50dB$, caso se trate de uma garagem de estacionamento automóvel, como local emissor;

O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$, entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, deve satisfazer o seguinte:

$$D_{nT,w} \geq 58 dB$$

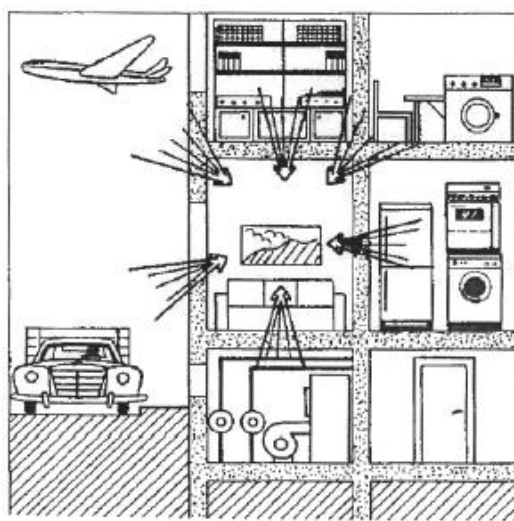


Figura 2- Transmissão de som derivado de ruídos aéreos; [7]

4.3.2 ISOLAMENTO SONORO A SONS DE PERCUSSÃO:

O ruído de percussão resulta da ação de choque exercida diretamente sobre um elemento de construção, por exemplo, das vibrações transmitidas por pessoas ou objectos nos elementos que formam a estrutura e a envolvente dos edifícios.

Segundo o RRAE, o índice de isolamento de percussão padronizado é dado por :

$$L'_{nT} = L_i - 10 \log\left(\frac{T}{T_0}\right), dB$$

Correspondendo ao nível sonoro médio medido no local de recepção L_i , proveniente de uma excitação de percussão normalizada exercida sobre um pavimento, corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento receptor.

- No interior de quartos ou zonas de estar, como locais recetores, o índice de isolamento sonoro a sons de percussão $L'_{nT,w}$, proveniente de uma percussão normalizada sobre pavimentos dos outros fogos ou locais de circulação comum de edifício, como locais emissores, deve satisfazer o seguinte:

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

- ✓ A disposição estabelecida não se aplica se o local emissor for um caminho de circulação vertical, quando o edifício seja servido por ascensores,

- No interior de quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, $L'_{nT,w}$, proveniente de uma percussão normalizada sobre pavimentos de locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão, como locais emissores, deve satisfazer o seguinte:

$$L'_{nT,w} \leq 50 \text{ dB}$$

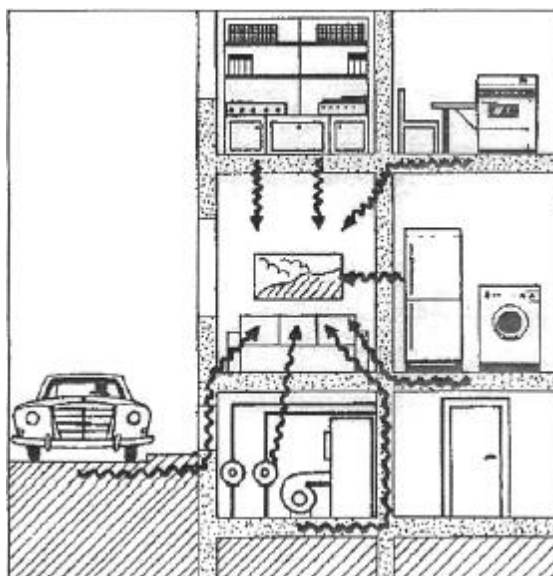


Figura 3- Transmissão de som derivado de ruídos de percussão; [7]

4.3.3 ISOLAMENTO SONORO A RUÍDO PROVENIENTE DE EQUIPAMENTOS

Nível de avaliação padronizado, $L_{Ar,nT}$, corresponde ao nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, durante um intervalo de tempo especificado, adicionado da correcção devida às características tonais do ruído, K , e corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento receptor, dado por:

$$L_{Ar,nT} = L_A + K - 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right), dB$$

$K = 3 dB$, se forem detectadas componentes tonais; o método para detectar se existem características tonais no intervalo de tempo, consiste em verificar, no espectro de 1/3 de oitava, se o nível sonoro excede o das adjacentes em 5 dB(A) ou mais, caso em que o ruído deve ser considerado tonal.

No interior de quartos ou zonas de estar dos fogos, o nível de avaliação, $L_{Ar,nT}$ do ruído particular de equipamentos colectivos do edifício, tais como, ascensores, sistemas centralizados de ventilação mecânica, portas de garagem automáticas, postos de transformação de corrente eléctrica e instalações de escoamento de águas, deve satisfazer o seguinte:

- $L_{Ar,nT} \leq 32 \text{ dB}$, se o funcionamento do equipamento for intermitente;
- $L_{Ar,nT} \leq 27 \text{ dB}$, se o funcionamento do equipamento for contínuo;
- $L_{Ar,nT} \leq 40 \text{ dB}$, se o equipamento for um grupo gerador eléctrico de emergência;

4.3.4 TRANSMISSÕES MARGINAIS

As transmissões marginais são um outro aspecto a contabilizar no isolamento sonoro a ruídos aéreos. No que toca aos ruídos aéreos, “a transmissão marginal era considerada, até recentemente, de uma forma algo grosseira”. [8]

Entende-se por transmissões marginais vibrações que resultam de ligações rígidas entre os elementos de construção, sendo que o objectivo será contrariar esse efeito, por exemplo, separando os elementos com materiais resilientes.

Um dos métodos utilizados basea-se, na relação dos elementos de isolamento sonoro do elemento principal e da envolvente dos compartimentos, estabelecendo-se classes de transmissão marginal e de correcção, dos valores obtidos através de ensaios laboratoriais ou métodos de cálculo. Considerando-se as seguintes classes:

- Para um índice de isolamento sonoro a sons aéreos, $R_w \leq 35 \text{ dB}$, as transmissões marginais são consideradas desprezáveis, isto é, $R'_w = R_w$;
- Para $35 \text{ dB} \leq R_w \leq 45 \text{ dB}$, deve ser considerada uma redução de 3 dB , ou seja $R'_w = R_w - 3 \text{ dB}$;
- Para $R_w \geq 45 \text{ dB}$, as transmissões marginais são bastante consideráveis, sendo, no entanto, difíceis de prever; [8] [9]

Existe ainda outro critério na quantificação das transmissões marginais que se baseia na relação entre as espessuras dos elementos de compartimentação homogéneos concorrentes num ponto.

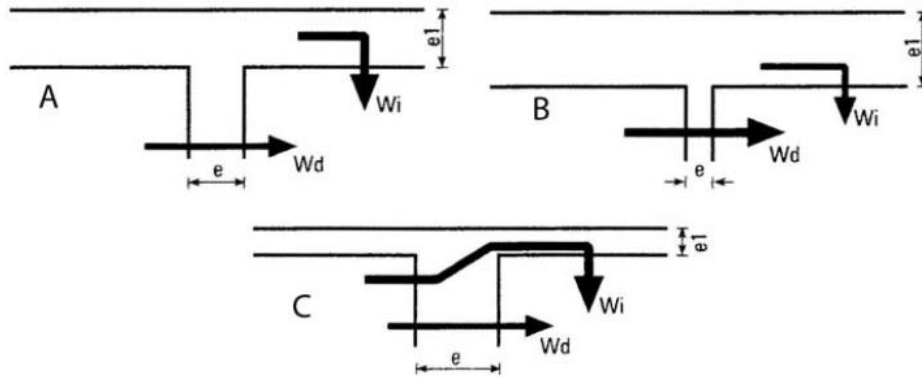


Figura 4 - Influência da transmissão marginal em elementos homogêneos; [8]

Sendo que:

- Na situação A, a transmissão directa é igual à transmissão marginal implicando uma redução de 3 dB no valor de R_W ;
- Na situação B, a transmissão acontece, principalmente, pelo elemento de separação, desprezando-se as contribuições das transmissões marginais;
- Na situação C, é o caso mais crítico, no que diz respeito a transmissões marginais, dado que, se efectua, quase na totalidade, pelo elemento leve, sendo que a contribuição será maior, implicando uma redução significativa de índice de redução sonora, R_W ;

Conclui-se que, a metodologia apresentada, se revela um pouco simplista, dado que, a contribuição das transmissões marginais são contabilizadas apenas numa redução de 3 dB no índice de redução sonora, R_W . [8]

Recorrendo-se, desta forma, à norma EN 12354 – 1, [9], na qual a estimativa do índice de redução sonora a ruídos de condução aérea é quantificado tendo em consideração vários caminhos para a transmissão sonora, os caminhos directos, indirectos e os caminhos marginais, correspondendo os caminhos directos, através do elemento de separação, caminhos indirectos, através de aberturas de ventilação, portas e janelas; e os caminhos marginais através de elementos estruturais.

Entende-se que, de certa forma, o som transmitido de um compartimento para outro corresponde ao somatório do som que se propaga em ambos os caminhos.

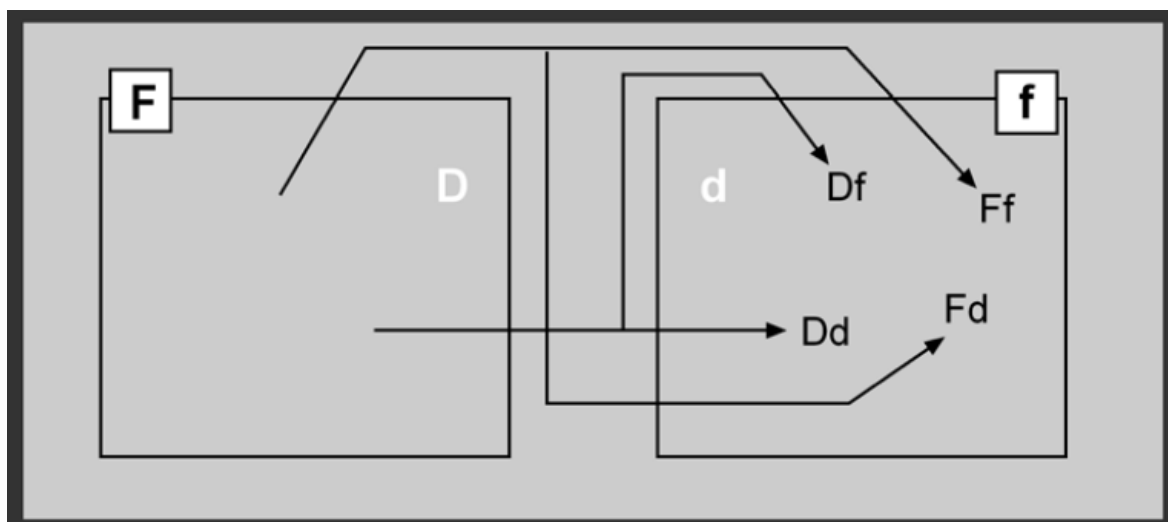


Figura 5 - Caminhos da transmissão sonora; [9]

Na figura 5, está esquematizado o caminho directo e os três caminhos marginais de cada elemento da envolvente dos compartimentos., sendo que, Dd corresponde ao caminho directo, e Df, Ff e Fd, os três caminhos marginais de cada elemento da envolvente.

Consideram-se as transmissões marginais através dos valores de índice de redução sonora aparente, R'_W , através de um método presente na norma [9]. Segundo esse método, da norma EN 12354-1, faz-se o somatório de todos os caminhos possíveis entre dois compartimentos adjacentes, considerando o caminho directo e o caminho marginal para cada elemento da envolvente, duas paredes, laje de tecto e laje de piso [8]

$$R'_W = -10 \times \log \left[10^{\frac{-R_{Dd,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{\frac{-R_{Ff,w}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{\frac{-R_{Df,w}}{10}} + \sum_{F=1}^n 10^{\frac{-R_{Fd,w}}{10}} \right] [8]$$

Os caminhos marginais calculam-se da seguinte forma:

$$R_{Ff,w} = \frac{R_{F,w} + R_{f,w}}{2} + \Delta R_{Ff,w} + K_{Ff} + 10 \times \log \left(\frac{S_s}{l_o l_f} \right) [8]$$

$$R_{Fd,w} = \frac{R_{F,w} + R_{s,w}}{2} + \Delta R_{Fd,w} + K_{Fd} + 10 \times \log \left(\frac{S_s}{l_o l_f} \right) [8]$$

$$R_{Df,w} = \frac{R_{s,w} + R_{f,w}}{2} + \Delta R_{Df,w} + K_{Df} + 10 \times \log \left(\frac{S_s}{l_o l_f} \right) [8]$$

Para além norma mencionada, EN 12354-1, dirigida aos sons aéreos entre compartimentos interiores do edifício, foram publicadas as partes dois e três da respectiva norma, em que, EN 12354-2, dirigida aos sons de percussão, e ainda a parte três, EN 12354-3, que contempla o isolamento sonoro das fachadas, sendo semelhante aos princípios expostos na parte 1 da norma, que enquadram dois tipos de métodos, um simplificado e outro detalhado e permitem calcular as influências das transmissões marginais. [10]

$R_{s,w}$, índice de redução sonora o elemento de separação inicial, em dB;

$R_{F,w}$, índice de redução sonora o elemento marginal F, no compartimento emissor;

$R_{f,w}$, índice de redução sonora o elemento marginal F, no compartimento receptor;

$\Delta R_{Ff,w}$, acréscimo de isolamento, nos elementos marginais do espaço emissor ou receptor;

$\Delta R_{Fd,w}$, acréscimo de isolamento, nos elementos marginais do espaço emissor e/ou no elemento de separação;

$\Delta R_{Df,w}$, acréscimo de isolamento, no elemento de separação, emissor, e no marginal, receptor;

K_{Ff} , índice de redução de transmissão de vibrações, no caminho Ff;

K_{Fd} , índice de redução de transmissão de vibrações, no caminho Fd;

K_{Df} , índice de redução de transmissão de vibrações, no caminho Df

S_s , área do elemento de separação ;

l_0 , comprimento de referência, $l_0 = 1m$;

l_f , comprimento comum entre o elemento de separação e o marginal, em m ;

4.3.5 TEMPO DE REVERBERAÇÃO

O conceito de tempo de reverberação assenta no seguinte:

“Sempre que uma onda sonora atinge qualquer elemento plano definidor de espaços fechados em causa (parede, pavimento ou envidraçado), uma parte da energia que lhe está associada é transmitida ao espaço adjacente, outra é reflectida pelo elemento plano e outra é, ainda, dissipada nesse mesmo elemento.” [10]

O tempo de reverberação é mais uma questão muito relevante no que diz respeito ao isolamento acústico. É, normalmente, mais específico em determinados espaços, tais como, salas de aula, auditórios, entre outros. Nestes casos deverá ser considerado o tempo de reverberação médio, calculado com base nos tempos de reverberação, determinados nas bandas de frequência centradas em 500, 1000 e 2000 Hz.

De uma forma mais perceptível, o parâmetro tempo de reverberação, T , corresponde ao intervalo de tempo necessário para se verificar um decaimento de 60 dB do nível sonoro, após paragem instantânea da fonte sonora. [6]

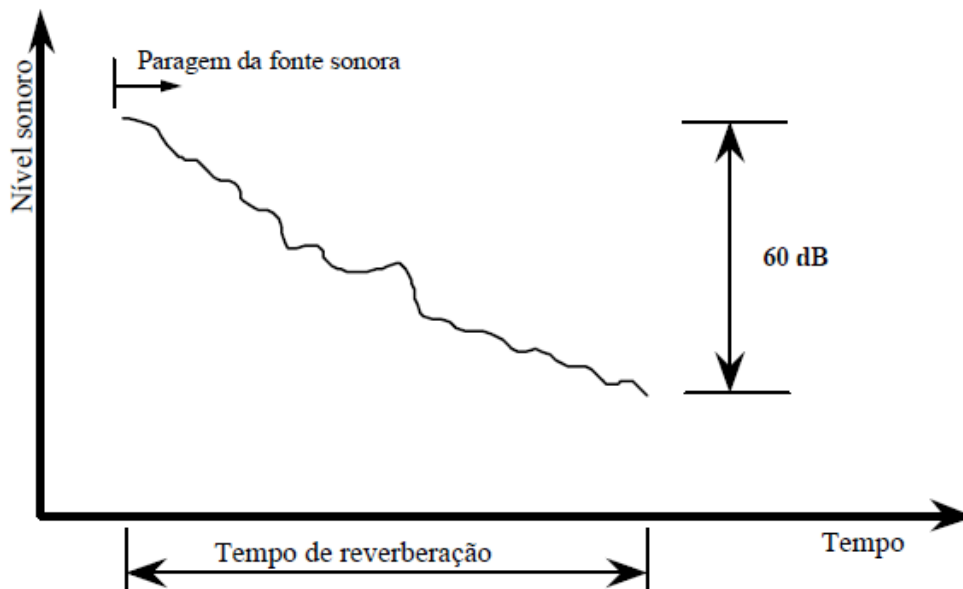


Figura 6 - Tempo de Reverberação;

4.3.5.1 Princípio de Cálculo

O tempo de reverberação visa dotar os espaços fechados de características acústicas adequadas às suas funções.

Para efeitos de cálculo, o espaço cujo objectivo é determinar o tempo de reverberação, é importante analisar, a sua geometria, os revestimentos interiores e o tipo de recheio existente, isto é, cadeiras, mesas, entre outros, surgindo, desta forma, mais uma questão relevante, a absorção sonora dos materiais. [6]

A quantificação do tempo de reverberação poderá ser obtido pela fórmula de Sabine:

$$T = \frac{0,16 \times V}{A}$$

T – Tempo de Reverberação;

V – Volume do espaço em causa;

A – Área de absorção sonora equivalente;

$$A = \sum_i^n \alpha_i \times S_i + \sum_j^m A_j$$

α – Coeficiente de absorção sonora dos materiais, ($0 \leq \alpha \leq 1$);

S – Superfície real do material [m^2];

A – Absorção sonora localizada [m^2];

4.3.5.2 Absorção Sonora

As características de reflexão e absorção medem-se pelo grau de absorção sonora no espaço. Todos os elementos constituintes de uma sala têm propriedades de absorção sonora que afetam a qualidade acústica da mesma. Ou seja, a energia sonora que se estabelece num recinto fechado, onde ocorrem inúmeras reflexões, dura, durante tanto mais tempo quanto menor for a capacidade de dissipadora de energia assegurada pelos elementos de contorno, isto é, quanto menor for a absorção média desse contorno, processo esse, de dissipação de energia que não depende apenas dos elementos de contorno do recinto em causa, mas também dos objectos dispostos no interior desse mesmo recinto, como mobiliário e até mesmo as próprias pessoas que também contribuem para a dissipação de energia sonora. [10]

Quadro 1- Classificação da absorção sonora, segunda a norma ISO 11654; [11]

Classe de absorção sonora	Absorção sonora ponderada, α_w	Coefficiente de absorção sonora= 0, significa que há 100 % de reflexão;
A	[0,90 – 1,00]	Coefficiente de absorção sonora= 1, significa que há 100 % de absorção sonora;
B	[0,80 – 0,85]	
C	[0,60 – 0,75]	
D	[0,30 – 0,55]	
E	[0,15 – 0,25]	
Não Classificado	[0,05 – 0,10]	

Entende-se absorção sonora ponderado como sendo uma conversão dos valores obtidos em bandas de oitava de 250, 500, 1000, 2000 e 4000 Hz, ou seja, coloca-se uma curva de referência perante os valores medidos até se obter os valores mais adequados. O valor derivado de α_w , varia entre 0 e 1.

4.3.6 CONSIDERAÇÕES GERAIS NAS EXIGÊNCIAS ACÚSTICAS

O edifício, ou qualquer dos seus fogos, é considerado conforme os requisitos acústicos aplicáveis, quando, cumulativamente:

- Valor obtido para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{2m,nT,w}$ ou $D_{nT,w}$, acrescido do factor I, no valor de 3 dB, satisfaça o limite regulamentar;
- O valor obtido para o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, $L'_{nT,w}$, diminuído do factor I, no valor de 3 dB, satisfaça o limite regulamentar;
- O valor obtido para o nível de avaliação, $L_{Ar,nT}$, diminuído do factor I, no valor de 3 dB(A), satisfaz o limite regulamentar.

Os edifícios situados em zonas históricas que sejam objecto de ações de reabilitação, mantendo a mesma vocação de uso e a mesma identidade patrimonial, podem aplicar-se os requisitos constantes das alíneas b) a g) do número 1 do artigo 5º do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, com uma tolerância de 3 dB.

Quadro 2 – Quadro-resumo de limites regulamentares no isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e quartos ou zonas de estar;

$D_{2m,T,w}$	Edifícios localizados	Observações
$\geq 33 \text{ dB}$	Zonas mistas ou sensíveis em cuja proximidade já exista uma grande infra-estrutura de transporte ou esteja projectada uma grande infra-estrutura de transporte aéreo ou esteja projectada uma grande infra-estrutura de transporte não aéreo;	Ver art. 11.º c), d) e e) do RGR;
$\geq 28 \text{ dB}$	Zonas sensíveis em que o ruído ambiente exterior não é superior 55 dB (A) a, expresso pelo indicador L_{den} , nem superior a 45 dB (A) , expresso pelo indicador L_n ;	Ver art. 11.º b) do RGR;
$\geq 33 + 3 \text{ dB}$ $\geq 28 + 3 \text{ dB}$	Zonas urbanas consolidadas, desde que essa zona: <ul style="list-style-type: none"> a) Seja abrangida por um plano municipal de redução de ruído; b) b) não exceda em mais de 5 dB (A) os valores fixados no art. 11º e que o projecto acústico considere valores o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado, $D_{2m,T,w}$, superiores em 3 dB; 	Ver art. 12º 7 do RGR;
$D_{2m,T,w} + C$	Quando a área translúcida for $> 60\%$ da área da fachada e o ruído dominante na emissão for Ruído de Rosa (C);	
$D_{2m,T,w} + C_{tr}$	Quando a área translúcida for $> 60\%$ da área da fachada e o ruído dominante na emissão for Ruído de tráfego urbano;	

Quadro 3 - Quadro-resumo de limites regulamentares no isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos e quartos ou zonas de estar;

$D_{nT,w}$	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado
$\geq 50 \text{ dB}$	Entre compartimentos de um fogo (emissão) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (receção);
$\geq 48 \text{ dB}$	Entre locais de circulação comum (emissão) e quartos ou zonas de estar de fogos (receção);
$\geq 40 \text{ dB}$	Se o local emissor for dotado de caixa de escadas e existirem ascensores;
$\geq 50 \text{ dB}$	Se o local emissor for uma garagem para automóveis;
$\geq 58 \text{ dB}$	Entre locais destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão (emissão) e quartos ou zonas de estar de fogos (receção);

Quadro 4 - Quadro-resumo de limites regulamentares no isolamento sonoro a sons de percussão entre compartimentos e quartos ou zonas de estar;

$L'_{nT,w}$	Índice de isolamento sonoro a sons de percussão padronizado
$\leq 60 \text{ dB}$	Entre compartimentos de um fogo (emissão) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (receção);
$\leq 60 \text{ dB}$	Entre locais de circulação comum (emissão) e quartos ou zonas de estar de fogos (receção); não aplicável a caixa de escadas no caso de existirem ascensores;
$\leq 50 \text{ dB}$	Entre locais destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão (emissão) e quartos ou zonas de estar de fogos (receção);

Quadro 5 – - Quadro-resumo de limites regulamentares do nível de avaliação de ruído particular de equipamentos;

$L_{Ar,nT}$	Nível de avaliação
$\leq 32 \text{ dB}$	Equipamento de funcionamento intermitente;
$\leq 27 \text{ dB}$	Equipamento de funcionamento contínuo;
$\leq 40 \text{ dB}$	Grupo gerador eléctrico de emergência;

4.4 ISOLAMENTO ACÚSTICO

4.4.1 AMBIENTE EXTERIOR

Numa perspectiva de reabilitação de um edifício, o seu desempenho acústico, vai além da simples unidade edificada, ou seja, não só é importante o conforto acústico dos edifícios, envolvente restrita, mas também, a qualidade acústica do ambiente exterior é um fator fundamental no seu ambiente global, sendo por isso, importante um correto planeamento urbanístico. [10]

O ruído provocado no ambiente exterior pode ser provocado, por exemplo, pelos automóveis, que têm essencialmente os seguintes tipos de fontes:

- **Fontes mecânicas:** vibrações do motor e dos sistemas mecânicos que são transmitidas ao veículo;
- **Fontes aeráulicas:** ruído devido ao escoamento do ar sobre a estrutura do veículo, varia com a velocidade do veículo de circulação e com a configuração exterior do veículo;
- **Contacto pneu/pavimento:** ruído devido ao contacto entre o pneu e a via, sendo mais importante quando o pavimento é irregular, quando os pneus se encontram em más condições ou quando o pavimento se encontra molhado; [10]

Segundo Jorge Patrício, uma possível solução para garantir uma adequada gestão do ruído em zonas sensíveis de cidades seria um sistema de monitorização contínua do ruído, ligados a uma central de gestão de distribuição de fluxos de tráfego ao longo dos vários eixos viários, actuando ao nível do sistema de semáforos e de painéis indicativos de escoamentos preferenciais e indicados. [10]

A solução correctiva recorre a meios de limitações da propagação, por utilização de barreiras sonoras nas ruas e avenidas das cidades, o que não é facilmente implementável, tendo em conta o pouco espaço que existe para as construir, pela inexequibilidade estética das zonas de malha urbanística consolidada e densa, e pelo fato de um dos objetivos principais desta dissertação ser preservar o valor histórico da zona em questão, logo a implementação desta medida iria dificultar em muito esse objectivo.

No entanto, em áreas de campo aberto e envolventes circulares urbanas, a solução é quase obrigatória para minimizar o ruído estabelecido. [10]

As zonas urbanas, típicas das cidades a reabilitar, necessitam de uma atenção especial, pois, as características das fontes sonoras são, normalmente, mais variáveis, em comparação às áreas de campo aberto. O instrumento de apoio ao planeamento e á gestão urbana, considerado para efeitos acústicos, é o chamado Mapa de Ruído. Este instrumento fornece as informações necessárias das emissões sonoras, da influência das diferentes fontes, e da exposição das populações ao ruído ambiente.

4.4.2 EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES

O Regulamento Geral do Ruído apresenta algumas exigências necessárias a cumprir no diz respeito ao ruído no exterior, sendo apresentadas as seguintes situações:

- a) Construção, reconstrução, ampliação, alteração ou conservação de edificações;
- b) Obras de construção civil;
- c) Laboração de estabelecimentos industriais, comerciais e de serviço;
- d) Equipamentos para utilização no exterior;
- e) Infra-estruturas de transporte, veículos e tráfegos;
- f) Espetáculos, diversões, manifestações desportivas, feiras e mercados;
- g) Sistemas sonoros de alarme;

De seguida apresentam-se algumas definições presentes no Regulamento Geral do Ruído, que interessam referir neste estudo.

- a) “**Actividade ruidosa permanente** – actividade desenvolvida com carácter permanente, ainda que sazonal, que produza ruído nocivo ou incomodativo para quem habite ou permaneça em locais onde se fazem sentir os efeitos dessa fonte de ruído, designadamente laboração de estabelecimentos industriais, comerciais ou de serviços;”
- b) “**Actividade ruidosa temporária** – actividade que, não constituindo um acto isolado, tenha carácter não permanente e que produza um ruído nocivo (que ultrapassa o nível de acção conforme a legislação de ruído) ou incomodativo (que ultrapassa os critérios de incomodidade (art. 13^o)) para quem habite ou permaneça em locais onde se fazem sentir os efeitos dessa fonte de ruído tais como obras de construção civil, competições desportivas, espectáculos, festas ou outros divertimentos, feiras e mercados;”

- c) “**Avaliação acústica** – verificação da conformidade de situações específicas de ruído com os limites fixados;”
- d) “**Fonte de ruído** – a acção, actividade permanente ou temporária, equipamento, estrutura ou infra-estrutura que produza ruído nocivo ou incomodativo para quem habite ou permaneça em locais onde se faça sentir o seu efeito;”
- e) “**Grande infra-estrutura de transporte aéreo** – o aeroporto civil identificado como tal pelo Instituto Nacional de Aviação Civil cujo tráfego seja superior a 50 000 movimentos por ano...;”
- f) “**Grande infra-estrutura de transporte ferroviário** – o troço ou conjunto de troços de uma via férrea regional, nacional ou internacional indenticada como tal pelo Instituto Nacional do Transporte Ferroviário, onde se verifique mais de 30 000 passagens de comboio por ano;”
- g) “**Grande infra-estrutura de transporte rodoviário** – o troço ou conjunto de troços de uma estrada municipal, regional, nacional ou internacional identificada como tal pelas Estradas de Portugal, E.P.E., onde se verifique mais de três milhões de passagens e veículos por ano;”
- h) “**Infra-estrutura de transporte** – a instalação de meios destinados ao funcionamento de transporte aéreo, ferroviário ou rodoviário;”
- i) “**Indicador de ruído** – o parâmetro físico-matemático para a descrição do ruído ambiente que tenha uma relação com um efeito prejudicial na saúde ou no bem-estar humano;”

- j) “**Indicador de ruído diurno-entardecer-nocturno (L_{den})** – indicador de ruído, expresso em dB (A), associado ao incómodo global, dado pela expressão:

$$L_{den} = 10 \log \frac{1}{24} \left[13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right]$$

- k) “**Indicador de ruído diurno (L_d) ou (L_{day})** - o nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na Norma NP 1730-1:1996, ou na versão actualizada correspondente, determinado durante uma série e períodos diurnos representativos de um ano;”
- l) “**Indicador de ruído do entardecer (L_e) ou ($L_{evening}$)** – o nível sonoro médio de longa duração, conforme definido a Norma NP 1730-1:1996, ou na versão actualizada correspondente, determinado durante uma série de períodos do entardecer representativos de um ano;”
- m) “**Indicador de ruído do nocturno (L_n) ou (L_{night})** – o nível sonoro médio de longa duração, conforme definido a Norma NP 1730-1:1996, ou na versão actualizada correspondente, determinado durante uma série de períodos nocturnos representativos de um ano;”
- n) “**Mapa de ruído** – o descritor do ruído ambiente exterior, expresso pelos indicadores L_{den} e L_n , traçado em documento onde se representam as isófonas e as áreas por elas delimitadas às quais corresponde uma determinada classe de valores expressos em dB (A);”

- o) “**Período de referência** – o intervalo de tempo a que se refere um indicador de ruído, de modo a abranger s actividades humanas típicas, delimitado nos seguintes termos:
- ✓ Período diurno – das 7h às 20h;
 - ✓ Período do entardecer – das 20h às 23h;
 - ✓ Período nocturno – das 23h às 7h;
- p) “**Receptor sensível** – o edifício habitacional , escolar, hospitalar ou similar ou espaço de lazer , com utilização humana;”
- q) “**Ruído de vizinhança** – ruído associado o uso habitacional e às actividades que lhe são inerentes , produzido directamente por alguém ou por intermédio de outrem, por coisa à sua guarda ou animal que, pela sua duração, repetição ou intensidade, seja susceptível de afectar a tranquilidade da vizinhança;”
- r) “**Ruído ambiente** – o ruído global observado numa dada circunstância num determinado instante, devido ao conjunto das fontes sonoras que fazem parte da vizinhança próxima ou longínqua do local considerado;”
- s) “**Ruído particular** – o componente do ruído ambiente que pode ser especificamente identificada por meios acústicos e atribuída a uma determinada fonte sonora;”
- t) “**Ruído residual** – o ruído ambiente a que se suprimem um ou mais ruídos particulares, para uma situação determinada;”
- u) “ **Zona mista** – a área definida em plano municipal de ordenamento de território, cuja ocupação seja afecta a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível;”

- v) “**Zona sensível** – a área definida em plano municipal de ordenamento de território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período nocturno;”
- w) “**Zona urbana consolidada** – a zona sensível ou mista com ocupação estável em termos de edificação;”

Quadro 6 - Limites Regulamentares do Regulamento Geral do Ruído;

Localização	L_n, dB	L_{den}, dB	Observações
Zonas mistas	≤ 55	≤ 65	Art.º 11º 1 a) e 1 b) do RGR
Zonas sensíveis	≤ 45	≤ 55	RGR
Zonas sensíveis em cujas proximidades exista uma grande infraestrutura de transporte	≤ 55	≤ 65	Art.º 11º 1 c) e 1 d) do RGR
Zonas sensíveis em cujas proximidade já exista uma grande infraestrutura de transporte não aéreo	≤ 50	≤ 60	Art.º 11º 1 e) do RGR
Zonas urbanas consolidadas, desde que essa zona: a)Seja abrangida por um plano municipal de redução de ruído; b)Não exceda em mais de 5 dB (A) os valores limite fixados no art 11º	$L_n + 5$	$L_{den} + 5$	Art.º 12º do RGR

È ainda importante referir deste regulamento, (RGR), o capítulo dois, que diz respeito ao planeamento municipal, o qual integra planos municipais de ordenamento de território, mapas de ruído, planos municipais de redução de ruído, conteúdo dos planos municipais de redução de ruído e relatórios sobre o ambiente acústico. Estes instrumentos fornecem informação relevante no desenvolvimento deste guia de referência, que serão apresentados de uma forma mais detalhada num capítulo posterior, concretamente em relação ao caso de estudo, zona histórica do Porto.

4.5 PRINCIPIOS DE MEDIÇÃO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO

4.5.1 MEDIÇÕES “IN SITU”

Numa perspectiva de condicionamento acústico de edifícios de habitação e mistos surge a necessidade de cumprir com os mínimos estabelecidos pela regulamentação aplicável, quer a sons aéreos, quer a sons de percussão. Como tal, a legislação em vigor assenta em três parâmetros caracterizadores.

Designa-se $D_{2m,nT,w}$, correspondendo ao parâmetro de isolamento sonoro padronizado entre o exterior e o interior dos espaços. Este parâmetro trata essencialmente do conforto no interior da habitação em relação ao ruído criado pelo exterior. [10]

- Princípio de medição do isolamento sonoro a ruídos de condução aéreo entre o exterior e o interior de um edifício:

$$D_{xx,2m,nT,w} = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right)$$

L_1 , Nível de pressão sonora médio no compartimento emissor (exterior);

L_2 , Nível de pressão sonora médio no compartimento receptor;

T , Tempo de reverberação do compartimento de recepção;

T_0 , Tempo de reverberação de referência (normalmente, igual a 0,5 s);

xx , tipo de fonte sonora considerada (altifalante; tráfego);

O parâmetro mencionado em cima é tido como o índice de referência à envolvente exterior, ou seja, para além das fachadas, como em cima referido, este aplicar-se-á da mesma forma outro elemento da envolvente em questão, as coberturas. [10]

D_{nT} , corresponde ao parâmetro de isolamento sonoro padronizado que deve ser assegurado pelos elementos horizontais e verticais (paredes e pavimentos), no interior do edifício, dado por:

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right)$$

L_1 , Nível de pressão sonora médio no compartimento emissor;

L_2 , Nível de pressão sonora médio no compartimento receptor;

T , Tempo de reverberação do compartimento de recepção;

T_0 , Tempo de reverberação de referência (normalmente, igual a 0,5 s);

O terceiro e último parâmetro a ter em conta é L'_{nT} , correspondendo ao índice de isolamento sonoro padronizado a sons de percussão num determinado compartimento, geralmente num pavimento, dado por:

$$L'_{nT} = L_i - 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right)$$

L'_{nT} , Nível de pressão sonora médio padronizado no compartimento receptor, em dB;

L_i , Nível de pressão sonora médio medido no compartimento receptor, em dB;

T , Tempo de reverberação do compartimento de recepção;

T_0 , Tempo de reverberação de referência (normalmente, igual a 0,5 s);

Os parâmetros referidos estão em conformidade com as metodologias apresentadas nas seguintes normas:

Sons aéreos:

- NP EN ISO 140-4. *Acústica. Medição do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 4: Medição, in situ do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos;*

- NP EN ISO 140-5. *Acústica. Medição do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 5: Medição, in situ do isolamento sonoro a sons aéreos de fachada e de elementos de fachada;*

- NP EN ISO 717-1. *Acústica. Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Isolamento sonoro a sons de condução aérea;*

Sons de percussão:

- NP EN ISO 140-7. *Acústica. Medição do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 7: Medição, in situ do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão;*

- NP EN ISO 717-2 *Acústica. Medição do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 2: Isolamento sonoro de percussão;*

Note-se que os parâmetros de comportamento referidos correspondem ao valor da ordenada de uma curva de referência associada a cada um dos tipos de sons mencionados na banda de 500 Hz

A metodologia de medição em cima apresentada, de acordo com as respectivas normas em cima mencionadas, referem-se, tal como as normas especificam, a medições “in situ”, isto é, realizadas no local. Para obter a informação necessária em projecto existem duas vias, sendo:

- Ensaios laboratoriais;
- Software de cálculo automático;

4.5.2 ENSAIOS LABORATORIAIS PARA EFEITOS DE PROJECTO

No que diz então respeito a sons de condução aérea, expresso em R_w , correspondendo ao índice de redução sonora, convertido para a diferença padronizada, $D_{nT,w}$.

$$D_{nT,w} = R_w + 10 \log \left(\frac{0,16 V}{T_0 S} \right), em dB$$

S , Representa a superfície de separação em m^2 ;

V , Representa o volume do espaço de recepção m^3 ;

O mesmo acontece com o parâmetro de isolamento sonoro a sons de percussão, passando a:

$$L'_{nT} = L_n - 10 \log \left(\frac{0,16 V}{A_0 T_0} \right), em dB$$

A_0 , Representa a área de absorção sonora equivalente de referência, igual $10 m^2$;

Interessa igualmente mencionar o ruído de equipamentos e instalações, através do parâmetro sonoro contínuo equivalente ponderado de A, que numa distribuição de níveis sonoros, no domínio do tempo, corresponde ao valor de um nível sonoro, o qual, integrado no intervalo de tempo considerado, T , leva à mobilização da mesma energia sonora que a descrição dada.

Este parâmetro, mais propriamente designado como nível de avaliação de ruído de equipamentos, $L_{Ar,nT}$, e integrando a possível existência de componente tonais o ruído, determina-se com recurso à Norma Portuguesa 1730, sendo:

$$L_{Ar,nT} = L_A + K - 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right)$$

Em que:

K , é a correcção devida às componentes tonais presentes no nível de avaliação, a qual, caso existe, corresponde a 3dB.

Para além dos índices indicados anteriormente, estão previstos na legislação, termos de adaptação obtidos a partir de espectros específicos, o “Ruído de Rosa” e o “Ruído de Tráfego Rodoviário Urbano”, correspondendo a ruído de circulação e ruído de tráfego respectivamente. São calculados a partir das seguintes fórmulas:

$$R_{Rosa} = \begin{cases} 10 \log \left(\sum_i^{nb} 10^{(L_{i1}-R_i)/10} \right), \text{ para } i \in [100, 3150 \text{ Hz}] \text{ ou } f \in [50, 3150 \text{ Hz}] \\ 1 - 10 \log \left(\sum_i^{nb} 10^{(L_{i1}-R_i)/10} \right) \text{ para } i \in [50, 5000 \text{ Hz}] \end{cases}$$

$$R_{Traf.} = -10 \log \left(\sum_i^{nb} 10^{(L_{i2}-R_i)/10} \right)$$

Onde:

L_{i1} e L_{i2} , correspondem aos valores obtidos dos espectros de Ruído de Rosa e Ruído de Tráfego Urbano respectivamente, em dB(A);

i a nb , variação da banda de frequência de (1/3 de oitava), que varia habitualmente (e no mínimo) entre as frequências centrais de 100 e 3150 Hz, podendo adicionalmente, incluir baixas frequências (bandas de 50, 63 e 80 Hz) e altas frequências (bandas de 4000 e 5000Hz)

R_i , valores da curva de isolamento por cada banda de frequências (dB), que pode corresponder às curvas R , D_n ou $D_{2m,n}$.

O Ruido de Rosa e o Ruído de Tráfego Urbano são normalmente apresentadas segundo os termos de adaptação C e Ctr, indexados aos índices R_w , $D_{n,w}$ e $D_{2m,n,w}$, conforme previsto na norma EN ISO 717-1. [12] [6]

4.5.3 MODELOS DE SIMULAÇÃO: SOFTWARE DE CÁLCULO AUTOMÁTICO

Na presente dissertação foi necessário recorrer a um programa de cálculo automático para apresentar resultados quantitativos das soluções criadas. Tal como foi referido, o objectivo é definir as soluções acústicas adaptáveis a vários edifícios, logo, a única forma de conseguir valores quantitativos mais próximos da realidade será através do software de cálculo, AISLA 3.01.

O programa de cálculo automático, desenvolvido por Jesús Alba Fernandez, Jaime Ramis Soriano Fernando Hernández García, na Universidade Politécnica de Valência, representa uma ferramenta de previsão de isolamento acústico a ruídos aéreos.

Este software de cálculo apresenta a seguinte classificação genérica agrupada em três categorias distintas:

- Materiais impermeáveis ao som;
- Materiais absorventes do som;
- Câmaras de ar;

Materiais impermeáveis ao som

Considera-se que um material é impermeável ao som quando este não permite que a onda sonora se introduza no seu interior. Fisicamente, não há nenhuma onda de pressão que atravesse o material, sendo que, a onda incidente produz uma velocidade de vibração que gera a onda de pressão transmitida, ruído aéreo. São exemplos deste tipo de material, madeiras, placas de gesso, alumínio, entre outros. [13]

Neste software de simulação, estes materiais impermeáveis são caracterizados pelo seu valor de rigidez à flexão da camada, pela sua densidade volúmica, pela sua espessura e pelo seu fator de perdas. [14]

Materiais absorventes do som

Os materiais absorventes do som, tais como, lãs minerais, baseiam-se no efeito de absorção de energia que se produz quando uma onda incide no material e o atravessa. Nestes materiais, parte dessa energia é dissipada e outra parte atravessa-os.

Este fenómeno de dissipação de energia depende de como o material é fabricado, ou seja, uns caracterizam-se por estarem formados por semi-poros ou por tubos ligados, outros formam-se com pequenas fibras que se comprimem até uma determinada espessura. Em geral, a perda de energia produz-se por viscosidade transformando-se parte da energia acústica em calor, a qual se dissipa. A absorção nestes materiais depende da frequência da onda acústica incidente, e do ângulo de incidência da onda. [13]

Câmaras de ar

Dentro de uma estrutura formada por várias camadas impermeáveis pode ficar uma porção, designadas de câmaras de ar, ou caixa-de-ar, que atuam como uma mola elástica dentro do conjunto da estrutura, trocando as propriedades gerais da mesma. No entanto, sob o ponto de vista acústico estas câmaras poderão ser abordadas como um caso particular de material absorvente, cujo meio de propagação é o ar. [14]

Interessa ainda referir, que o presente software de cálculo, é também baseado num modelo multicamada, descrito de forma extensa no capítulo posterior.

Nesta aplicação é escolhido, por rapidez de cálculo, o método desenvolvido por Ookura & Saito, que se baseia na transferência de impedâncias entre as diferentes camadas que compõem a estrutura. [13] [14].

Esta versão do software de cálculo AISLA 3.01, apresenta algumas melhorias em relação às versões anteriores, permitindo desta desta forma:

- Camadas impermeáveis;
- Divisórias duplas com um, dois ou três materiais absorventes ou ar no seu interior, permitindo onze novas combinações, com ar e materiais absorventes;
- Possibilidade de adicionar várias camadas impermeáveis; [14]

Esta nova versão da ferramenta de cálculo permite ainda realizar simulações com com painéis perfurados formando parte da configuração do programa.

As configurações do programa são as seguintes:

- Painéis perfurados;
- Divisórias duplas com um, dois, ou três materiais absorventes ou ar no seu interior, com a possibilidade de converter as camadas impermeáveis em painéis perfurados;
- Divisórias triplas, com ar ou absorventes no seu interior, onde a camada impermeável se pode permutar com o painel perfurado. [14]

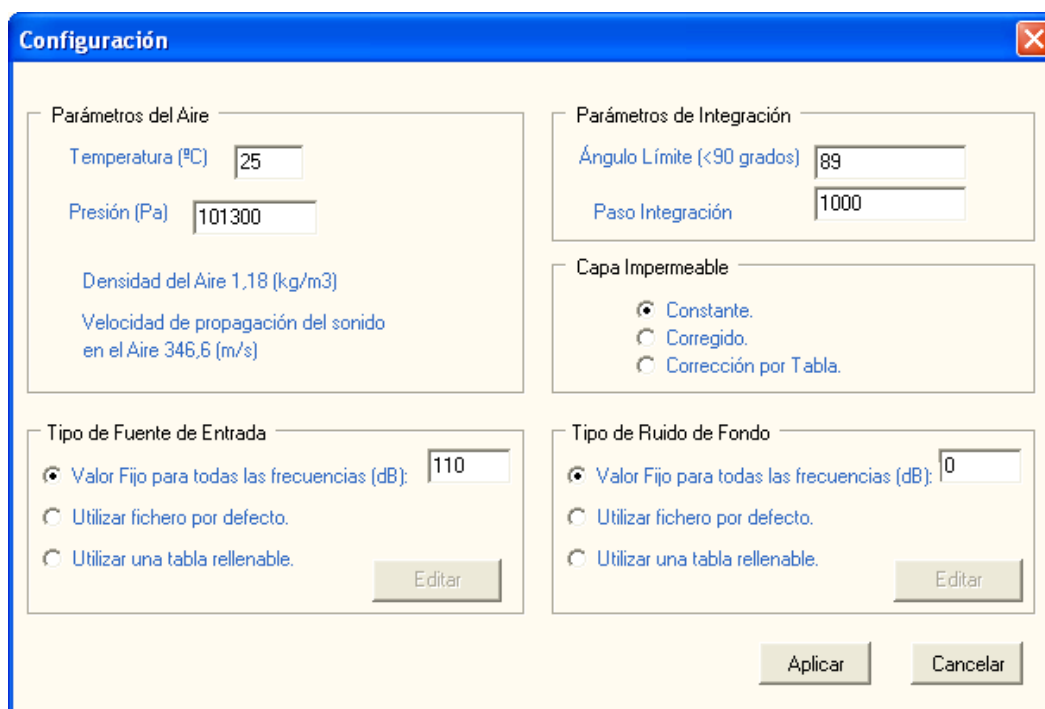


Figura 7 - Imagem apresentação do programa; [14]

Este software de cálculo apresenta duas bases de dados, uma para as camadas impermeáveis e outra para os materiais absorventes. Ambas permitem introduzir ou editar o material. [14]

The image shows a software window titled "Editar Absorbente" with a close button in the top right corner. The window contains the following elements:

- A dropdown menu labeled "Lista de Absorbentes" with "Fiberform(R)" selected.
- A text input field labeled "Nombre del Absorbente" containing "Fiberform(R)".
- A text input field labeled "Grosor (mm)" containing "40".
- A text input field labeled "Resistencia específica al flujo (Rayls/m)" containing "5025".
- A text input field labeled "Densidad del Material (kg/m3)" containing "40".
- A section titled "Densidad del Material" with two radio button options:
 - Valor de resistencia al flujo por defecto.
 - Cálculo dinámico (Bies-Hansen). A "Personalizar" button is located to the right of this option.
- A section with five radio button options for model factors:
 - Factores Modelo Delany & Bazley.
 - Factores Modelo Miki.
 - Factores Modelo Dunn & Davern.
 - Factores Modelo Garai & Pompoli.
 - Factores Modelo Alba et Al.
 - Factores Propios para el Modelo de Absorbente. A "Personalizar" button is located to the right of this option.
- At the bottom, three buttons: "Eliminar", "Aplicar", and "Cancelar".

Figura 8 - Imagem retirado do powerpoint de apresentação do software; [14]

4.6 MODELOS MULTICAMADA

No desenvolvimento das soluções construtivas de isolamento acústico, na análise quantitativa através do programa de cálculo automático, AISLA. 3.01, é tido em conta a teoria do modelo multicamada, que se baseia em usar espessuras de panos de, por exemplo, vidros, diferentes, com o objectivo de minimizar as perdas de transmissão devido ao efeito de coincidência das vibrações.

Existem várias teorias que descrevem o comportamento de estruturas múltiplas do ponto de vista da acústica. Em vários trabalhos distintos pode verificar-se uma evolução desde a lei das massas, entre os quais se destacam, os modelos de Ookura e Saito, que se baseia na junção de impedâncias entre diferentes camadas. Distingue-se também o modelo desenvolvido por Trochidis e Kalaroutis ou Bruneau, que trabalham com a transformada de Fourier espacial, entre outros.

4.6.1 MODELO DESENVOLVIDO POR OOKURA E SAITO PARA ATENUAÇÃO EM PAREDES MÚLTIPLAS COM INCIDÊNCIA ALEATÓRIA

Trata-se de um método de transferência de impedâncias, semelhante ao método proposto por Beranek e Work, para situações de ondas oblíquas e em campo aleatório, método esse fácil de implementar.

O modelo considera uma estrutura geral de paredes múltiplas infinitas, a qual está construída com N elementos e cada um desses elementos pode ser uma camada impermeável, uma câmara de ar ou um material absorvente. A onda de pressão incidente é denominada de PI e a onda de pressão reflectida por PR . Considera-se a possibilidade de uma onda plana incidir sobre a face esquerda do elemento N com um ângulo de incidência. A onda que incide na parte esquerda continuará a propagar-se através da estrutura e irá

irradiar pela face direita do primeiro elemento como uma onda plana de pressão até fazer no campo livre um ângulo de transmissão. [15]

A análise é numerada com o subíndice $I=1,2,\dots; N$, com cada um dos parâmetros físicos do elemento I , e é utilizado um segundo subíndice para indicar um parâmetro da camada esquerda do elemento (2) e a camada direita (1). [15], como se verifica na seguinte figura:

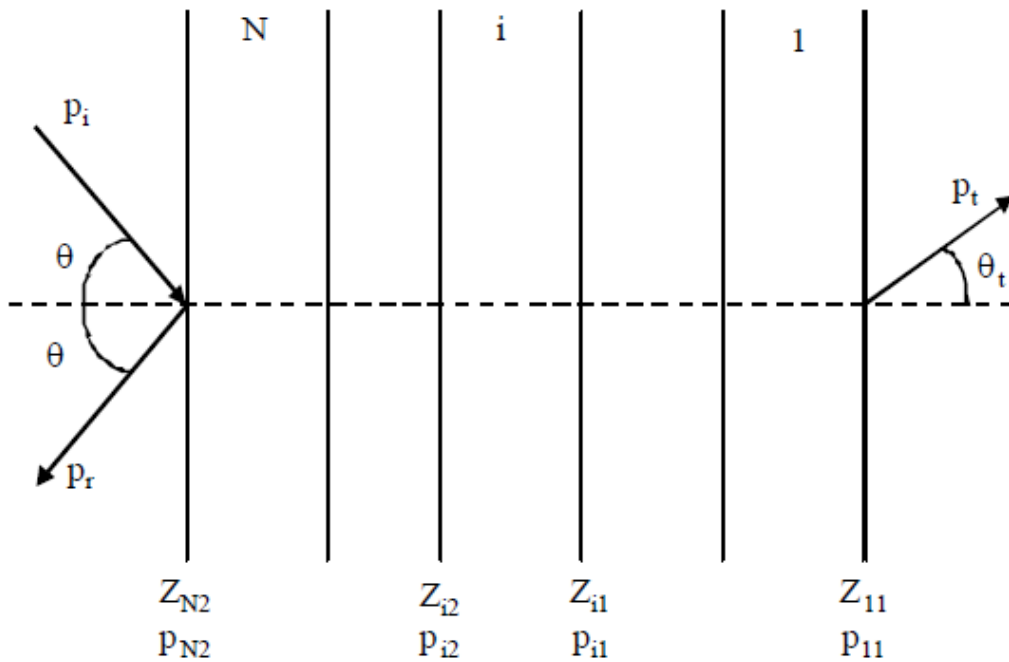


Figura 9 - Modelo Multicamada; [13]

O quociente entre a pressão na superfície de incidência P_{N2} e a pressão incidente P_i é a seguinte:

$$\frac{P_{N2}}{P_i} = \frac{P_i + P_r}{P_i} = \frac{2Z_{N2}}{Z_{N2} + \frac{\rho c}{\cos\theta}}$$

Z_{N2} representa a impedância acústica normal vista da face esquerda da superfície do elemento, e $\frac{\rho c}{\cos\theta}$ corresponde à impedância acústica normal no campo livre de uma

superfície com incidência oblíqua, a qual é igual à relação de impedâncias do primeiro elemento Z_{11} .

Usando as condições de pressão em cada superfície, podemos escrever a expressão do coeficiente de transmissão para incidência oblíqua, através da qual podemos obter, mediante a integração adequada, o índice de enfraquecimento em incidência aleatória.

$$\tau(\theta) = \left| \frac{P_t}{P_i} \right|^2 = \left| \frac{P_{11}}{P_i} \right|^2 = \left| \frac{P_{N2}}{P_i} \right|^2 \left| \frac{P_{N1}}{P_{N2}} \dots \frac{P_{i1}}{P_{i2}} \dots \frac{P_{11}}{P_{12}} \right|^2$$

Os rácios de pressão podem ser obtidos a partir das características de impedância de cada item que são classificados na camada impermeável, material absorvente e câmara de ar. [15]

4.6.2 MODELO GENÉRICO DE PAREDES MÚLTIPLAS DE ACORDO COM A TRANSFORMADA DE FOURIER ESPACIAL

Considerando-se uma partição composta por camadas onde a primeira e a última são camadas impermeáveis, com a condição de que as camadas impermeáveis não estão juntas.

Apresenta-se na seguinte figura um modelo genérico definido num sistema de equações:

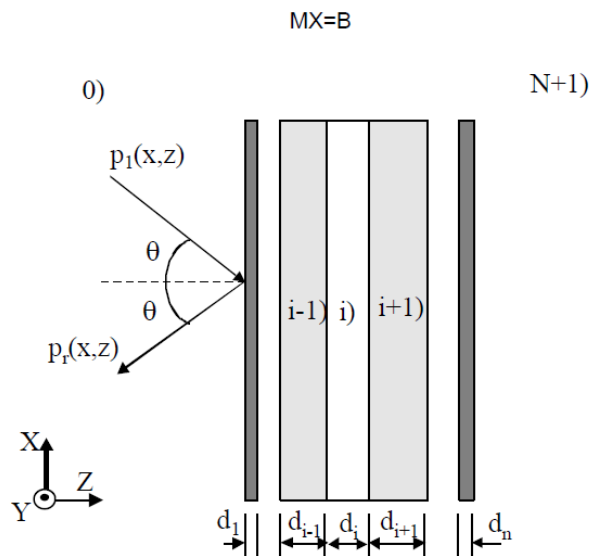


Figura 10 - Configuração genérica; [13]

A matriz M, que define a configuração, tem um tamanho que depende do número de camadas e da natureza destas. Em geral, uma camada impermeável numa determinada posição i , inclui como incógnita o seu desfasamento $W_i(s)$, no domínio de FOURIER:

$$W_i(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} w_i(s) e^{-jsx} ds$$

E uma câmara de ar ou material absorvente numa determinada posição j , introduz duas incógnitas $A_j(s)$ e $B_j(s)$, que caracterizam a pressão no seu interior:

$$p_{II}(x, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} (A_2(s) \cos a_2 z + B_2(s) \operatorname{sen} a_2 z) \cdot e^{-jsx} ds$$

$$a_2 = \sqrt{s^2 - k_0^2}$$

Onde K_j representa o número de onda dentro do material ou da câmara. Para além disso, as pressões na zona 0 e na zona N+1 são:

$$p_I(x, z) = p_{in}(x, z) + p_r(x, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} [p_{in}(s)e^{az} + p_r(s)e^{-az}] \cdot e^{-jsx} ds$$

$$p_{N+1}(x, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} p_t(s)e^{az} \cdot e^{-jsx} ds$$

$$a_2 = \sqrt{k_0^2 - s^2}$$

Ou seja, se a configuração está formada por C camadas impermeáveis e D câmaras de ar ou materiais absorventes, o tamanho da matriz M será de C+2D+2 filas por C+2D+2 colunas. O vetor de termos independentes é:

$$B = (ap_{in} \ p_{in} \ 0 \ 0 \ \dots \ 0 \ \dots \ 0 \ 0 \ 0)^T$$

De tamanho 1 fila por C+2D+2 colunas. O vetor de incógnitas terá a seguinte forma:

$$X = (p_r \ w_1 \ X_2 \ X_3 \ \dots \ X_i \ \dots \ X_{N-1} \ w_N \ p_t)^T$$

Onde X é um vetor de tamanho 1×1 para camadas impermeáveis e um vetor de tamanho 1×2 para câmaras e materiais absorventes. Para encontrar os valores não nulos da matriz M tem que se examinar as condições de contorno em todas as transições.

As transições das placas para o ar nas zonas 0 e N+1 são as seguintes:

$$\left| \frac{\partial p_0}{\partial z} \right|_{z=0} = \rho_0 \omega^2 w_1(x)$$

$$\left| \frac{\partial p_{N+1}}{\partial z} \right|_{z=\sum_{i=1}^N d_i} = \rho_0 \omega^2 w_{N(x)}$$

Se uma camada ocupa uma determinada posição i, terão de cumprir as seguintes condições:

$$\left| \frac{\partial p_i}{\partial z} \right|_{z=0} = \rho_0 \omega^2 w_1(x)$$

$$\left| \frac{\partial p_{i+1}}{\partial z} \right|_{z=\sum_{i=1}^{i+1} d_i} = \rho_{i+1} \omega^2 w_i(x)$$

$$[D_i \nabla^4 - \rho_i d_i \omega^2] w_i(x) = p_{i-1}(x, \sum_{k=1}^{i-1} d_k) - p_{i+1}(x, \sum_{k=1}^i d_k)$$

Onde ρ representa a densidade da camada em questão e D representa a rigidez à flexão da camada impermeável i. No caso de haver transições entre os materiais absorventes, ou câmara de ar, que ocupem as posições j e j+1, tem que se cumprir o seguinte:

$$p_j(z = \sum_{k=1}^j d_k) = p_{j+1}(z = \sum_{k=1}^{j+1} d_k)$$

$$\frac{1}{\rho_0} \left| \frac{\partial p_{II}}{\partial z} \right|_{z=h_1+d_1} = \frac{1}{\rho_b} \left| \frac{\partial p_{III}}{\partial z} \right|_{z=h_1+d_1}$$

As equações anteriores, no domínio de FOURIER permitem obter os coeficientes não nulos da matriz M, criando-se um sistema através do qual se pode obter, entre outras variáveis, o coeficiente de transmissão da estrutura.

Conclui-se que, para materiais mais pesados aconselha-se o método desenvolvido por Ookura e Saito, e para o mais ligeiros, o método da transformada de de Fourier. [13].

4.7 CARACTERIZAÇÃO E TIPIFICAÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS SOB O PONTO DE VISTA DA ACÚSTICA DA ZONA HISTÓRICA DO PORTO

Neste capítulo serão abordados os principais elementos construtivos a considerar nos edifícios antigos da região Norte sob o ponto de vista da acústica. Nesta caracterização serão apresentados alguns dados informativos e importantes para posteriormente serem apresentadas as soluções mais convenientes para cada caso, em que serão referidas: Paredes exteriores, Pavimentos, Tectos, Paredes interiores, Escadas, Vãos interiores e exteriores.

No desenvolvimento deste capítulo ter-se-á em consideração o Manual de Apoio ao Projeto de Rabilitação de Edifícios Antigos [16].

4.7.1 PAREDES EXTERIORES

4.7.1.1 Paredes das fachadas da rua e de tardo em alvenaria

“As fachadas, mais sóbrias e severas no século XVII, mais graciosas e movimentadas do século XVIII, e cujas linhas se simplificam consideravelmente no século XIX, perdendo praticamente os motivos ornamentais e tornando-se pobres e monótonas, compõem-se fundamentalmente de combinações variadas e harmoniosas de janelas, óculos e varandas, sendo estas, umas vezes, individuais e, outras corridas a toda a largura do prédio, dispostas de modo diverso nos seus diferentes pisos.” [17]

As paredes exteriores em causa, executadas em alvenaria de pedra de granito, são essencialmente constituídas por peças aparelhadas em cantaria, conformando os vãos de portas e janelas sob a forma de lancis de soleiras, de parapeitos, de ombreiras e de lintéis ou vergas e ainda sob a forma de diversos elementos decorativos, tais como pilastras, frisos, cimalkhas e socos.

A espessura das paredes relacionam-se directamente com as dimensões dos vãos e dos elementos que lhe servem de protecção, portas janelas e portadas interiores, como tal, no século XIX a espessura rondava os 28 a 80 *cm*. [16]



Figura 11 - Parede de fachada em alvenaria [16]

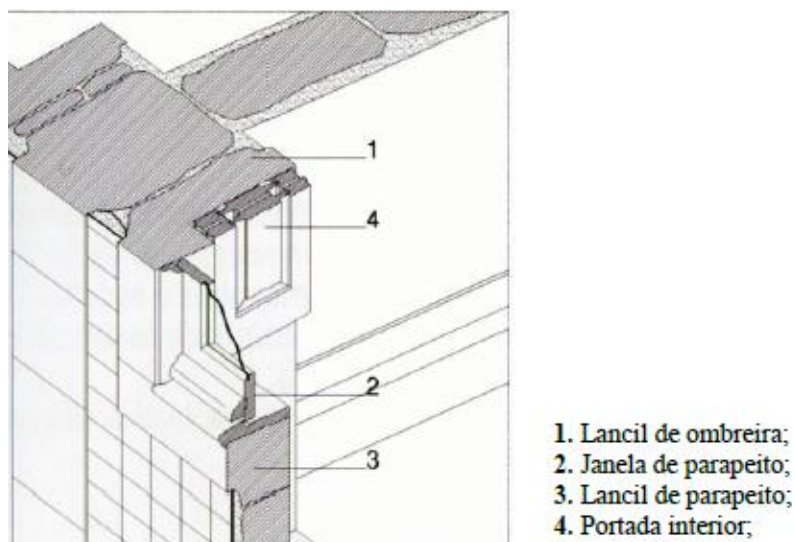


Figura 12 - Pormenor de parede de fachada da rua ou de tardoz com vão de janela de peito [16]

No que toca ao revestimento interior todas as paredes são emboçadas e regularizadas com argamassa de cal, areia e saibro, com acabamento a estuque executado através de um barramento de pasta de cal posteriormente caiado ou pintado. Os exemplos mais refinados possuem pinturas a fresco do tipo dos guarnecimentos ou de escaiola. [18]

Admite-se que a forma mais primitiva de revestimento exterior de paredes de fachada seja o reboco de enchimento e regularização, executado com uma argamassa de saibro, areia e cal, simplesmente caiado ou pintado. Porém, a partir do século XVIII encontram-se acabamentos mais refinados, constituídos por uma camada fina de argamassa à base de cal, areia fina e pigmentos, ou simplesmente estucados com um barramento de pasta de cal, pintado a têmpera (tinta a base de cola), e mais tarde, nas primeiras décadas do século XX, com tintas à base de óleo que entretanto se vulgarizaram [16].

A partir dos meados do século XIX a adopção do azulejo como elemento de revestimento exterior, na sequência da melhoria registada nas condições de manufactura e, mais tarde, de fabrico industrial, tornou-se no revestimento típico das fachadas das casas do Porto. Este sucesso deve-se ao facto de não exigir manutenção significativa, funciona simultaneamente como primeira camada impermeabilizante e apresentando um grande valor estético. [16]

Na segunda metade do século XIX, a aplicação de uma camada de impermeabilização à base de asfalto, veio melhorar as condições destas paredes [16]

4.7.1.2 Paredes das fachadas da rua e de tardo em tabique;

O tabique constitui, entre nós, “(...) uma técnica de construção anterior ao século XVII, com largas raízes ou manifestações provinciais, mas que, certamente por constituir um processo barato e fácil, continuou a utilizar-se revestido de telhas, lousas ou chapa, para acréscimos, trapeiras e outras formas de andares suplementares, (...)” [17]



Figura 13 - Exemplos de paredes em tabique [16]

Verifica-se que as paredes exteriores em tabique situadas na continuidade das paredes exteriores de fachada em alvenaria de pedra, tal como, as paredes de fachada dos pisos recuados ou acrescentados. Tal como acontece nas paredes de fachada de alvenaria de pedra, no sentido em que, geralmente, não servem de apoio ao vigeamento dos sobrados, esta estrutura não integra a estrutura primária, serve apenas de apoio às tacaniças.

Na cidade do Porto encontram-se principalmente dois tipos de paredes de fachada em tabique: estruturas das paredes de tabique simples e estrutura das paredes de tabique simples reforçado. [16]

Segurado [19], denomina as paredes de tabique simples de frontal forrado, constituídas por uma estrutura de barrotes quadrangular, com 7cm de espessura, formada por prumos com cerca de 1m de distância entre si.

As paredes de tabique simples reforçado, são constituídas por um esqueleto ou estrutura em forma de gaiola. É revestida em ambas as faces por um tabuado com cerca de 2cm de espessura, sendo o seu interior possivelmente preenchido com restos de madeira, cortiça ou até mesmo folhas de jornal, obtendo desta forma algum isolamento térmico. [20]

Quando se trata de pisos recuados, acrescentados posteriormente frequentemente as paredes são executados em tabique simples reforçado, incluindo paredes de meação [17].

No que toca aos revestimentos deste elemento construtivo é de referir que no interior o revestimento é realizado com reboco e acabamento com argamassa, tal como acontece com as paredes de alvenaria, garantindo, desta forma, continuidade [21]



Figura 14- Parede interior em tabique [16]

O revestimento exterior era inicialmente reboco com acabamento areado ou estucado e posteriormente caiado e pintado.

O azulejo começou a ser mais utilizado como revestimento exterior em meados do século XIX, incluindo em paredes de tabique principalmente quando se pretende manter continuidade entre estas e as paredes de alvenaria. Mais tarde surgiu ainda os soletos de ardósia, chapa de ferro zincada, de perfil ondulado, substituindo os revestimentos anteriores, sendo de mais simples execução e com melhor capacidade de impermeabilização [16].

4.7.1.3 Elementos Singulares

Como elementos singulares das paredes de fachada existem vários elementos distintos, tais como: Óculos, frestas e postigos; Cachorros ou Mísulas; Cornijas; Varandas ou sacadas e Platibandas. [16]



Figura 15- Exemplos de Óculos e Frestas; [16];

É importante fazer referência a estes elementos, principalmente, óculos e frestas, por exemplo, já que, o facto de existirem estas aberturas e alterações no elemento construtivo em estudo, irá influenciar o desempenho acústico do mesmo.



Figura 16 - Exemplo de Mísulas; [16];



Figura 17 - Exemplos de platibandas com elementos decorativos e balaústres; [16]

4.7.1.4 Paredes de meação em alvenaria

As paredes de meação das casas de habitação correntes da cidade do Porto podem ser em pedra ou em tabique misto, individuais ou comuns a duas casas.

Como revestimento interior as paredes de meação são revestidas pelo mesmo processo que as paredes de fachada. Pelo exterior as áreas expostas podem ser revestidas a reboco, com soletos de ardósia, fixos através de pregos a um ripado, ou por telha caleira, fixa pelo mesmo método e consolidada por argamassa de cal, areia e saibro. [16]

4.7.1.5 Paredes de meação em tabique

As paredes de meação em tabique, por fazerem parte dos elementos da estrutura primária, pertencem, em geral, ao tabique misto, ou simples reforçado, sendo semelhantes, no que diz respeito à estrutura e processo de execução, às paredes das fachadas descritas anteriormente.

Pelo interior estas paredes são revestidas como as paredes de alvenaria e restantes paredes de tabique, regularizadas com reboco de saibro e cal, com acabamento estucado ou pintado.

As paredes de meação de tabique misto, ou simples reforçado, eram, inicialmente revestidas exteriormente por reboco estucado ou areado, como acontece nas paredes de fachada em tabique, que eventualmente foi substituído por soletos de ardósia ou chapa de ferro zincada, devido ao facto de permitirem melhor impermeabilização. [20]



Figura 18 - Paredes de meação e revestimentos; [16];

No que diz respeito à tipificação dos elementos construtivos, segundo Vasco Peixoto de Freitas, as paredes resistentes da baixa portuense são, geralmente, em pedra, tijolo, madeira, ou mistas.

4.7.2 PAREDES INTERIORES

4.7.2.1 Paredes interiores de compartimentação

São paredes interiores de compartimentação todas as paredes divisórias de tabique da habitação, excluindo as paredes das caixa de escadas. Estas paredes eram, normalmente, executadas já com a habitação assoalhada, na fase de acabamentos. As paredes de compartimentação mais comuns são do tipo tabique simples, com algumas variações na forma da sua construção. (Teixeira, 2004).

As paredes interiores de tabique são revestidas a fasquios, com um espaçamento de cerca de 3 a 5 cm, para as ancoragens da argamassas, depois revestidas da mesma forma que as restantes paredes da habitação, garantindo assim continuidade de revestimentos e acabamentos dos espaços interiores. [16]

4.7.2.1.1 Rodapés e Lambrins

Os rodapés são elementos importantes usados na transição entre as paredes e os pavimentos tendo como principal função o remate e protecção do acabamento de reboco estucado das paredes. Os lambrins, quando existem, encontram-se nos compartimentos mais nobres da casa tendo a mesma função que os rodapés. (Teixeira, 2004).

4.7.2.2 Paredes de caixa de escada

As paredes das caixas de escadas mais usuais são de dois tipos: em tabique simples reforçado, semelhantes às paredes de fachada de tabique, ou em tabique simples com duplo tabuado.

O revestimento e acabamento das paredes de caixa de escada são semelhantes ao revestimento das restantes paredes interiores das habitações. [16]

4.7.3 SOBRADOS

A estrutura dos pisos é constituído por um vigamento de troncos de madeira, que passa a designar-se por paus rolados, com diâmetros que variam entre os 20 e os 30 cm comprimentos que dependem da largura das casas, nunca ultrapassando os 7m. (Teixeira, 2004).

O vigamento encontra-se apoiado nas paredes de meiação com uma entrega de cerca de dois terços da espessura destas paredes, chegando, em alguns casos, a apoiar-se em toda a sua espessura. Os paus rolados são dispostos paralelamente entre si, com afastamentos que variam entre os 50 e os 70 cm (Teixeira, 2004).

No início do século XX é possível encontrar exemplos de vigamento constituído por vigas de madeira esquadriadas, com dimensões que variam entre os 8 e os 12 cm de largura, por 20 a 25 cm de altura, e espaçamentos entre si nunca superiores a 50 cm [19]

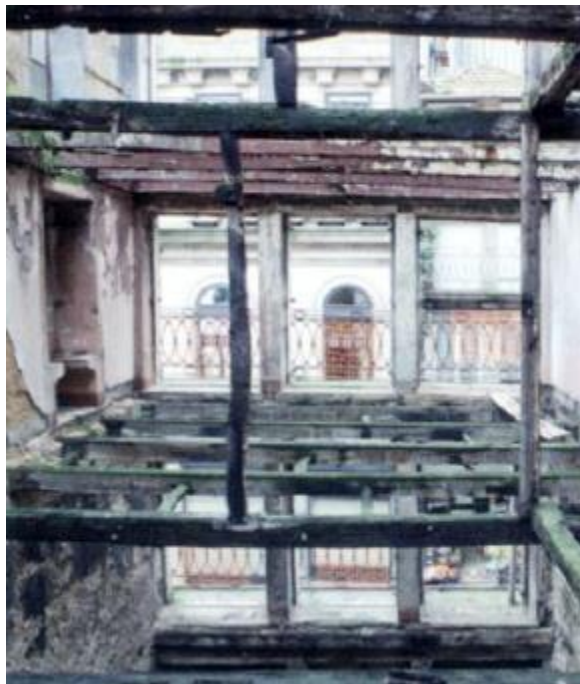


Figura 19 - Vigamento da estrutura dos sobrados de um edifício em ruína; [16]

4.7.3.1 Revestimento e acabamento de Pavimentos

Os pavimentos são, geralmente, revestidos por um tabuado, soalho, habitualmente em madeira de pinho, com espessuras que variam entre 2,5 e 5 cm, tendo os pavimentos uma largura entre 12 e 30 cm, podendo alcançar 10 m de comprimento (Teixeira, 2004).

Os pavimentos podem apresentar um ou dois níveis de vigas, sendo que inicialmente se usavam os chamados “paus rolados” com cerca de 0,20 a 0,25 m de diâmetro, passando mais tarde a serem usadas vigas de secções até $0,15 \times 0,20 m^2$

Os pavimentos dos edifícios em causa são, habitualmente, constituídas por vigas e tábuas de madeira na sua estrutura, no entanto, também podem apresentar uma estrutura mista, isto é, com vigas principais metálicas [16].

4.7.3.2 Revestimento e acabamento dos tetos

Os tetos, no norte de Portugal, eram construídos tradicionalmente em madeira, utilizando um tabuado directamente pregado ao viamento, até final do século XVIII. Durante o século XIX os tetos em estuque passam a ter maior divulgação. [16]

Segundo Joaquim Teixeira [20], a grande alteração, relativamente ao sistema construtivo foi a “invenção de um técnica, para suporte dos revestimentos e acabamentos de tetos em gesso, consistindo numa estrutura de ripas trapezoidais de pequena dimensão – fasquios.”

Assim sendo, os revestimentos e acabamento de tetos apresentam, geralmente, a seguinte estrutura:

- Fasquios, espaçados entre si a espessura de um dedo, pregados directamente aos pau rolados, ou noutros casos, a uma estrutura intermédia de barrote com dimensão de 5 por 7 cm;
- Uma primeira camada de argamassa à base de cal e saibro, depositada através dos fasquios, antes da colocação do soalho; [16]

- Uma segunda camada de argamassa à base de cal e areia fina, aplicada sob os fasquios preenchidos com a argamassa anterior, regularizando o teto;
- Os tetos, quando decorados, apresentam ornatos, no centro ou nos cantos, executados através de moldes em barro;



Figura 21- Tabuado de estrutura e fasquiado de revestimento de uma clara-boia rasante; [16]



Figura 20- Destacamento do revestimento em estuque ficando visível o fasquiado e o revestimento; [16]

4.7.4 COBERTURAS

Nas casas típicas do Porto, encontram-se, geralmente, telhados de quatro águas e telhados de duas águas.

Os telhados de quatro são constituídos por uma armação simples de duas vigas, dispostas em forma de tesoura (unidas superiormente a meia madeira) e apoiadas numa viga transversal ou linha, que, por sua vez, e apoia nas paredes de meiação. Esta armação é, frequentemente travada transversalmente por outra barra de menor dimensão. Todas as barras que constituem esta armação são semelhantes às vigas dos sobrados, paus rolados. Sobre esta estrutura são pregados varas, realizadas com troncas de madeira de menores dimensões, aparados em duas faces, sobre os quais está pregado um tabuado e guarda-pó, ao qual é pregado um ripado para o apoio das telhas, normalmente com telha Marselha [16].

Com a aplicação da telha marselha, a utilização de coberturas com duas águas tornou-se mais vulgar, que possibilitou o aumento das pendentes as vertentes facilitando assim um maior vão de cobertura. A estrutura das coberturas com duas águas é essencialmente constituída por paus rolados apoiados nas empenas das paredes de meiação, espaçados entre si de cerca de 1,5 m. sobre esta estrutura encontra-se pregado o varedo, frequentemente constituído por peças esquadriadas e, transversalmente, o ripado para suporte de telhas, sendo o revestimento realizado da mesma forma, telha Marselha. [16]

Interessa ainda referir a existência de clarabóias, podendo estas ser rasantes ou salientes. As clarabóias rasantes apresentam forma quadrangular ou rectangular com os lanternis ao correr das águas. E estrutura destas claraboios é composta pelas vigas e cadeias, sitas no plano do teto e pelas varas e cadeias no plano da cobertura. A esta estrutura é pregado um tabuado conformando as paredes da clarabóia.

As claraboias salientes quadrangulares ou rectangulares apresentam a mesma forma de execução, diferenciando apenas, o tipo de lanternim. As claraboias salientes circulares ou elíticas, em forma de cúpula apresentam uma estrutura mais elaborada em que as paredes são constituídas or uma estrutura de barrotes de secção quadrangular de 7 cm de lado apoiada nas estruturas do teto e das águas da cobertura. Esta “gaiola” em forma de cúpula é revestida por um tabuleiro de pouca espessura, aplicado na diagonal, sobre o qual está pregado um fasquiado para apoio das argamassas de revestimento e acabamento, sendo revestidas pelo interior da mesma forma que as paredes da casa, rebocadas ou estucadas. São ainda fixados às paredes das clarabóias caixilhos designados de lanternins, formados por uma estrutura metálica de cantoneiras e perfis, preenchida por vidros de 3 mm de espessura, garantindo uma junta aberta permitindo ventilação dos espaços interiores. [16]

Quadro 7 - Quadro-Resumo da caracterização e tipificação da estrutura;

Elemento	Material	Caracterização	Revestimentos e Acabamentos
Paredes exteriores	Alvenaria de pedra	<ul style="list-style-type: none"> • Alvenaria de pedra de granito; • Espessura: \cong 0,28 a 0,80 m; 	<ul style="list-style-type: none"> • No interior todas as paredes são regularizadas com argamassa de cal saibro e areia com acabamento a estuque, efectuando através de barramento de pasta de cal, posteriormente caiado ou pintado; • Revestimento exterior com uma fina camada de argamassa à base de pigmentos, cal e areia fina ou simplesmente estucados; • Encontram-se também, em edifícios mais recentes revestimento exterior por azulejos funcionando simultaneamente com uma camada de impermeabilização à base de asfalto;
	Alvenaria de tijolo	<ul style="list-style-type: none"> • Tijolo; • Geralmente constituídas por um único pano de tijolo vazado ou maciço; • Estuque tradicional com pintura ou cal; 	
		Tabique resistente	<ul style="list-style-type: none"> • Cerca de 5 a 7 cm de espessura; • Enchimento com madeira;

	Tabique	Tabique misto	<ul style="list-style-type: none"> • Cerca de 5 a 7 cm de espessura; • Enchimento com tijolo maciço e argamassa, palha, terra ou restos de construção; 	<ul style="list-style-type: none"> • Estuque tradicional com pintura ou cal;
Paredes divisórias	Tabique		<ul style="list-style-type: none"> • Estrutura constituída por barrotes com 7 cm de lado espaçados 1 m entre si, preenchidos por um tabuado duplo com cerca de 4 a 5 cm cada, espaçados de 1 cm revestidos com um fasquiado espaçado de 3 a 5 cm; • Enchimento com cal, terra, argila, palha ou fibras vegetais; 	<ul style="list-style-type: none"> • Forradas a fasquios com espaçamento de cerca de 3 a 5 cm e posteriormente revestidas com argamassa à base cal e saibro e por fim estuque;
Pavimentos	<ul style="list-style-type: none"> • Espécies de madeira mais usadas: carvalho, castanho e pinho bravo; 	<ul style="list-style-type: none"> • Constituídos por vigas e tábuas de madeira; • Com um nível de vigas: vãos entre 7 a 7,5 m e espessura 0,20 a 0,25 m com secções rectangulares entre $0,08 \times 0,18m^2$; • Com dois níveis: vãos de com cerca de 10 m, com secções à 	<ul style="list-style-type: none"> • Soalho como revestimento com espessuras entre 0,025 e 0,040 m; 	

		<p>volta de $0,08 \times 0,20m^2$ e espessura entre 0,30 a 0,35 m;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Também se podem encontrar vigas metálicas usadas no reforço dos pavimentos, colocadas paralelamente às vigas originais; 	
Coberturas	<ul style="list-style-type: none"> • Estrutura principal em madeira; 	<ul style="list-style-type: none"> • Telhados de quatro águas de duas águas, sendo o último mais comum; • Telhados de duas águas: constituídos por paus rolados, apoiados nas empenas de meação, espaçados entre si de 1,5 m; • Coberturas horizontais; 	<ul style="list-style-type: none"> • Telhados de habitações mais antigas: telha vã assente em argamassa; • Telhados de habitações mais recentes: revestidos com telha Marselha;
Tectos	<ul style="list-style-type: none"> • Construídos tradicionalmente em madeira; 	<ul style="list-style-type: none"> • Constituídos por vigas e tábuas de madeira; • Com um nível de vigas: vãos entre 7 a 7,5 m e espessura 0,20 a 0,25 m com secções rectangulares entre $0,08 \times 0,18m^2$; 	<ul style="list-style-type: none"> • Revestimentos e acabamentos em fasquios, argamassa de cal e saibro e estuque;

Caixa de escadas		<ul style="list-style-type: none"> • Construídas essencialmente em madeira, sendo do rés-do-chão para o 1º piso um lanço de escadas e entre vários pisos, dois ou três lanços, em geral; 	<ul style="list-style-type: none"> • A cadeia dos patamares de piso apoia no vigeamento desse mesmo piso; • A cadeia dos patamares intermédios apoia na estrutura da parede da caixa de escadas; • As tábuas dos cobertores e dos espelhos apresentam, normalmente, uma espessura entre 2 a 4 cm; 	<ul style="list-style-type: none"> • Lanços e patamares revestidos pelo interior por fasquios recebendo argamassa de revestimento e acabamento a estuque;
Parede caixa de escadas		<ul style="list-style-type: none"> • Essencialmente em tabique; 	<ul style="list-style-type: none"> • Tabique simples reforçado; • Tabique simples com duplo tabuado; 	<ul style="list-style-type: none"> • Revestimento semelhante às restantes paredes divisórias da habitação;
Vãos interiores	Envidraçados e caixilhos	<ul style="list-style-type: none"> • Caixilhos em madeira pintada, sendo as mais utilizadas Pinho da Terra e Casquinha; 	<ul style="list-style-type: none"> • Os envidraçados possuem espessuras que variam entre os 3 e os 5 mm; • Um simples fecho para o seu encerramento e duas pequenas dobradiças para fixar a folha móvel quando aberta; 	<ul style="list-style-type: none"> • As peças que constituem o caixilho são afagadas e lixadas e as juntas devidamente betumadas, com acabamento em pintura a óleo e um verniz de protecção;
	Portas	<ul style="list-style-type: none"> • As mais antigas apenas uma folha de abrir, as mais recentes, duas 	<ul style="list-style-type: none"> • Constituídos por uma esquadria de tábuas com cerca de 3 cm de espessura; 	<ul style="list-style-type: none"> • Idêntico ao descrito para os envidraçados e caixilhos interiores;

		folhas de abrir em madeira pintada com bandeira envidraçada;		
Vãos exteriores	Envidraçados e caixilhos	<ul style="list-style-type: none"> • Madeira pintada, envidraçado com duas folhas de abrir e bandeira; • Portadas interiores em madeira pintada fixadas às ombreiras; 	<ul style="list-style-type: none"> • Os envidraçados possuem espessuras que variam entre os 3 e os 5 mm; • Fixação prévia através de pequenos pregos colocados pontualmente; 	<ul style="list-style-type: none"> • Idêntico ao descrito para os envidraçados e caixilhos interiores;
	Portas	As mais antigas apenas uma folha de abrir, as mais recentes, duas folhas de abrir em madeira pintada com bandeira envidraçada;	<ul style="list-style-type: none"> • As mais antigas apresentam grande espessura e peso e funcionam através de rudimentares dobradiças; 	<ul style="list-style-type: none"> • Idêntico ao descrito para os envidraçados e caixilhos interiores;
Instalações e Equipamentos	Drenagem de águas pluviais	<ul style="list-style-type: none"> • Inicialmente era efectuada através de algerozes localizados ao longo das paredes de meação drenando directamente para a rua através de gárgulas ou do beirado das 	<ul style="list-style-type: none"> • Drenagem efectuada por tubos de queda nas paredes da fachada, preferencialmente em ferro fundido, chapa de ferro; 	<ul style="list-style-type: none"> • Com acabamento galvanizado ou zincado;

		<p>tacaniças;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mais tarde os algerozes passam a ser revestidos a chapa de chumbo, de ferro; 		
	Drenagem de esgotos	<ul style="list-style-type: none"> • Redes de drenagem de esgotos constituídas por tubos de queda, sifões e tubos de ventilação ligadas à rede pública de saneamento; 	<ul style="list-style-type: none"> • Tubos de queda preferencialmente em grés cerâmico vidrado ou ferro fundido, tal como os sifões; • Para ventilação são utilizados tubos que podem ser executados em vários materiais, desde ferro fundido ao barro comum; 	
	Abastecimento de água	<ul style="list-style-type: none"> • Situam-se exclusivamente nas instalações sanitárias e cozinhas; 	<ul style="list-style-type: none"> • Vulgarmente executada em tubos de ferro fundido, ferro laminado ou de chumbo, 	<ul style="list-style-type: none"> • Com acabamento galvanizado ou zincado;
	Instalações eléctricas	<ul style="list-style-type: none"> • Executadas de forma rudimentar, sem conhecimento técnico rigoroso relativamente à opção por um sistema ou ao seu respectivo dimensionamento; 		

4.8 CARACTERIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS DA ZONA HISTÓRICA DO PORTO NO SEU AMBIENTE EXTERIOR

O ambiente exterior é mais uma questão bastante importante na acústica, já que é um dos maiores causadores de ruído aéreo nos edifícios, principalmente em zonas movimentadas, como é o caso da zona em estudo desta dissertação, a zona histórica do Porto.

O plano municipal de ordenamento de território, PDMP, elaborado ao abrigo do Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial (RJIGT), em vigor, é destinado a estabelecer regras a que devem obedecer a ocupação, uso e transformação, do solo para o território do concelho do Porto. [22].

Os municípios têm como principal função implementar medidas de prevenção e controlo da poluição sonora definidas no Regulamento Geral do Ruído (RGR). Essa prevenção e esse controlo poderão ser realizados através do planeamento municipal, da regulação da produção de ruído e da fiscalização. No planeamento municipal encontram-se, classificações de zonas, mapas de ruído, planos de redução de ruído e relatório do ambiente acústico. Na regulação da produção de ruído é realizado um controlo prévio das operações urbanísticas, um controlo dos valores limites de exposição, controlo das actividades ruidosas permanentes e um controlo das actividades ruidosas temporárias. Por fim, fiscalização onde são realizadas medidas cautelares, sanções, processamento e aplicação de coimas.

Quando não é definida a zona em causa deve considerar-se o caso mais desfavorável do ponto de vista do ambiente acústico exterior, ou seja, zona mista.

4.8.1 PLANO DIRECTOR MUNICIPAL DO PORTO (PDMP)

O plano director municipal do Porto estabelece regras e orientações a que devem obedecer a ocupação, uso e transformação do solo.

Este documento, concebido ao abrigo do Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial, RJIGT, tem como objetivos: a valorização da identidade urbana do Porto; a requalificação do espaço público e valorização das componentes ambientais, ecológicas e paisagísticas; racionalização do sistema de transportes; por fim, redução das assimetrias urbanas; afirmação do centro histórico.

No âmbito da presente dissertação, interessa referir do Plano Diretor Municipal do Porto, PDMP, os seguintes artigos:

Artigo 9º

Âmbito e objetivos

“As Áreas Históricas correspondem os tecidos consolidados mais antigos da cidade e às reminiscências dos núcleos rurais primitivos que ainda conservam estrutura e os elementos morfológicos iniciais com significativa representatividade urbanística e arquitectónica, que interessa preservar e requalificar, e compreendem:

- a. Centro Histórico do Porto;*
- b. Foz Velha*
- c. Núcleos Históricos, designadamente os seguintes, identificados na Planta de Ordenamento – Carta de Património: A) Nevogilde; B) Passos; C) Aldoar; D) Vila Nova; E) Ouro; F) Regado; G) Campo Lindo; H) Paranhos; I) Lamas; J) Vila Cova; K) Pêgo Negro;*

De seguida o artigo 10º que refere a classificação da zonas históricas do Porto.

Artigo 10º

Uso

“As Áreas Históricas são zonas mistas com predominância da função habitacional, sendo permitidas actividades complementares e outros usos desde que compatíveis com a função dominante e não provoquem ma intensidade de tráfego, ruído ou outro tipo de poluição ambiental incompatíveis com o seu desempenho funcional.”

Conclui-se, desta forma, que a zona histórica do Porto está enquadrado numa classificação de zona mista.

4.8.2 MAPA DE RUÍDO

As questões relacionadas com o ruído têm sido motivo crescente de preocupação, na medida em que, a constante exposição da população a elevados níveis de ruído contribui de uma forma muito negativa para o bem estar da população podendo mesmo criar problemas para a saúde pública, não só a nível físico e como também a nível psicológico. [6]

Foi realizado pela Câmara Municipal do Porto, mais precisamente pelo Gabinete de Estudos e Planeamento do Departamento Municipal de Estudos, um relatório de monitorização da qualidade de vida urbana do Porto, onde podemos encontrar algumas medições realizadas em termos de ruído.

Apresenta-se um estudo pelo indicador L_n , em relação à população residente, exposta a níveis de ruído nocturno (L_n) maior ou igual a 55 dB(A).

São considerados como principais fontes de ruído de zonas urbanas, o tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo, e a existência de instalações industriais. Quanto maior o ruído maior a ameaça, sendo fundamental monitorizar o ruído ao qual a população se encontra exposta, como também quantificar a população sujeita a esta incomodidade sonora, principalmente no período nocturno, correspondendo na generalidade ao período do sono provocando desta forma mais problemas de saúde. [23]

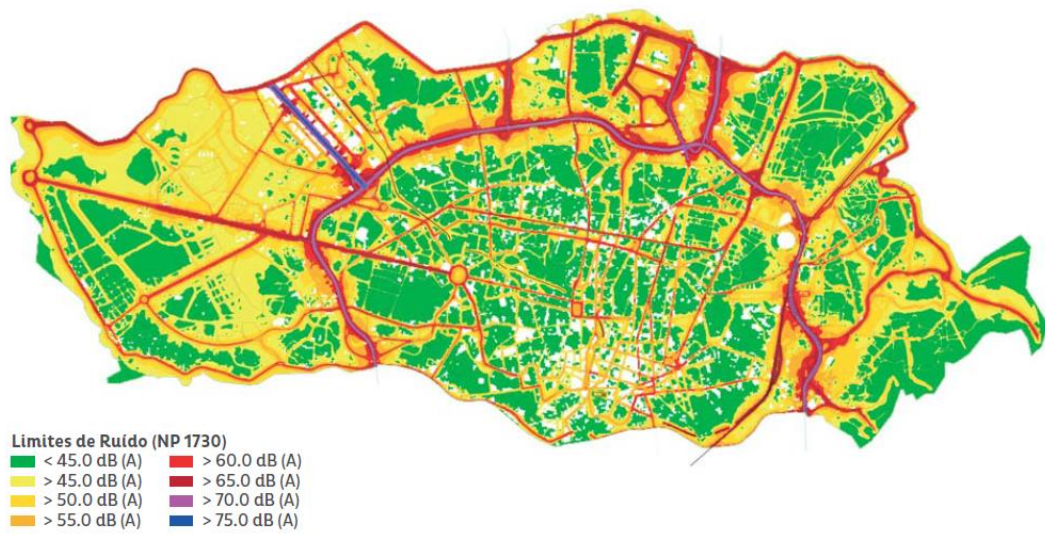


Figura 22 – Mapa de Ruído Porto;

De acordo com o Mapa Estratégico de Ruído da cidade do Porto de 2009, durante o período noturno (das 23h as 7h), cerca de 25,6 % da população encontra-se exposta a níveis de ruído que ultrapassam o estabelecido por lei ($L_n \geq 55 \text{ dB}$), como se pode constatar na figura 20 em cima indicada.

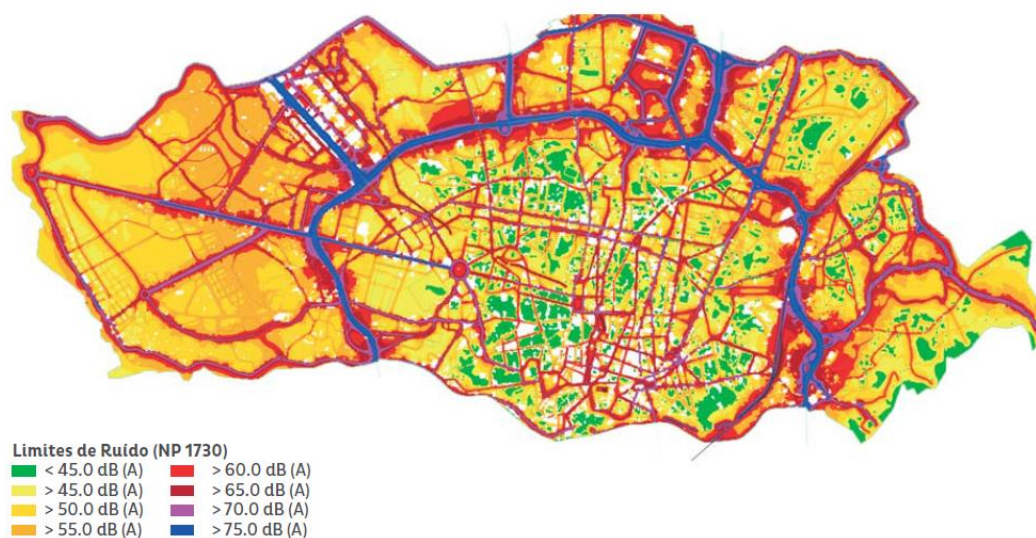


Figura 23 - Mapa de Ruído Porto;

Durante o período Diurno – Entardecer – Nocturno (das 7h às 23h) é ligeiramente inferior, a população residente em zonas sobre-expostas ($L_{den} \geq 65 \text{ dB}$). Interessa, no entanto, referir que neste estudo foi apenas contabilizado a população residente e não a população utilizadora da cidade. [23]

Verificou-se neste estudo que a maior fonte de ruído na cidade de Porto é o tráfego rodoviário, pela existência de grandes vias no interior da cidade que são propícias a elevadas velocidades e volume de tráfego. Interessa também destacar o efeito de ruído proveniente do corredor aéreo do Aeroporto Francisco Sá Carneiro que afecta sobretudo a zona ocidental da cidade. [23]

4.9 ISOLAMENTO ACÚSTICO: SOLUÇÕES-TIPO; NÍVEIS DE QUALIDADE E PRINCIPIOS GERAIS DE APLICAÇÃO NA REABILITAÇÃO

Incide este capítulo parte fulcral desta dissertação. Aqui serão definidas as soluções estudadas para cada solução construtiva em causa, tendo em conta toda a pesquisa e toda a avaliação realizada ao longo deste projecto. As soluções desenvolvidas poderão ser consideradas como soluções padrão, já que não se referem a um edifício em específico, já que, o objectivo será abranger várias situações podendo adaptá-las à maioria dos casos existentes.

Sendo uma das questões mais importantes, será também abordado neste capítulo princípios de aplicação a ter em consideração na reabilitação, pois, sendo que se tratam, à partida, de edifícios antigos, tudo o que é implementado merece especial atenção, já que é objectivo melhorar o edifício em termos de isolamento sonoro, com certeza de que não se criarão problemas de outra natureza.

Para além de ser objeto desta dissertação o incremento de soluções tipo de isolamento acústico na reabilitação, sendo que os padrões de qualidade de vida do cidadão têm vindo a aumentar, será também apresentado um método de níveis de qualidade para que se torne possível optar pela solução mais adequada a cada proprietário.

4.9.1 SOLUÇÕES – TIPO

4.9.1.1 Paredes exteriores

Em grande parte das situações, o fraco desempenho acústico de fachadas deve-se ao fraco isolamento de vãos exteriores, como tal, a solução de reabilitação deverá passar por:

- Reforço de portas;
- Reforço de caixilharias;
- Reforço de vidros;

Em todas as soluções apresentadas posteriormente, de paredes exteriores, é tido em conta este primeiro passo, reforçar o isolamento dos vãos exteriores, no entanto, as soluções propriamente ditas de vãos serão apresentadas no subcapítulo que lhes corresponde.

4.9.1.1.1 Paredes exteriores de alvenaria de pedra:

As paredes exteriores em alvenaria de pedra típicas da cidade do Porto apresentam, geralmente, espessura a variar entre $[28 - 80]cm$.

Para melhorar o comportamento acústico deste elemento construtivo, a solução inicial será reforçar os vãos exteriores, como explicado anteriormente, pois devido ao tipo de material e respectiva espessura, a zona opaca deste elemento não será grande entrave no desempenho acústico.

A exigência regulamentar deste elemento construtivo corresponde a: $D_{2m,nT,w} \geq 33dB$.

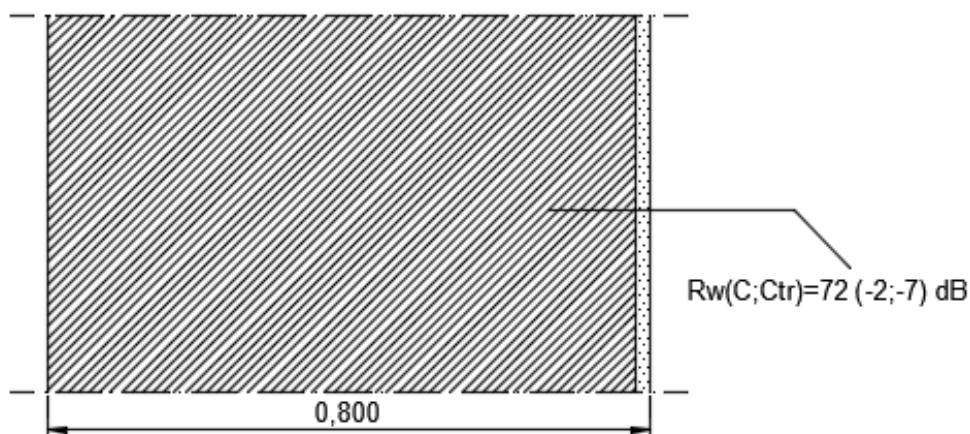


Figura 24 - Parede exterior alvenaria pedra 80 cm+2 cm (argamassa)

Através do programa de cálculo automático AISLA 3.01, quantifica-se que este elemento construtivo apresenta o seguinte índice de redução sonora:

$$R_w(C;Ctr) = 72 (-2; -7)dB$$

Nota: Os termos de adaptação considerados, ruído de rosa e ruído de tráfego rodoviário, C e Ctr, são diminuídos no índice de isolamento sonora quando mais de 60% da fachada é translúcida;

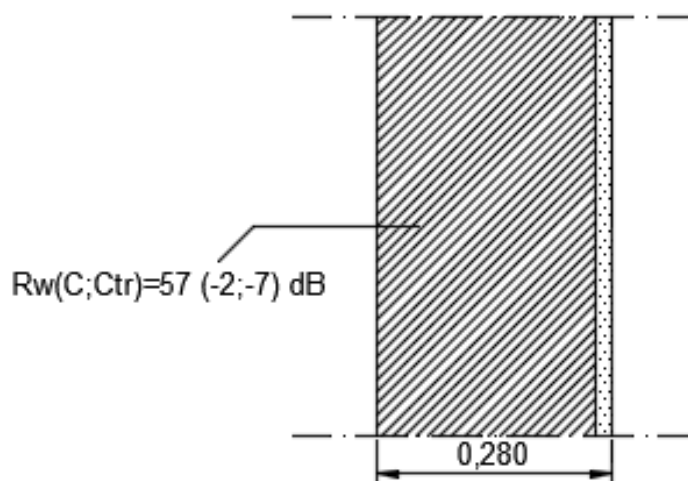


Figura 25 - Parede exterior alvenaria pedra 28 cm+2 cm (argamassa)

Através do programa de cálculo automático AISLA 3.01, quantifica-se que este elemento construtivo apresenta o seguinte índice de redução sonora:

$$R_w(C;Ctr) = 72 (-2; -7) \text{ dB}$$

Como se pode verificar, este elemento construtivo por si só, obedece, e ultrapassa, os limites estabelecidos pela legislação, no entanto, não são contabilizados, neste cálculo, o influência das portas e dos envidraçados, que provocará uma redução dos valores apresentados.

Como solução de reabilitação neste elemento construtivo, apresenta-se a possibilidade de reforço ou substituição de vãos exteriores, desde vidros e caixilhos, a portas. Apesar de ser o primeiro passo para reabilitar, nem sempre é possível de implementar, tanto pelas condições dos próprios caixilhos, que nem sempre são as melhores, como pela espessura dos mesmos, pois pode impossibilitar a implementação de vidro duplo, no sentido de melhorar o conforto acústico. Como tal, nas situações em que não é possível usar o caixilho existente, substitui-se por um novo caixilho em madeira incluindo o vidro duplo.

4.9.1.2 Vãos exteriores

Vidros

Como já foi referido, no caso das fachadas, os vãos podem diminuir em muito o desempenho acústico do elemento construtivo. Tratando-se, na maioria dos casos, de vidros simples, pois os edifícios antigos do Porto não são, geralmente, dotados de vidro duplo, esse será o ponto de partida, substituir vidros simples por vidros duplos de diferentes espessuras, que podem ainda ser combinados de várias formas, como por exemplo, vidro duplo com um vidro simples no exterior e um vidro laminado no interior, como se verificam nas figuras 26, 27 e 28 em baixo.

Situação inicial (vidro simples de 4 mm de espessura):

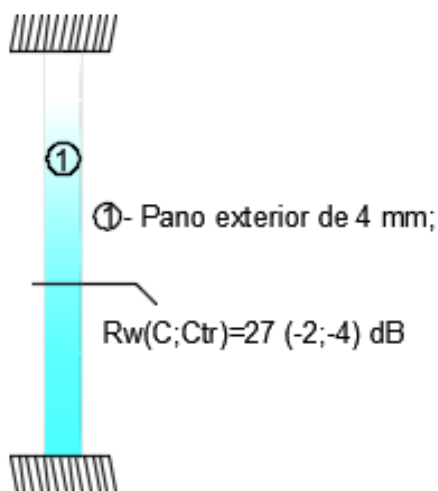


Figura 26 - Vidro simples com 4 mm de espessura;

Solução de reabilitação:

- Duplicar o vidro já existente, conseguindo, por exemplo, a seguinte configuração 4 (12) 8, sendo um vidro simples de 4 mm no pano exterior, outro vidro simples de 8 mm no interior e caixa-de-ar de 12 mm.

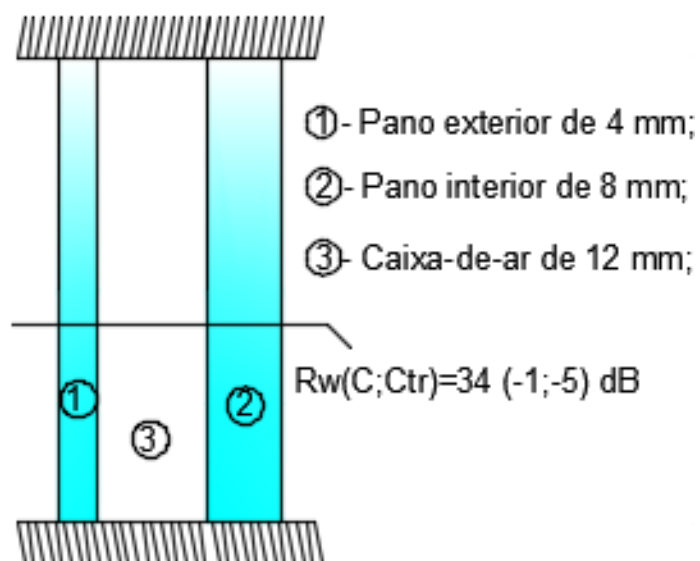


Figura 27 - Vidro duplo com pano exterior de 4 mm, caixa-de-ar de 12 mm e pano interior de 8 mm, partindo do exterior, pano 1, para o interior, pano 2;

Solução Nova :

- Substituir todo o conjunto, caixilharia e vidro, por uma nova caixilharia, em madeira, incluindo um vidro duplo com a seguinte configuração: Vidro duplo 4 (12) 44.1, ou seja, vidro simples de 4 mm de espessura, com caixa-de-ar de 12 mm e um vidro laminado 33.1, isto é, dois vidros simples de 4 mm de espessura, com uma película de polivinil butiral (PVB) de 1 mm;

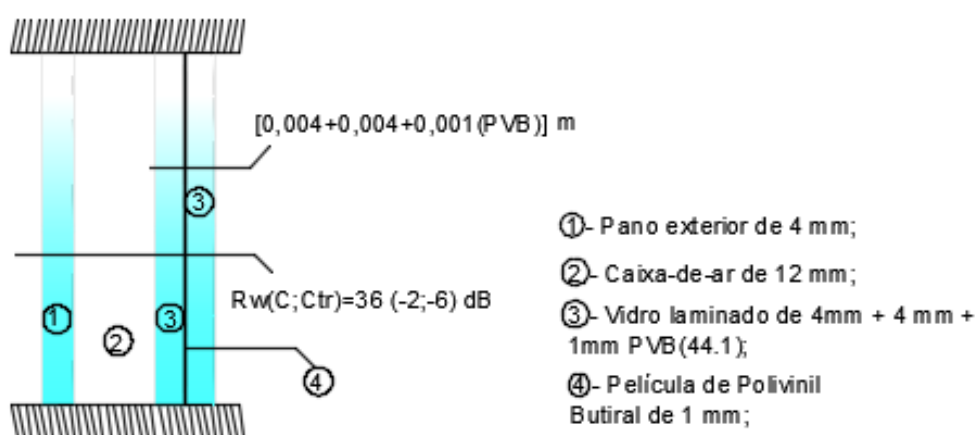


Figura 28 - Solução de Reabilitação: Vidro exterior de 4 mm com caixa-de-ar de 12 mm mais vidro laminado com 2 folhas de 4 mm cada e 1 mm de uma película de polivinil butiral (PVB) partindo do exterior, pano 1, para o interior, pano 3;

Caixilharias

Em relação às caixilharias, dever-se-á manter, de preferência, caixilharias de madeira, já que se trata da zona histórica do Porto, o objectivo deverá ser sempre manter o seu património. Se possível manter a caixilharia original sujeitando-a algum tratamento, ou, se esta se encontra demasiado danificada, substituí-la por uma nova caixilharia de madeira.

Uma outra solução para este elemento construtivo, poderá passar por aplicar uma segunda caixilharia pelo interior, quando for possível, permitindo um desempenho bem melhor ao

nível de exigência na globalidade. Sendo, no entanto, fundamental a ligação desta nova caixilharia interior às paredes onde se encontram estes vãos.

Portas

Interessa ainda referir as portas, que são outra questão relevante no isolamento acústico de fachadas, de onde provém, por vezes, o aumento de ruído, para o interior do edifício, por exemplo, pela existência de frinchas. O seu reforço poderá passar por simplesmente vedar essas frinchas. Uma outra solução será substituir por portas acústicas, ou portas de madeira de maior espessura.

Solução de reabilitação:

- Aplicação de uma borracha em todo o contorno da porta, conseguindo uma vedação de frinchas, e, se necessário, uma borracha de menor espessura na junta de soleira, onde normalmente as tais frinchas apresentam uma espessura reduzida em relação às restantes;
 - Caso se revele necessário a substituição da porta existente, a solução a recorrer poderá ser a implementação de uma porta acústica, de preferência com $R_w \geq 40dB$;
- [24]

As portas exteriores características do Porto apresentam, em geral, elevada espessura, como tal, substituir por uma porta de madeira com maior espessura não será a melhor solução a apresentar. Se mesmo mantendo as portas existentes continuarem a existir problemas de ruído, poderá recorrer-se às portas acústicas, disponíveis em várias empresas. [16]

4.9.1.2.1 Paredes exteriores de alvenaria de tijolo:

- **Solução de Reabilitação:**

Nas paredes exteriores em alvenaria de tijolo, para além de se manter o mesmo reforço de vãos exteriores, é ainda possível reforçar este elemento construtivo pelo interior com a aplicação de isolamento acústico recorrendo a materiais de absorção sonora e materiais impermeáveis ao som.

Situação inicial (Pano exterior em alvenaria de tijolo de 7 cm com reboco de 2cm em ambas as faces):

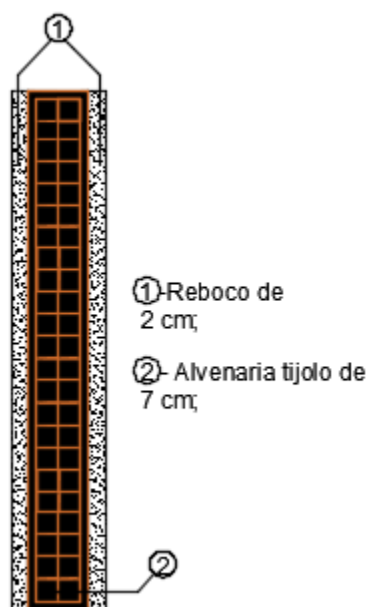


Figura 29 - Situação inicial de parede exterior em alvenaria de tijolo;

Solução de reabilitação:

- Pano de alvenaria tijolo [70 – 110] mm;
- Barreira pára vapor [1,5 – 2,0] mm
- Caixa-de-ar 50 mm
- Duas placas de Gesso Cartonado: 15 mm + 13 mm;
- Reboco em ambos as faces ≥ 2 cm;

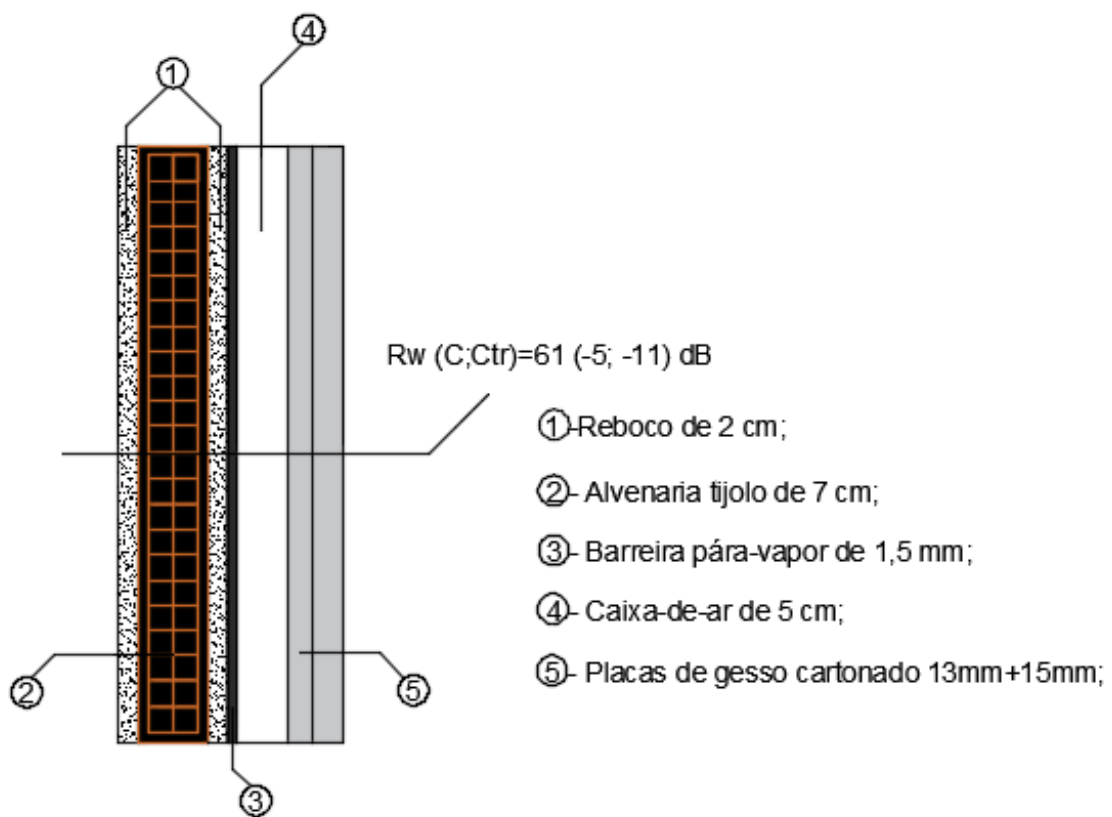


Figura 30 - Solução de Reabilitação de Parede exterior em alvenaria de tijolo, representando o primeiro reboco o lado exterior e as placas de gesso cartonado do lado interior;

Através do programa de cálculo automático AISLA 3.01, quantifica-se:

$$R_w = 61 \text{ dB}$$

4.9.1.2.2 Paredes exteriores em tabique:

A solução de reforço de paredes de tabique será semelhante à solução implementada às paredes exteriores em alvenaria tijolo, logo passará pelo seguinte:

Solução de Reabilitação

- Parede em tabique [7 – 10]cm;
- Barreira pára vapor [1,5 – 2,0] mm
- Placa de fibra de côco de 25 mm;
- Placa de Gesso Cartonado: 13 mm;

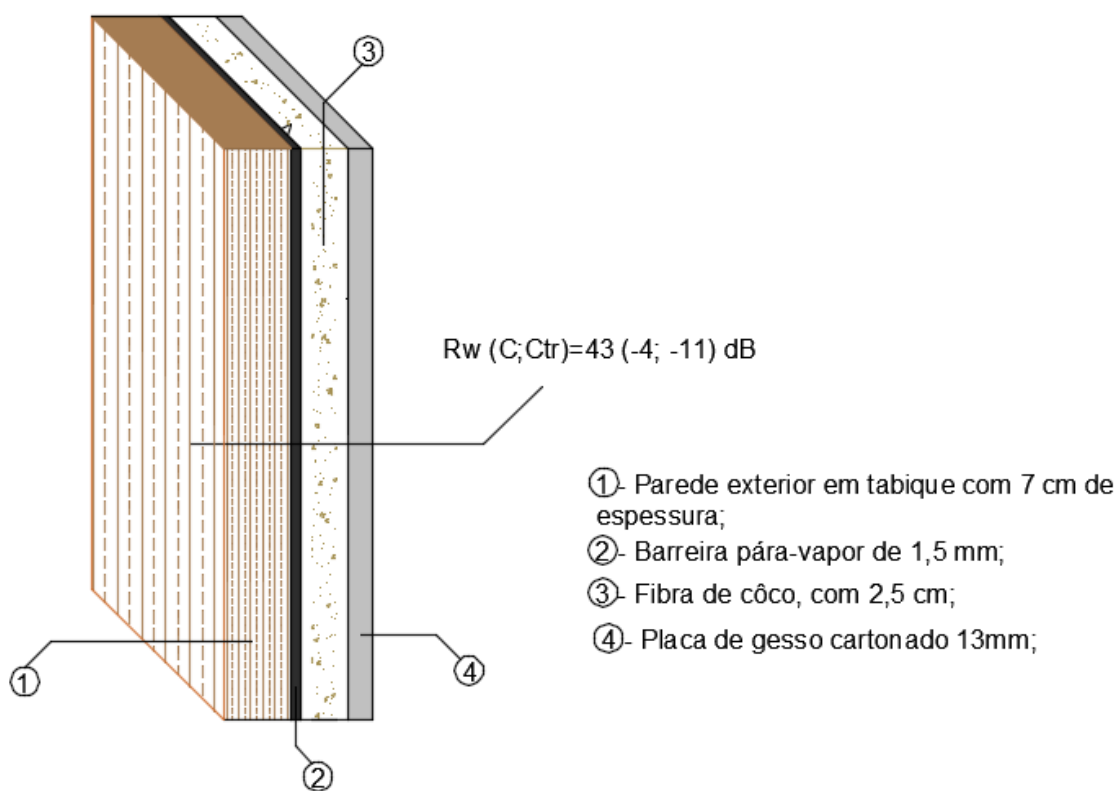


Figura 31 - Solução de Reabilitação de parede exterior em tabique, sendo que o tabique corresponde ao exterior e a placa de gesso cartonado ao interior;

Através do programa de cálculo automático AISLA 3.01, quantifica-se que:

$$Rw = 43 (-4; -11)dB$$

Solução melhorada

- Parede em tabique [7 – 10] *cm*;
- Barra pára vapor [1,5 – 2,0] *mm*;
- Caixa-de-ar [50] *mm*;
- Placa dupla de gesso cartonado de 15 *mm* + 13 *mm*;

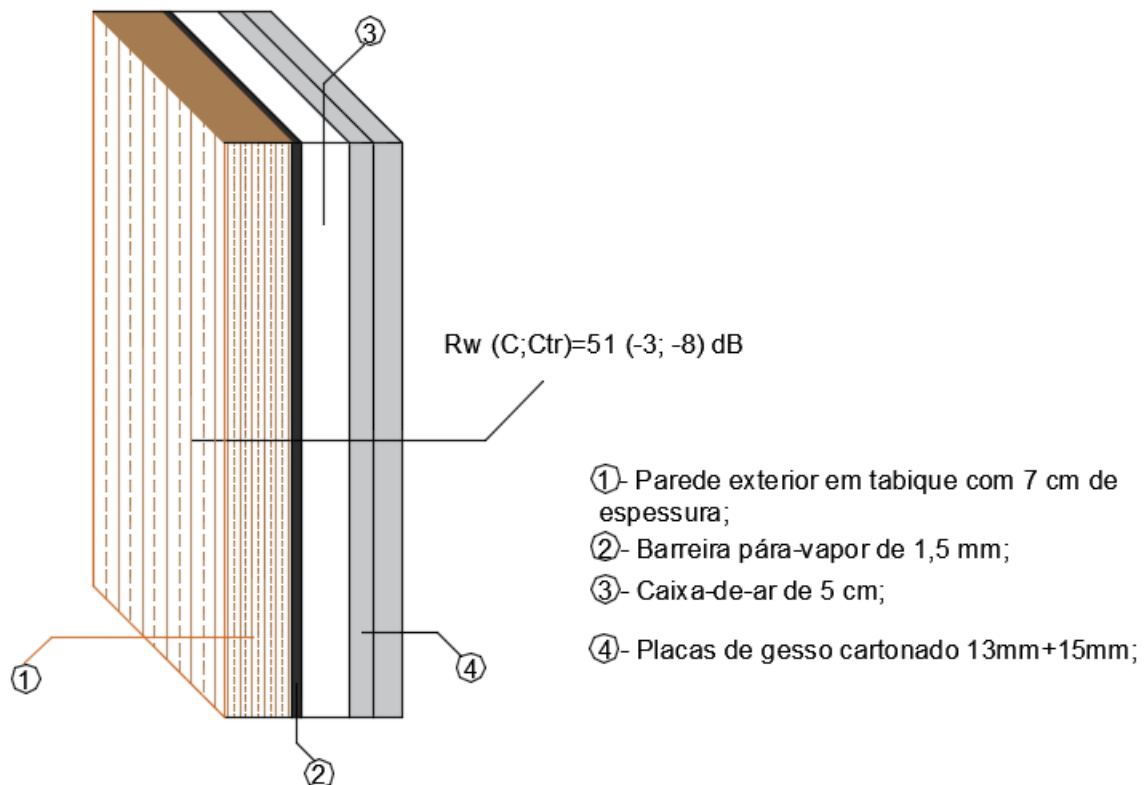


Figura 32 - Solução de reabilitação de parede exterior em tabique, sendo que o tabique corresponde ao exterior e a placa de gesso cartonado ao interior;

Através do programa de cálculo automático AISLA 3.01, quantifica-se que:

$$Rw = 51 (-3; -8)dB$$

4.9.1.3 Paredes interiores

No caso das paredes interiores existem vários casos condicionantes a analisar, que são:

- Paredes interiores entre fracções adjacentes;
- Parede divisória entre quartos ou zonas de estar, e vias de comunicação comuns;
- Parede divisória entre habitações e zonas de comércio (situação corrente da zona em estudo, zona histórica do Porto);

As paredes interiores típicas da zona histórica do Porto são, como anteriormente referido, essencialmente em tabique, com espessuras a variar entre os $[7 - 10]$ *cm*, será apresentado de seguida, soluções leves para cada um destes casos condicionantes. Interessa também referir que para a primeira situação, divisórias entre edifícios adjacentes, é necessário respeitar um limite de $D_{nT,w} \geq 50dB$; na segunda situação, divisórias entre quartos ou zonas de estar e vias de circulação comuns, $D_{nT,w} \geq 48dB$; e divisórias entre edifícios de habitação e zonas de comércio, $D_{nT,w} \geq 58dB$.

4.9.1.3.1 Paredes interiores entre frações adjacentes:

Solução de Reabilitação

- Tabique 7 a 10 cm;
- Lã de rocha 45 mm
- Duas placas de Gesso Cartonado 13 + 15 mm;

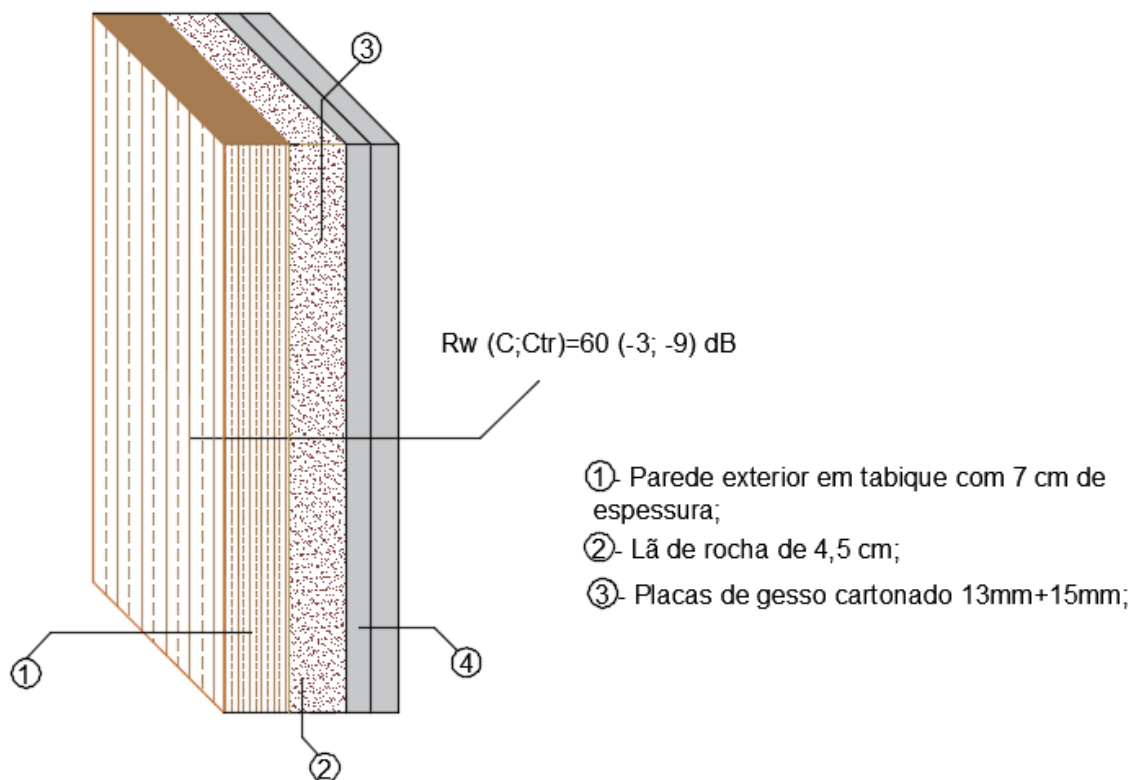


Figura 33 - Solução de parede em tabique interior, sendo que o tabique corresponde à divisória do compartimento recetor e as placas de gesso ao interior desse mesmo compartimento;

Através do programa de cálculo automático AISLA 3.01, quantifica-se que:

$$R_w = 60dB$$

4.9.1.3.2 Paredes divisórias entre quartos ou zonas de estar e vias de comunicação comum

Solução de reabilitação

Tabique 7 *cm*;

Betuminosa de 4 *mm*;

Lã mineral de 45 *mm*;

Duas placas de gesso cartonado 13 + 15 *mm*;

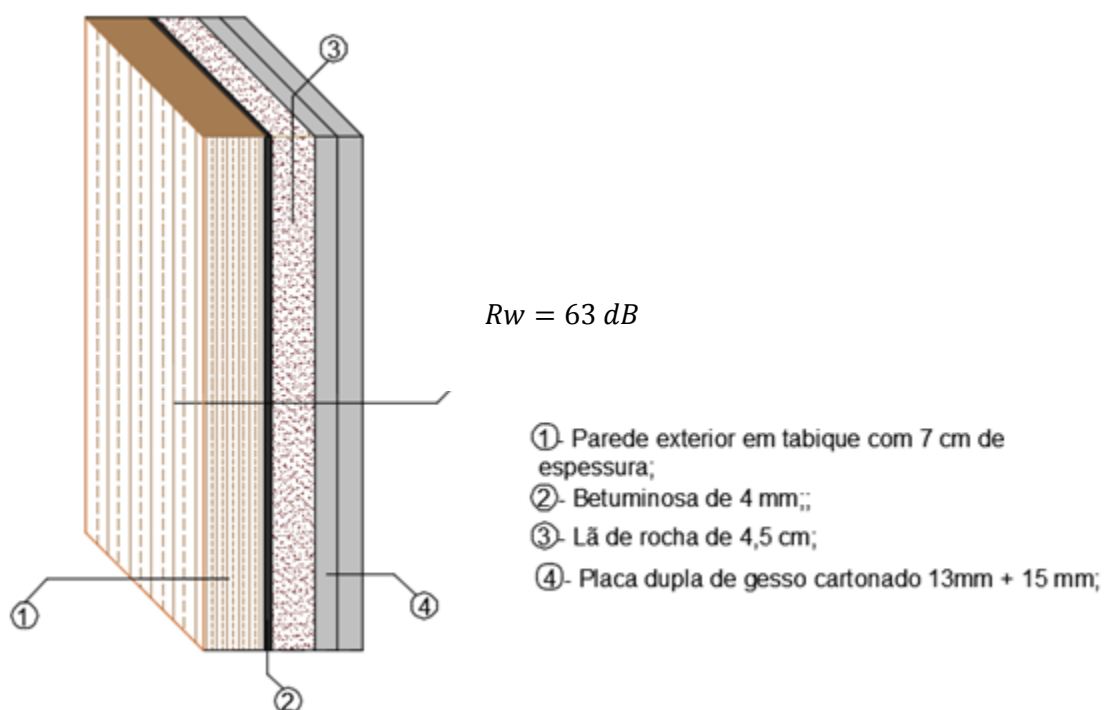


Figura 34 - Solução de reabilitação de parede em tabique interior, sendo que o tabique corresponde à divisória do compartimento recetor e as placas de gesso ao interior desse mesmo compartimento;

Através do programa de cálculo automático AISLA 3.01, quantifica-se que:

$$R_w = 63 \text{ dB}$$

Solução Melhorada:

Tabique 7 *cm*;

Betuminosa de 4 *mm*;

Lã de rocha de 50 *mm*;

Duas placas de gesso cartonado 13 + 15 *mm*;

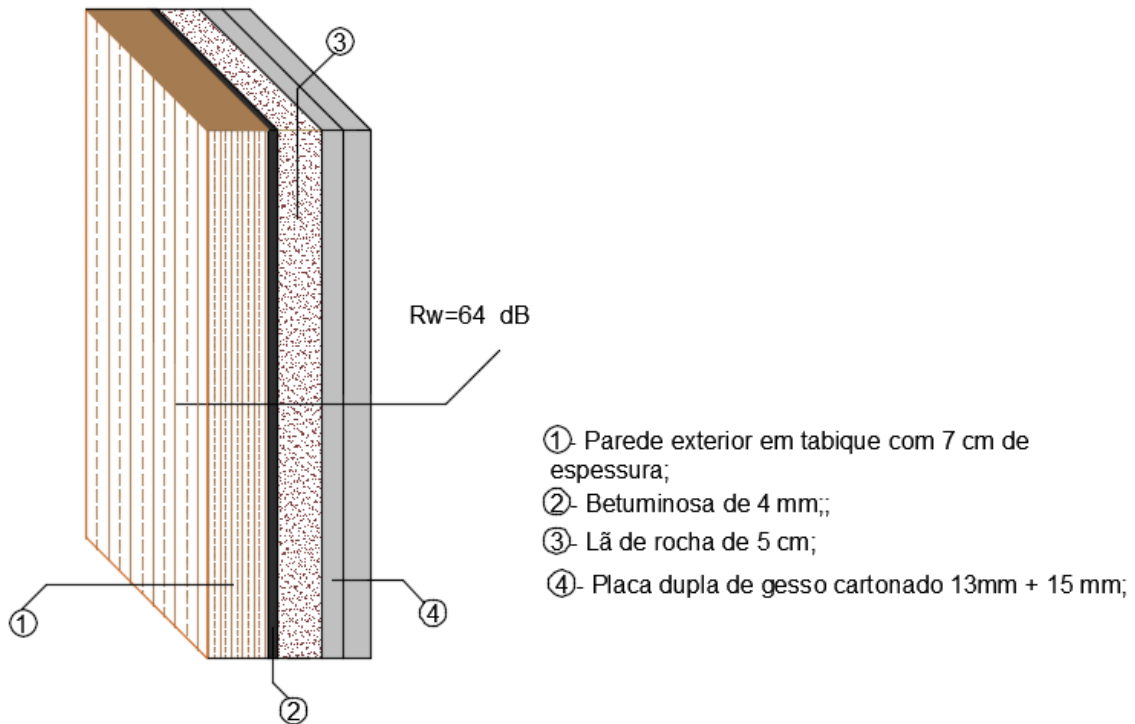


Figura 35 - Solução de reabilitação melhorada de parede em tabique interior, sendo que o tabique corresponde à divisória do compartimento receptor e as placas de gesso ao interior desse mesmo compartimento;

Através do programa de cálculo automático AISLA 3.01, quantifica-se que:

$$R_w = 64 \text{ dB}$$

4.9.1.3.3 Divisórias entre edifícios de habitação e zonas de comércio

Geralmente esta situação é considerada no caso de pavimentos e tectos, no entanto, também é possível encontrar este tipo de solução em habitações colectivas, em que as paredes do hall entrada do edifício são adjacentes a uma zona de comércio, às vezes até mais particularmente, paredes de caixa de escadas.

Solução de Reabilitação

- Tabique 7 *cm*;
- Betuminosa de 4 *mm*;
- Lã de rocha 50 *mm* + 50 *mm*;
- Placa dupla de gesso cartonado 13 *mm* + 15 *mm*;

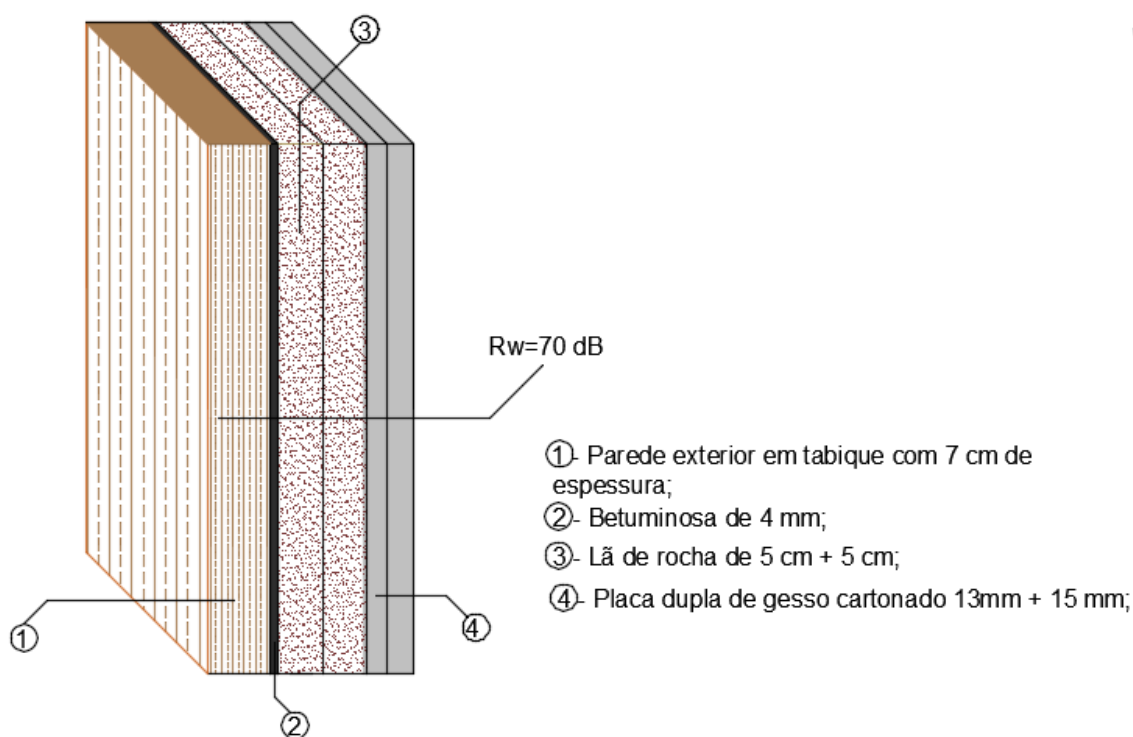


Figura 36 - Solução de reabilitação de parede em tabique interior, sendo que o tabique corresponde à divisória do compartimento recetor e as placas de gesso ao interior desse mesmo compartimento;

Através do programa de cálculo automático AISLA 3.01, quantifica-se que:

$$R_w = 70 \text{ dB}$$

4.9.1.3.4 Vãos interiores

Em relação às janelas, se existirem no interior, a solução a aplicar poderá passar pela mesma solução apresentada para o exterior, já que apresentam as mesmas características.

O mesmo não acontece com as portas, pois, as portas interiores, são, habitualmente, em madeira e apresentam uma espessura inferior. Nestas situações, uma possível solução, será, simplesmente, substituir por uma porta com uma espessura ligeiramente superior, melhorando as condições de ruído, não esquecendo que, numa fase inicial, a solução poderá passar pela mesma solução apresentada nos vãos exteriores, isto é, vedação de frinchas. No caso de não ser o suficiente para cumprir a legislação, ou o suficiente para o proprietário, passa-se, desta forma, para a substituição.

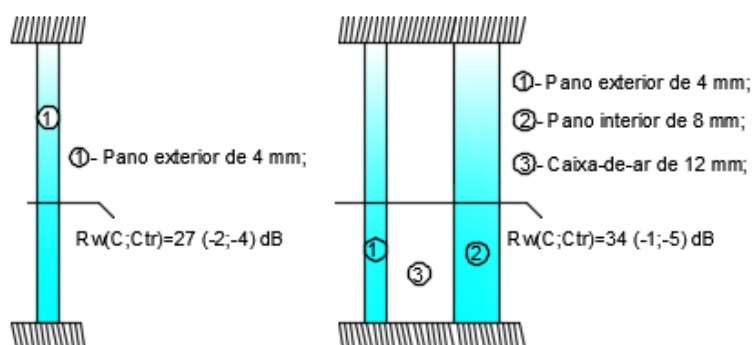


Figura 37 – Vidro simples e solução de reabilitação com vidro duplo, partindo do exterior, pano 1, para o interior, pano 2;

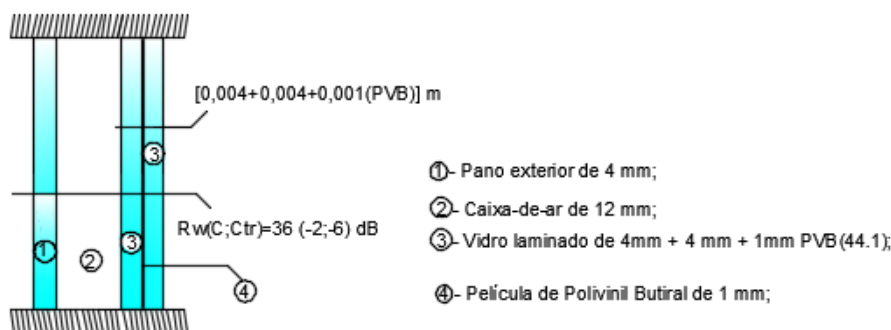


Figura 38 - Solução de reabilitação com vidro duplo laminado;

4.9.1.4 Tetos e Coberturas

Nestes elementos construtivos, a regulamentação não apresenta uma exigência específica, no entanto, estando sujeitos a ruídos aéreos, será coerente respeitar o limite estabelecido, em que, para envolvente exterior, índice de isolamento sonoro a ruídos aéreos, $D_{2m,nT,W} \geq 33dB$, estando interligado à cobertura; $D_{nT,w} \geq 50dB$, para frações adjacentes; $D_{nT,w} \geq 48dB$, entre quartos ou zonas de estar e vias de circulação comum e, por fim, $D_{nT,w} \geq 58dB$ entre quartos ou zonas de estar e zonas de serviços ou comércio.

Em qualquer um destes casos, a solução de isolamento passará por aplicação de tecto falso, mais simples numas situações do que noutras.

No caso de existirem vãos de cobertura, a solução poderá passar pelo reforço dos mesmos, desde vidros a caixilharias e vedação de frinchas. [24]

4.9.1.4.1 Teto adjacente à cobertura

- Madeira de pinho de 25 mm de espessura
- Betuminosa de 4 mm de espessura;
- Apoios anti vibráticos,
- Caixa -de - ar de 120 mm,
- Perfis para teto falso;
- Lã mineral (rocha) com 40 mm de espessura;
- Dupla placa de Gesso cartonado com 13mm + 15mm de espessura;

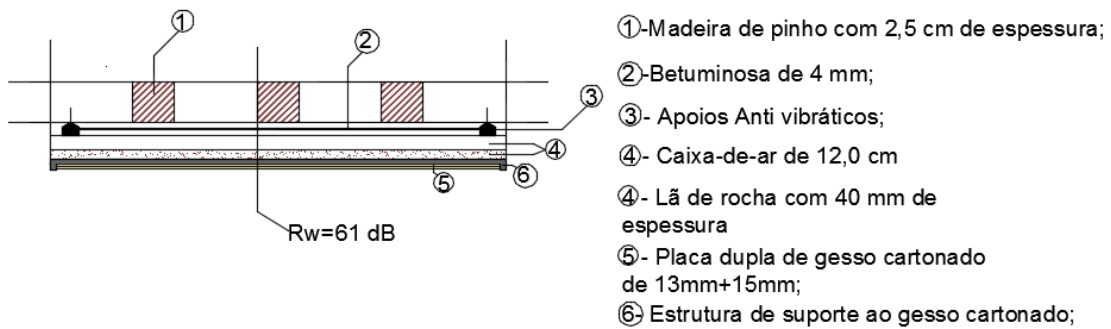


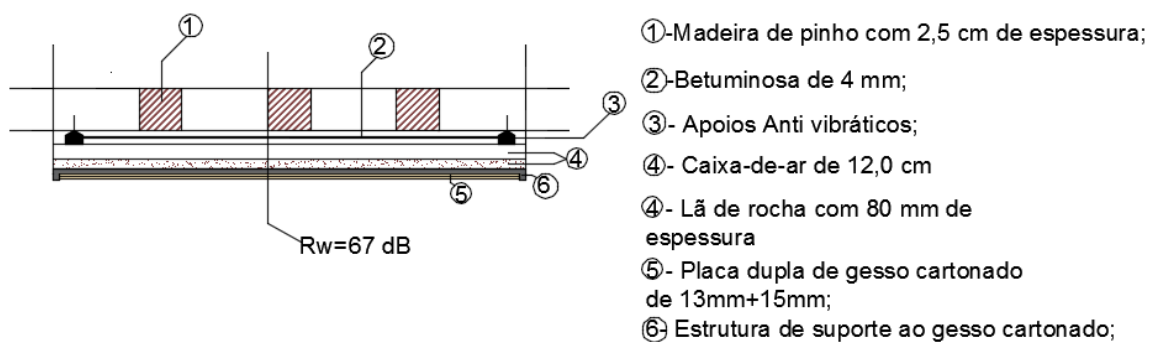
Figura 39- Solução de Reabilitação de teto adjacente à cobertura;

Através do programa de cálculo automático AISLA 3.01, quantifica-se que:

$$R_w = 61 \text{ dB}$$

4.9.1.4.2 Tetos entre habitações adjacentes

- Madeira de pinho de 25 mm de espessura;
- Apoios anti vibráticos,
- Betuminosa de 4 mm de espessura;
- Caixa -de - ar de 120 mm
- Perfis para teto falso;
- Lã mineral (rocha) com 80 mm de espessura
- Placa de gesso cartonado de 13 mm + 15 mm;

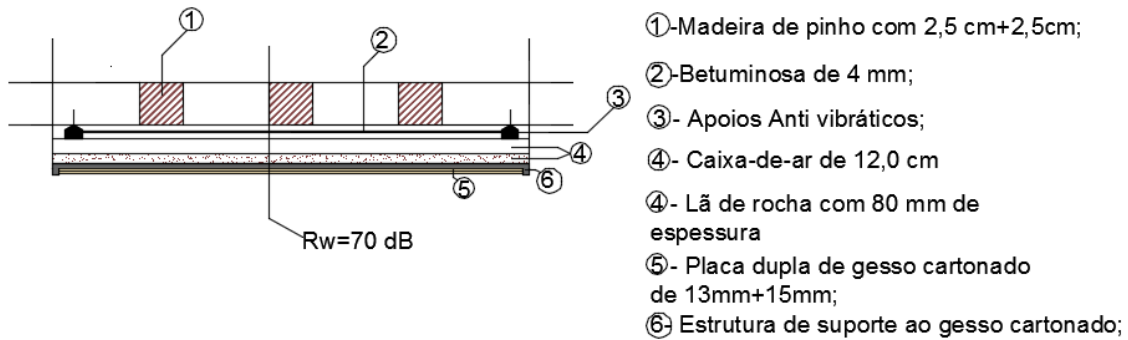


Através do programa de cálculo automático AISLA 3.01, quantifica-se que:

$$R_w = 67 \text{ dB}$$

4.9.1.4.3 Tetos entre zonas de estar ou quartos e zonas de comércio

- Madeira de pinho de 25mm + 25 mm de espessura;
- Membrana acústica alta densidade com 4 mm de espessura;
- Apoios anti vibráticos;
- Perfis para teto falso;
- Caixa -de - ar de 120 mm;
- Lã mineral com 80 mm de espessura;
- Placa dupla de gesso cartonado de 13 + 15 mm;



Através do programa de cálculo automático AISLA 3.01, quantifica-se que:

$$R_w = 70 \text{ dB}$$

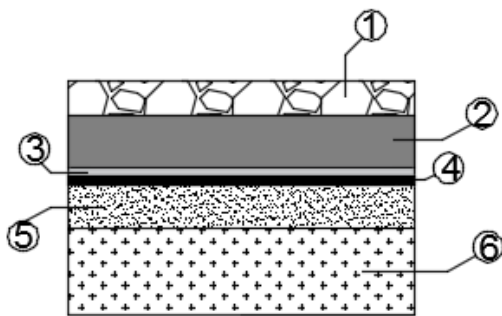
Em relação às coberturas, apesar de não apresentarem exigências é possível fazer algumas alterações quando é objectivo é melhorar o seu desempenho. Essas alterações podem ser feitas ao nível de: Vãos de cobertura; Chaminés; Saídas de “couretes” ou outros atravessamentos;

- No que refere aos vão de cobertura, a solução poderá passar por vedação de frinchas de elementos verticais, e substituição de caixilharias.
- Às saídas de coretes ou outros atravessamentos, aplica-se a solução desenvolvida no subcapítulo de “couretes”, à partida, resolve o problema de ruído.
- Em relação às chaminés, a solução poderá ser, revestir o troço final da chaminé com cerca de 1,5 m de comprimento, com material fonoabsorvente com espessura $\geq 25 \text{ mm}$. O material fonoabsorvente pode ser, por exemplo, lã de rocha revestida com véu anti desagregante de elevada resistência ao desgaste.

4.9.1.5 Pavimentos

4.9.1.5.1 Pavimento térreo

- Revestimento em madeira, placas de pedra ou lajeado de granito;
- Camada de betonilha com espessura $\geq 6\text{ cm}$;
- Filme de polietileno expandido de 2 mm ;
- Barreira pára vapor $1,5\text{ mm}$;
- Camada de regularização com 5 cm de espessura;
- Caixa de brita de espessura $\geq 15\text{ cm}$;



①- Revestimento em placas de pedra; (madeira, ou lajeado de granito);

②- Camada de betonilha com 6 cm de espessura;

③- Filme de polietileno expandido de 2 mm ;

④- Barreira pára vapor de $1,5\text{ mm}$ de espessura;

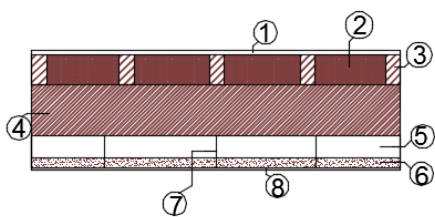
⑤- Camada de regularização de 5 cm de espessura;

⑥- Caixa de brita de 15 cm de espessura;

Figura 40 - Exemplo de Solução de reabilitação de pavimento térreo;

4.9.1.5.2 Pavimento intermédios entre edifícios de habitação: $L'_{nT,W}(dB) \leq 60$

- Soalho com 20 mm de espessura;
- Vigas secundárias de secção de 0,08 x 0,18 (m²)
- Granulado de cortiça com [2 – 14]mm de espessura;
- Vigas principais [0,15 x 0,20]m²;
- Caixa-de-ar 12 cm;
- Lã de rocha com 80 mm de espessura;
- Perfis para teto falso;
- Placa de gesso cartonado de 15 mm + 13 mm;



①-Soalho com espessura de 20 mm;

②-Granulado de cortiça com [2 - 14 mm] de espessura;

③-Vigas secundárias;

④-Vigas principais;

⑤-Caixa-de-ar de 12 cm;

⑥-Lã de rocha de 80 mm;

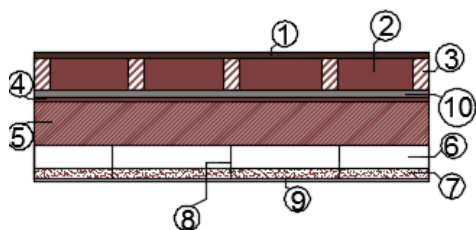
⑦-Perfis de suporte para teto falso;

⑧-Placa dupla de gesso cartonado 13mm+15mm;

4.9.1.5.3 Pavimentos intermédios entre zonas de comércio e edifícios de habitação [25]:

$$L'_{nT,W}(dB) \leq 50$$

- Soalho com 20 mm de espessura;
- Granulado de cortiça com [2 – 14]mm de espessura;
- Vigas secundárias de secção 0,08 x 0,18 (m²)
- Manta acústica de 4 mm;
- Placa OSB com 2 mm de espessura;
- Vigas principais de secção [0,15 x 0,20]m²;
- Caixa – de – ar de 12 cm;
- Lã de rocha com 80 mm de espessura;
- Perfis para teto falso;
- Placa dupla de gesso cartonado de 15 mm + 13 mm;



①-Soalho com espessura de 20 mm;

②-Granulado de cortiça com [2 - 14 mm] de espessura;

③-Vigas secundárias;

④-Placa OSB com 2mm de espessura;

⑤-Vigas principais;

⑥-Caixa-de-ar de 12 cm;

⑦-Lã de rocha de 80 mm;

⑧-Perfis de suporte para teto falso;

⑨-Placa dupla de gesso cartonado 13mm+15mm;

⑩-Manta acústica betuminosa de 4 mm;

Figura 41 - Solução de reabilitação de pavimento intermédio em madeira;

4.9.1.5.4 Pontos Singulares

No caso de nos encontrarmos numa situação de pavimento intermédio deparamo-nos com uma situação muito condicionante, que se designam, geralmente, por pontos singulares, pois, por muito bem isolada acusticamente que estejam as paredes e pavimentos em questão, o facto de não se considerar esta situação pode quebrar o isolamento aplicado. Como tal, de forma a evitar que isso aconteça, é necessário um reforço extra em torno deste ponto, criar uma descontinuidade estrutural de paredes. [26]

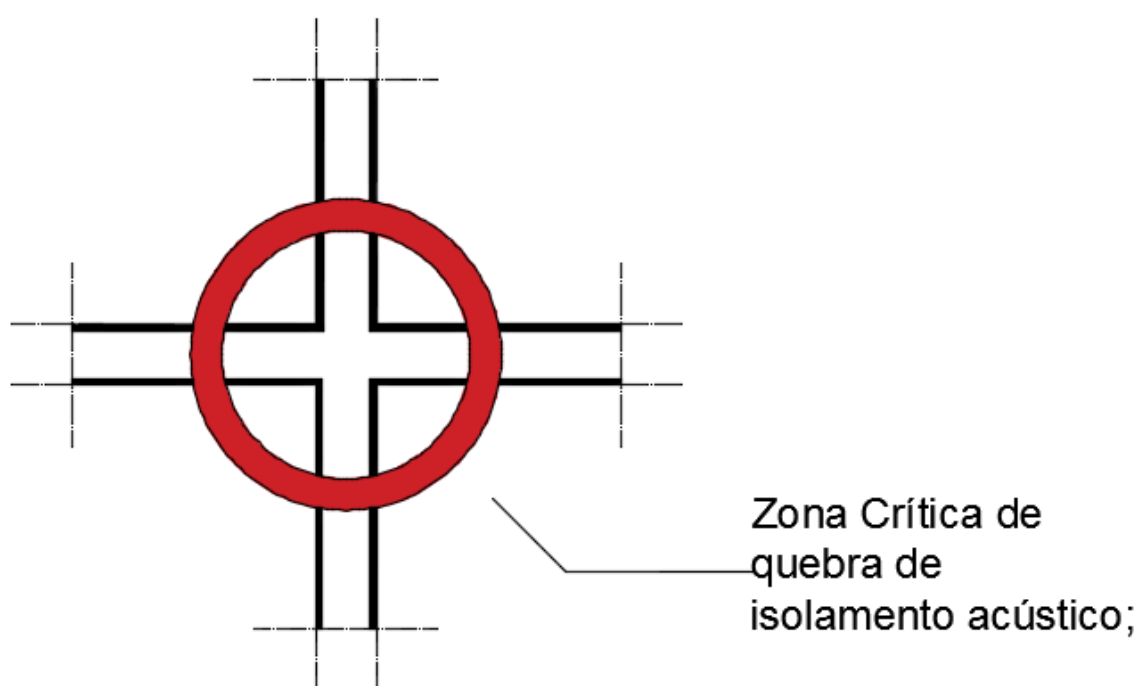


Figura 42 - Figura Exemplificativa de ponto singular;

No sentido de reforçar essas situações, apresenta-se a seguinte solução possível:

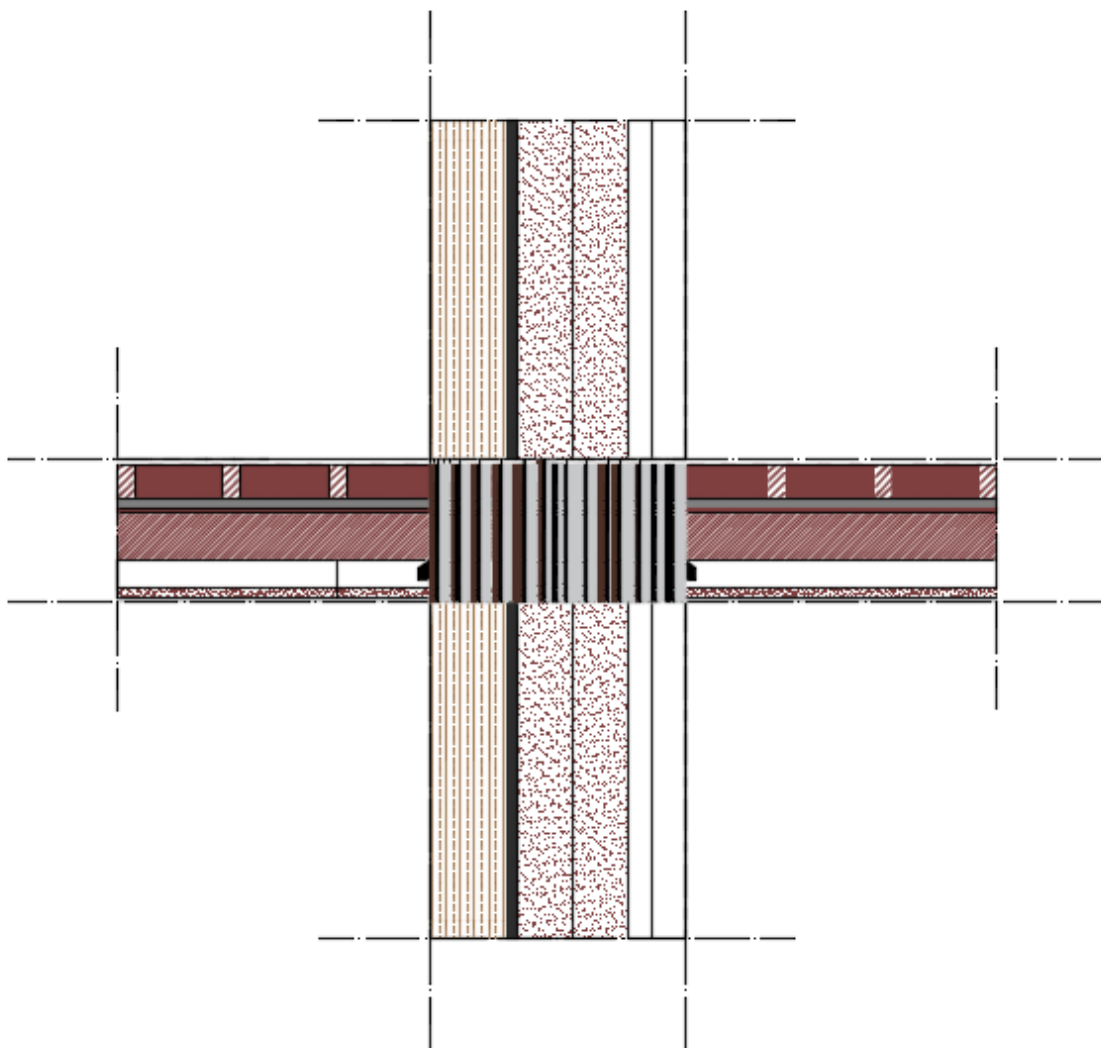


Figura 43 - Solução de reforço de isolamento sonoro em pontos singulares;

- Placas de gesso cartonado;
- Membranas acústicas Betuminosas de 4 mm cada;
- Placas de aglomerado de cortiça de 10 mm ;

Como se pode verificar na figura em cima apresentada, o isolamento deve preencher toda a zona em causa, evitando, desta forma, que haja quebra de isolamento pela continuidade dos elementos. Esta possível solução deverá aplicada debaixo do pavimento, no seu sentido perpendicular.

Considerando que todas as vibrações se transmitem ao edifício, é necessário desenvolver soluções que minimizem a ressonância, isto é, a vibração de um corpo rígido quando atingido por uma onda sonora. [26]

4.9.1.6 “Couretes”

As couretes trata-se de mais um caso de pontos fracos de isolamento que se encontram, habitualmente em casa de banho e cozinhas, dever-se-á portanto, proceder ao seu reforço interior com material absorvente. [6]

Deve-se proceder à abertura para o interior da “courete”, fechando-a depois com o mesmo tipo de material, colocar isolamento à volta dos tubos formando uma espécie de rolhão com uma extensão de 1 m junto ao tecto e 1 m junto ao pavimento, ou, se possível, em toda a extensão da “courete”. O material de isolamento a colocar poderá ser, por exemplo, lã de rocha. [6]

A solução apresentada anteriormente, retirada do “Guia para Reabilitar” da auditoria do Engenheiro Diogo Mateus, acompanhada com a imagem em baixo apresentada, com o intuito de a tornar mais perceptível. [6]

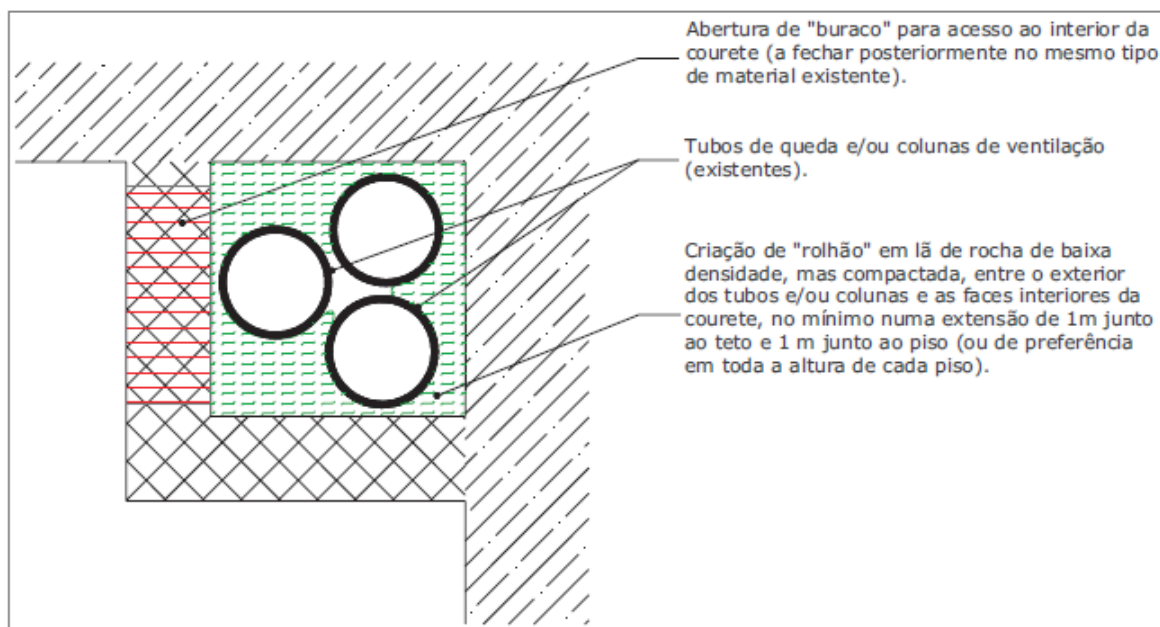


Figura 44 - Esquema com solução de reforço de couretes; [27]

4.9.1.7 Outros casos particulares

4.9.1.7.1 Ruído de equipamento

Em geral, os edifícios de habitação da zona histórica do Porto não são dotados de equipamento, pois são edifícios bastante antigos, logo serão instalados de novo, procurando apenas instalar esses equipamentos de forma a corresponder aos limites estabelecidos na legislação.

Caso se encontre alguma situação em que já exista equipamento, a solução de reabilitação passará por reforçar o elemento de separação, ou, caso se trate de uma situação com elevado ruído, deverá ser reforçada toda a envolvente do espaço emissor onde se encontra o equipamento. [10]

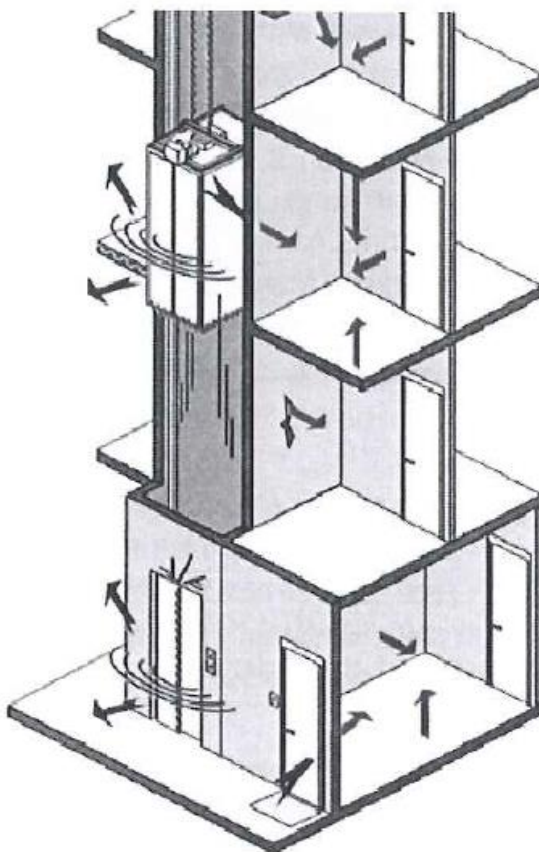


Figura 45 - Propagação e radiação de ruído devido a equipamentos de carácter colectivo [10]

Nas situações onde se encontrem transmissões através de vibrações a solução mais simples será a aplicação de apoios anti vibráticos.

Interessa referir que o ruído de equipamentos está associado ao funcionamento de unidades ou sistemas colectivos, por exemplo, sistemas de águas residuais, elevadores, bombas supressoras, unidades de climatização colectiva, entre outros

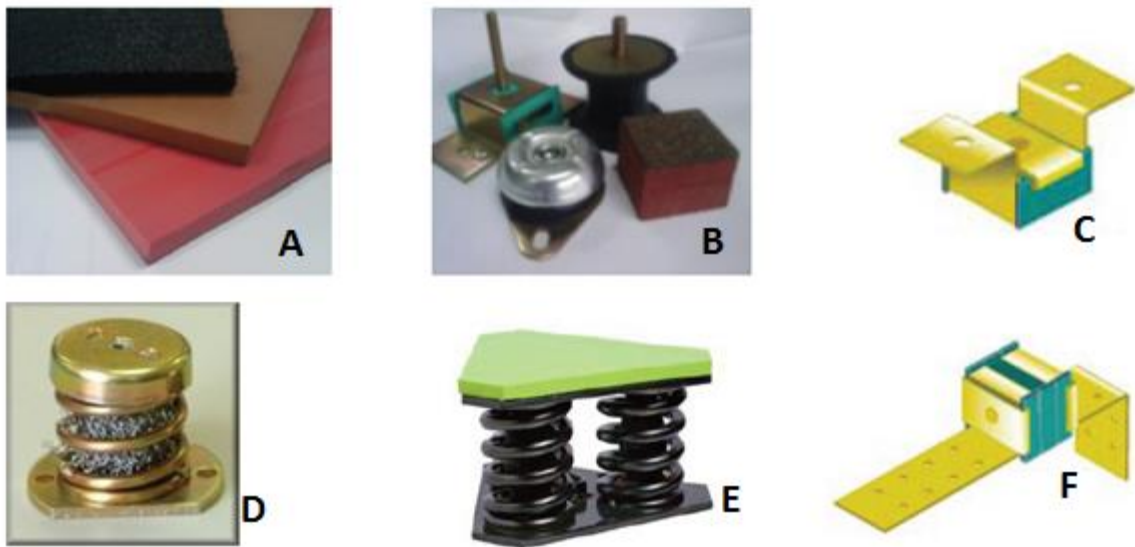


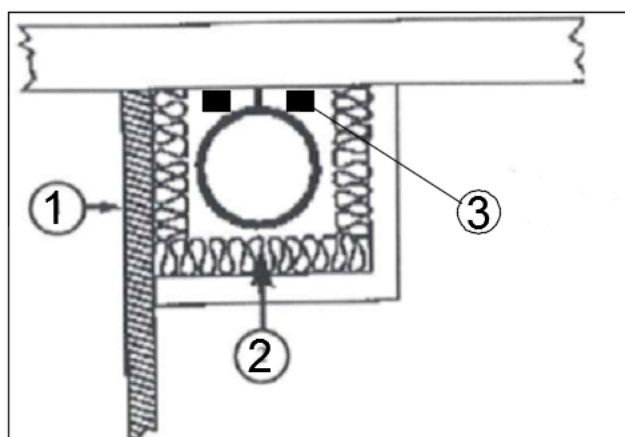
Figura 46 - Possíveis soluções construtivas para condicionamento vibráticos no suporte de equipamentos mecânicos; [6]

- A) Material de absorção para o reforço da envolvente;
- B) Exemplos de apoios anti vibráticos
- C) Exemplos de apoios anti vibráticos
- D) Exemplos de apoios anti vibráticos para equipamentos;
- E) Exemplos de apoios anti vibráticos para equipamentos;
- F) Exemplos de apoios anti vibráticos

4.9.1.7.2 Instalações de escoamento de águas residuais

Os sistemas colectivos de escoamento de águas residuais é um dos casos nos quais se devem ter cuidados essenciais, já que, nos processos de reabilitação, consistem em um dos problemas mais comuns, essencialmente, problemas associados aos tubos de queda.

Uma possível solução de reabilitação para atenuar o ruído provocado por estas instalações de saneamento é a colocação de um material fonoabsorvente sonoro no tubo de queda, e um apoio anti vibrático, tal como se demonstra na seguinte figura. [10]



- ①- Alvenaria de tijolo de 7 cm;
- ②- Material absorvente sonoro;
- ③- Apoios anti vibráticos;

Figura 47 - Solução de reabilitação de tubos de queda; [10]

Apresenta-se de seguida uma solução apresentada pelo Doutor Engenheiro Jorge Patrício, cedida pela empresa IMPERALUM, sistema de protecção de instalações de escoamento e abastecimento de água.

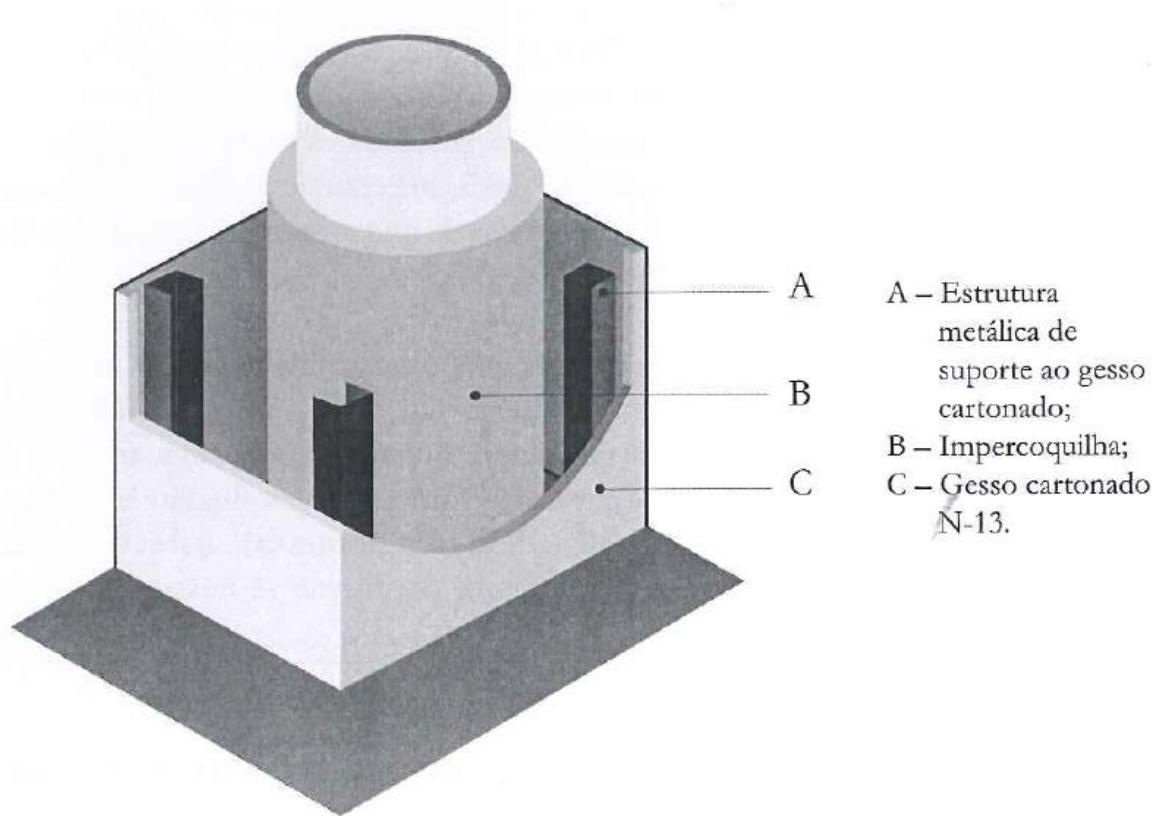


Figura 48 - Sistema de protecção de instalações de saneamento e de abastecimento de águas; [10]

4.9.2 PRINCÍPIOS GERAIS DE APLICAÇÃO NA REABILITAÇÃO

4.9.2.1 Paredes exteriores

No que diz respeito às paredes de fachada em alvenaria granito, à partida, não será necessário fazer grandes correcções acústicas, já que a própria pedra, deverá corresponder ao mínimo exigível e eventualmente mais.

Tendo em conta que a espessura deste elemento construtivo poderá variar entre os 28 e 80 cm, o reforço passará por substituir vãos exteriores, no caso de menor espessura, pois, tratando-se de grande espessura não será necessário qualquer correcção acústica. Nos casos em que se deve ter mais atenção serão paredes exteriores em alvenaria tijolo e em tabique.

[24]

4.9.2.1.1 Paredes exteriores em alvenaria tijolo ou em tabique:

Tratando-se de alvenaria tijolo, será necessário tratamento acústico, como tal deve ter-se em conta o seguinte:

- O preenchimento de juntas de argamassa de assentamento, isto é, evitar que fiquem mal preenchidas;
- Aplicação da camada de reboco ou estuque, ou seja, ter o cuidado de que esta não seja demasiado delgada;
- O isolamento deve ser colocado pelo interior melhorando as suas capacidades acústicas;
- Face interior rebocada ou com painel de gesso cartonado; [24]
- O preenchimento da juntas de assentamento e o emprego de um revestimento (reboco) $\geq 2 \text{ cm}$ é fundamental; [16]

4.9.2.2 Paredes interiores

As divisórias dos edifícios antigos de habitação do porto são, habitualmente, em tabique, exigindo, em termos de acústica, algumas alterações, desta forma, os cuidados a ter serão mais exigentes.

O reforço de grande parte das paredes divisórias passará por colocar gesso cartonado pelo interior das mesmas, isto é, considerando, por exemplo, divisão entre uma habitação e uma via de circulação comum horizontal, o interior corresponderá ao interior da habitação. Como tal deve ter-se em conta o seguinte:

- Reforçar o isolamento nas zonas onde se encontram tomadas eléctricas; [24]
- Colocar atenuadores de som nas condutas de ventilação com continuidade entre compartimentos adjacentes; [24]
- Se o tecto falso não estiver dotado de isolamento acústico, ou se este for fraco, a divisória não deverá ser prolongada até ao mesmo; [24]
- Apesar de não existir qualquer exigência nas divisórias de um mesmo espaço, deve ser estudado o comportamento acústico entre eles devido ao deficiente isolamento a ruídos aéreos e de percussão entre essas divisórias e os respectivos pavimentos; [16]

4.9.2.3 Tectos

No caso de reforço de isolamento acústico com tectos falsos deve-se:

- Evitar a aplicação uma suspensão rígida à laje de tecto; [24]
- Aplicar um material de absorção do som na caixa de ar; [24]
- As lâmpadas ou sistemas de ventilação não devem ser embutidas nos tectos, por podem criar deficiências no isolamento; [24]

4.9.2.4 Pavimentos

No que diz respeito aos pavimentos, dever-se-ão ter os seguintes cuidados:

- Evitar o desenvolvimento de pontos rígidos, pelo embrenhar dos fluidos do betão ou da argamassa pela membrana resiliente (em juntas ou rasgos);
- Evitar o desenvolvimento de pontos rígidos junto dos rodapés e/ou soleiras de portas pelo cimento cola de fixação de revestimento;
- Evitar continuidade entre compartimentos, quando se tratam de divisórias leves, deverá ser interrompida sendo, desta forma é possível melhorar o comportamento acústico;
- Sendo o pavimento flutuante em madeira o emprego de mebranas muito finas, facilmente atravessadas por areias em em fase de obra, que não são limpas antes da aplicação do pavimento flutuante, ou seja, antes de aplicar a membrana resiliente, a laje deverá ser bem limpa evitando este problema;
- Caso se use vinílico como elemento de correcção, a base deste deverá ser flexível;
- No caso de pavimentos sobre desvãos sanitários, pavimentos intermédios, e ligação de pavimentos intermédios e paredes, devem ser estudados os comportamentos acústicos, quer a ruidos aéreos, quer de percussão, e as respectivas transmissões marginais nas ligações estruturais de forma minimizar esse problema, mesmo quando se trata destas situações no interior da habitação; [16]

A reabilitação deste elemento construtivo, mais concretamente, pavimentos intermédios, implicará um aumento de carga nas estruturas de madeira existente , ou seja, o reforço deverá ser acompanhado por um estudo estrutural. [16]

4.9.2.5 Coberturas

No caso das coberturas deve ser avaliado o comportamento a ruídos aéreos provenientes do exterior, ruídos de percussão causados, por exemplo, pela água da chuva, e ruído de equipamento que podem eventualmente ser instalados no desvão, quando se trata de uma cobertura inclinada. [16]

- Deverá ser realizada uma inspeção geral à estrutura de suporte, substituindo os elementos que não apresentem a resistência necessária, em que a madeira a utilizar deverá estar devidamente seca possibilitando o seu uso;
- Deve haver o cuidado de se efectuar uma limpeza dos elementos que constituem a cobertura e possivelmente aplicar um tratamento de preservação;
- Deve ser aplicada uma barreira pára-vapor, caso se prevejam condensações no seu interior;
- A aplicação de um teto falso com placas de gesso cartonado deverá ser fixo mecanicamente à estrutura de suporte, juntamente com uma barreira pára-vapor, caso se preveja essa necessidade, ou seja, quando se prevê dificuldade em garantir ventilação entre o revestimento da cobertura, telhas cerâmicas, e o suporte;

4.9.2.6 Vãos interiores e exteriores

4.9.2.6.1 Portas

Na aplicação ou substituição de portas deve-se ter em atenção o seguinte:

- Aplicar um dispositivo de vedação de soleira;
- Aplicar o aro com selagem suficiente;
- Deverão ser colocados nas portas apoios, por exemplo, em borracha de forma a controlar o ruído provocado com a abertura a fecho das mesmas; [24]

4.9.2.6.2 Vãos envidraçados e caixilhos

- Tratando-se de edifícios com valor histórico, o retauo destes elementos, caixilharias, deverá ser baseado em técnicas e materiais tradicionais com o objectivo de manter esse mesmo valor;
- No caso dos vãos envidraçados, há que ter o cuidado de, tratando-se normalmente de aplicação de vidros duplos, não colocar dois panos iguais, ou seja, a espessura dos panos deve ser diferente, remetendo para a teoria do modelo multicamada explicada anteriormente;
- No caso de colocação de caixilhos de correr, poderão existir algumas frinchas que deverão ser devidamente isoladas;
- Na correcção de caixilhos deverá ser aplicado um aglomerado de espuma de poliuretano flexível, melhorando o seu desempenho acústico;
- Compatibilizar o desempenho acústico com a eventual necessidade de aplicar grelhas de admissão de ar; [24]

4.10 MATERIAIS DE ISOLAMENTO ACÚSTICO

Nesta dissertação, todas as soluções apresentadas têm como princípio a aplicação de materiais leves, já que, tratando-se de obras de reabilitação, a aplicação de materiais pesados pode por em causa o comportamento estrutural dos edifícios. De seguida é feita uma pequena apresentação dos materiais mais empregues nas soluções anteriormente apresentadas.

4.10.1 GESSO CARTONADO

Gesso cartonado, pladur, ou gesso laminado, é um material, impermeável ao som, muito usado na construção civil por todas as vantagens que apresenta, e o mais usado no desenvolvimento das soluções de isolamento acústico nesta dissertação. A sua superfície porosa e elasticidade permitem a sua utilização como isolante acústico aplicados a praticamente todos os elementos construtivos.

É um material resistente e seguro, eficiente, económico, eficaz e versátil, contribuindo para criar uma atmosfera saudável e conforto acústico no interior dos edifícios. [28]

As placas de gesso cartonado podem ser de três tipos: as placas padrão, placas hidrófugas ou resistentes ao fogo.

A placa em gesso cartonado padrão, a mais corrente, é um cartão de cor branca, ou marfim, com miolo de gesso e aditivos. Pode apresentar espessuras que variam entre $[6 - 23]mm$, alturas $[60 - 120]cm$, comprimentos entre $[180 - 360]cm$, e peso $[5 - 18]kg/m^2$.

Tratando-se de placas gesso hidrófugas, placas de cor verde, silicone como aditivo ao gesso e papel kraft hidrofugante. Estas podem apresentar espessuras de $[12,5 - 16]mm$, larguras de $120 cm$, comprimentos de $[250 - 300]cm$ e peso médio de $[10,5 - 16,5]kg/m^2$.

Por dim, placas de gesso cartonado resistentes ao fogo, com cartão de cor cor-de-rosa, com fibras de vidro na constituição do gesso. Estas podem apresentar espessuras de [12,5 – 15]mm, larguras de 120 cm, comprimentos de [250 – 300]cm e peso médio de [11 – 13]kg/m²



Figura 49 - Exemplo de placas de gesso cartonado; [28]

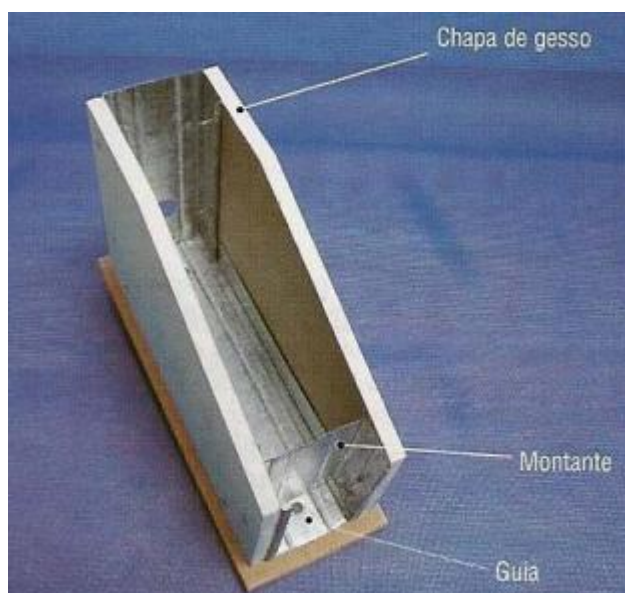


Figura 50 - Exemplo de uma parede em gesso cartonado com respectivo fixação em chapas de aço galvanizado;

4.10.2 LÃ DE ROCHA

A lâ de rocha é um material composto por fibras que originam de basalto aglomerado com resina sintética. É mais um óptimo exemplo de solução acústica graças à sua estrutura fibrosa que possui elevados índices de absorção sonora, sendo possível a sua utilização na redução do ruído na fonte, por tratamento acústico, ou como auxiliar transmissão de som entre ambientes. Após alguma pesquisa conclui-se que apresenta um nível de absorção sonora na ordem dos 90%. Para além de isolante acústico, também é usado como isolante térmico, é incomburente, não poluente, entre outros. Pode ser aplicado em coberturas, tetos, divisórias, pavimentos e fachadas. [29] este material pode ser apresentado sob a forma de placa ou manta. No caso de tratar de uma manta de lâ de rocha, para isolamento de superfícies horizontais, esta pode apresentar espessuras na ordem de, 60 a 100 mm, 50 a 100 mm, 40 a 60 mm e 30 a 60 mm. Para isolamento de elementos verticais, pode apresentar espessuras de 60 a 100mm. Tratando-se de uma placa de lâ de rocha, esta que poderá ser aplicada em pavimentos, para ruídos de impacto, pode apresentar espessuras de 20 a 50 mm, com gesso cartonado, 30 a 50 mm. [30]



Figura 51 - Exemplo de Lã de rocha; [29]

4.10.3 MEMBRANAS ACÚSTICAS BETUMINOSAS

A membrana acústica utilizada no desenvolvimento das soluções desta dissertação é uma membrana betuminosa auto-adesiva, com um dos lados revestido por um filme de polietileno, atuando acusticamente como um material anti-ressonante apresentando uma espessura de 2 mm ou 4 mm . É uma membrana obtida a partir de um betume modificado para conseguir um melhor rendimento acústico [31]. Este material é, habitualmente, aplicado em elementos rígidos, como placas de gesso cartonado, ou entre elementos de mola, por exemplo, lã de rocha. [31]

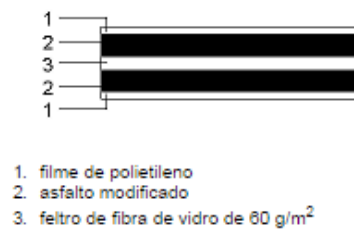
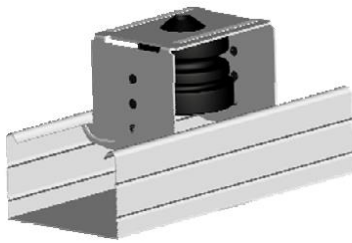


Figura 52 - Exemplo de imagem de M.A.D. 4, [31];

4.10.4 SISTEMAS ANTI-VIBRÁTICOS

Para além do ruído, os equipamentos emitem vibrações, casos nos quais, é essencial a instalação de apoios anti vibráticos, por exemplo, nos elevadores, portas de garagem automáticas, entre outros. Estes sistemas têm como principal objetivo a redução sonora aos sons de impacto nos pavimentos



;

Figura 53 - Apoios antivibráticos com sistema de fixação no perfil metálico do tecto falso;

Figura 54 – Apoios anti vibráticos em piso de madeira

4.10.5 FIBRA DE COCÔ

A fibra de coco trata-se de um material de origem biológica e 100% natural. Devido às suas características apresenta elevada rigidez, dureza. Para além de ser um material com óptimas características acústicas, também serve de isolante térmico.



Figura 55 - Exemplo de fibras de cocô; [32];

4.10.6 GRANULADO DE CORTIÇA

O granulado de cortiça é uma solução de enchimento leve com propriedades de aplicação em betonilhas, pavimentos e paredes duplas interiores. [33]. Apresenta uma durabilidade ilimitada, boa resistência mecânica e impermeabilidade à água. Para além de bom comportamento como isolante térmico apresenta também ótimas características acústicas.



Figura 56 - Exemplo de granulado de cortiça; [34]

4.10.7 PLACA OSB

Nas placas OSB, “Oriented strand board”, são construídas com várias espécies de madeira, choupo e pinheiro, as espécies mais usados no fabrico de estruturas lameladas coladas. Apresenta durabilidade e resistência aos ataques biológicos e podem ser usadas para constituir o revestimento estrutural .



Figura 57 - Exemplo de placa de OSB;

4.11 GUIA TERMOS DE REFERÊNCIA DE ISOLAMENTO ACÚSTICO NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

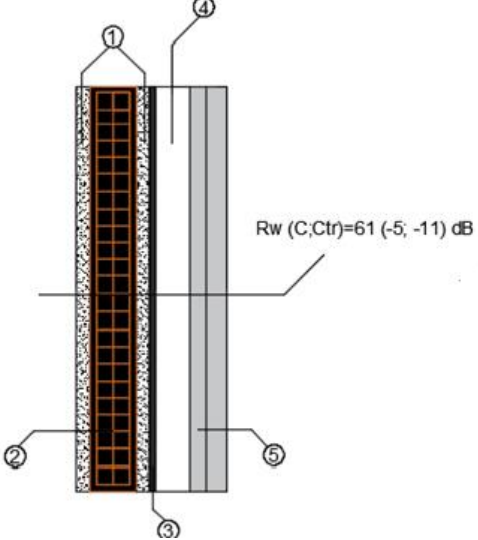
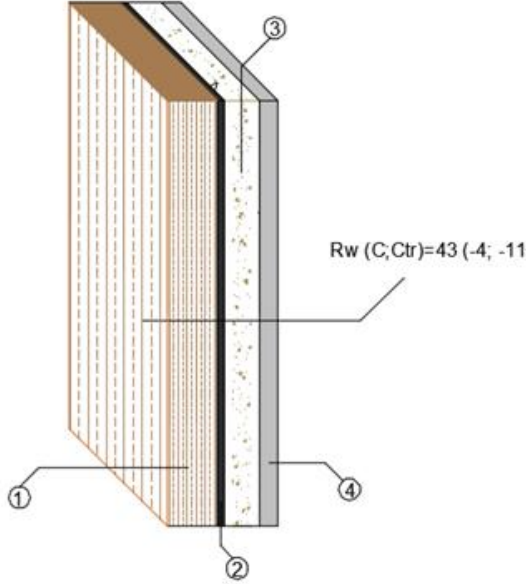
Faz parte principal desta dissertação, o objetivo de desenvolver soluções de isolamento acústico a aplicar na reabilitação de edifícios, soluções essas apresentadas anteriormente e que se encontram de forma resumida no quadro-resumo apresentado de seguida. Tal como referido ao longo deste trabalho, o tema principal, como indica o próprio título deste capítulo, é a elaboração de um guia de referência. Guia esse que representa um manual de boas práticas, que servirá de apoio ao processo de intervenção da construção civil, reabilitação de edifícios. Não sendo este um manual prescritivo, mas apenas um exemplo de referência do que poderá ser aplicado, concentra-se em medidas simples e perceptíveis ao utilizador comum, baseado em princípios básicos e necessários neste processo, por vezes complexo, a reabilitação.

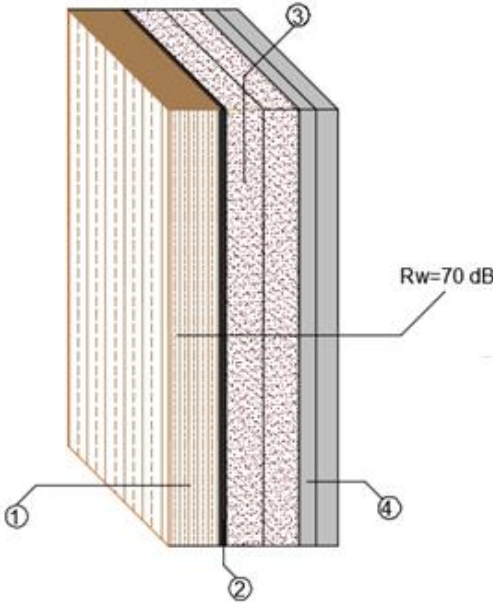
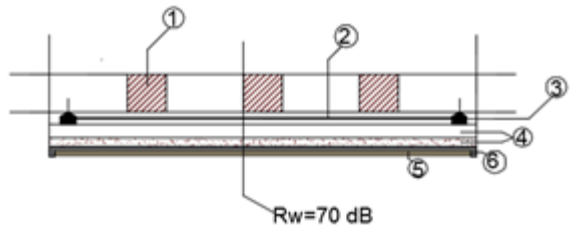
O emprego de soluções tradicionais também têm a sua razão, pelo facto, de que, soluções modernas e elaboradas poderão ser, ainda, alvo de estudo e pesquisa, logo o possível desconhecimento do seu comportamento com o passar dos anos, poderá trazer inconvenientes nos edifícios reabilitados.

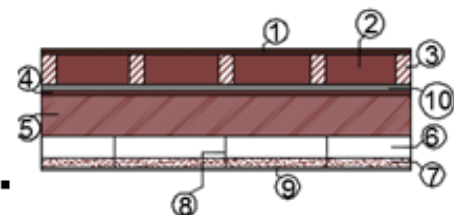
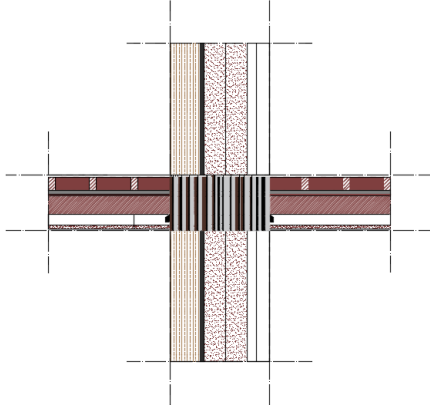
As soluções apresentam-se desenvolvidas, essencialmente com o acréscimo de elementos por camadas, com elementos leves, sendo o intuito, não provocar alterações estruturais inadequadas, ou seja, tratando-se, por exemplo, de um pavimento a reabilitar em madeira, manter o elemento base, a madeira, e não substituir por pavimento em betão, por exemplo.

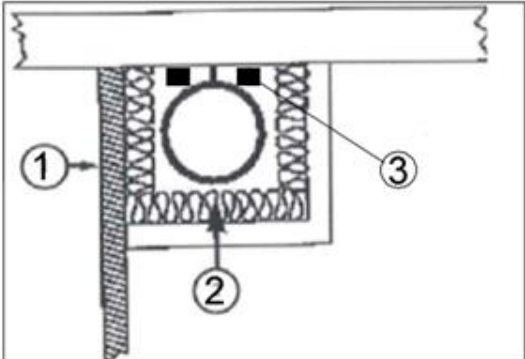
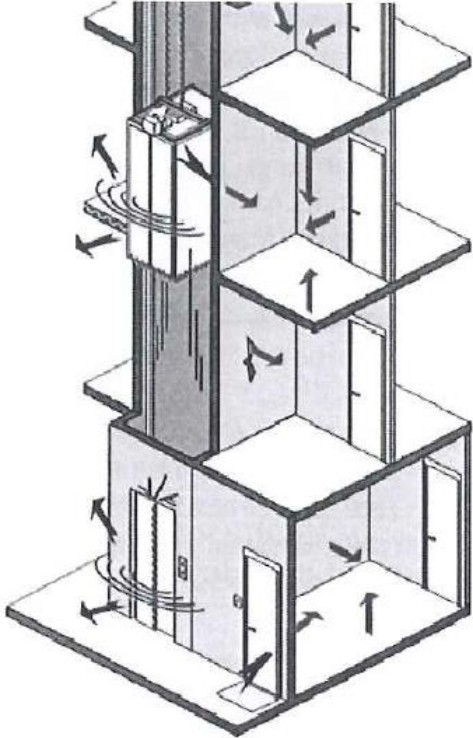

Apresenta-se, de seguida, um quadro resumo das soluções elaboradas na tentativa de facilitar a consulta dessas mesmas soluções.

Quadro 8 - Soluções propostas;

Elemento construtivo	Solução de reabilitação
<p>Paredes exteriores em alvenaria de tijolo</p>  <p>Rw (C,Ctr)=61 (-5, -11) dB</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pano de alvenaria tijolo [70 – 110] mm; • Barreira pára vapor [1,5 – 2,0] mm • Caixa-de-ar 50 mm • Duas placas de Gesso Cartonado: 15 mm + 13 mm; • Reboco em ambos as faces ≥ 2 cm;
<p>Paredes exteriores em tabique</p>  <p>Rw (C,Ctr)=43 (-4, -11) dB</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Parede em tabique [7 – 10]cm; • Barreira pára vapor [1,5 – 2,0] mm • Placa de fibra de côco de 25 mm; • Placa de Gesso Cartonado: 13 mm;

Elemento construtivo	Solução de reabilitação
<p>Parede interior em tabique</p>  <p>O diagrama mostra uma seção transversal de uma parede interior em tabique. A camada 1 é o tabique. A camada 2 é uma camada de betuminosa. A camada 3 é uma camada de lã de rocha. A camada 4 é uma placa dupla de gesso cartonado. O valor de isolamento acústico é indicado como $R_w = 70 \text{ dB}$.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tabique 7 cm; • Betuminosa de 4 mm; • Lã de rocha $50 \text{ mm} + 50 \text{ mm}$; • Placa dupla de gesso cartonado $13 \text{ mm} + 15 \text{ mm}$;
<p>Teto em madeira de pinho</p>  <p>O diagrama mostra uma seção transversal de um teto em madeira de pinho. A camada 1 é a madeira de pinho. A camada 2 é a membrana acústica alta densidade. A camada 3 são os apoios anti vibráticos. A camada 4 são os perfis para teto falso. A camada 5 é a caixa de ar. A camada 6 é a lã mineral. A camada 7 é a placa dupla de gesso cartonado. O valor de isolamento acústico é indicado como $R_w = 70 \text{ dB}$.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Madeira de pinho de $25 \text{ mm} + 25 \text{ mm}$ de espessura; • Membrana acústica alta densidade com 4 mm de espessura; • Apoios anti vibráticos; • Perfis para teto falso; • Caixa de ar de 120 mm; • Lã mineral com 80 mm de espessura; • Placa dupla de gesso cartonado de $13 + 15 \text{ mm}$;

Elemento construtivo	Solução de reabilitação
<p data-bbox="408 300 561 331">Pavimentos</p> 	<ul data-bbox="821 300 1468 1131" style="list-style-type: none"> • Soalho com 20 mm de espessura; • Granulado de cortiça com $[2 - 14]mm$ de espessura; • Vigas secundárias de secção $0,08 \times 0,18 (m^2)$ • Manta acústica de 4 mm; • Placa OSB com 2 mm de espessura; • Vigas principais de secção $[0,15 \times 0,20]m^2$; • Caixa – de – ar de 12 cm; • Lã de rocha com 80 mm de espessura; • Perfis para teto falso; • Placa dupla de gesso cartonado de 15 mm + 13 mm;
<p data-bbox="370 1276 600 1308">Pontos Singulares</p> 	<ul data-bbox="821 1355 1468 1668" style="list-style-type: none"> • Reforço do ponto singular com placas de gesso cartonado, membranas acústicas betuminosas e aglomerado de cortiça preenchendo toda a zona de maior índice de transmissões marginais;

Elemento construtivo	Solução de reabilitação
<p data-bbox="193 327 775 360">Instalações de escoamento de águas residuais</p> 	<ul data-bbox="858 450 1369 696" style="list-style-type: none"> • Alvenaria de tijolo de 7 cm; • Material absorvente no exterior do tubo; • Apoios anti vibráticos;
<p data-bbox="331 909 639 943">Ruído de equipamentos</p> 	<ul data-bbox="858 909 1369 1155" style="list-style-type: none"> • Reforçar envolvente de separação; • Reforçar toda a envolvente do espaço emissor; • Apoios anti vibráticos; 

4.12 NÍVEIS DE QUALIDADE

O Doutor Engenheiro Jorge Patrício, desenvolveu um método com o objetivo de se avaliar a qualidade acústica dos edifícios, designado de, Método LNEC para avaliação e classificação da qualidade acústica dos edifícios habitacionais. Este método assenta em três avaliações principais, Vizinhança, Edifício e Habitação. Vizinhança é uma avaliação realizada ao ambiente exterior próximo do edifício. Em relação ao edifício, é feita uma avaliação de acordo com a disposição dos compartimentos deste, quartos ou zonas de estar e vias de circulação comum, por exemplo. Por último, o elemento Habitação, no qual é estudado o desempenho das soluções construtivas adotadas, incluindo o ruído de equipamentos coletivos. [35]

De uma forma mais sucinta e perceptível, o método assenta nos seguintes princípios:

- Ruído do ambiente exterior;
- Isolamento sonoro entre espaços, e entre estes e o exterior;
- Ruído de equipamentos de uso coletivo;
- Tempos de reverberação de espaços;
- Distribuição de espaços dentro do edifício;

Estando estes, interligados com as seguintes realidades físicas:

- Vizinhança;
- Edifício;
- Habitação; [35]

Interessa ainda referir, que o método apresentado, está de acordo com a regulamentação em vigor, ou seja, Regulamento Geral do Ruído, RGR, e RRAE, Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios. [35]

Às três realidades físicas mencionadas, é atribuída uma pontuação, de acordo com a avaliação realizada, em cada uma especificamente, e, no final, faz-se uma avaliação geral, pelo seguinte índice, NAA, designado por, Nível de Avaliação Acústica, e com a seguinte forma:

$$NAA = \frac{\sum_i W_i Pt_i}{\sum_i W_i}$$

NAA – Nível de Avaliação Acústica;

W_i – factores de ponderação das realidades físicas em avaliação consideradas: Vizinhança (0,25); Edifício (0,1); Habitação (0,65);

Pt_i – número de pontos atribuídos a cada realidade física em avaliação; [35]

- $NAA \geq 2,5$, TIPO A, qualidade muito boa assegurando padrões de conforto acústico de alto nível de exigência;
- $1,5 \leq NAA < 2,5$, TIPO B, boa qualidade assegurando padrões de nível de qualidade num patamar superior ao exigível regularmente;
- $1,0 \leq NAA < 1,5$, TIPO C, assegurando o disposto na regulamentação referente;
- $NAA < 1,0$, TIPO D, não cumpre o mínimo exigível na legislação, não assegurando sequer o comportamento acústico adequado; [35]

No sentido de garantir os limites estabelecidos, deverão ser realizados ensaios em laboratórios acreditados e integrados no Sistema Português de Qualidade. Ensaios estes que podem ser feitos antes da implementação de uma solução num edifício já existente, e confirmados com a presente metodologia para obter conformidade com os dados recolhidos nos ensaios. [35]

Na presente metodologia, para conformidade com o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, deverá obedecer-se aos seguintes critérios:

- Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado, $D_{2m,nT,w}$, ou $D_{nT,w}$, deve ser acrescido o factor I (3dB);
- No índice de isolamento a sons de percussão, $L'_{nT,w}$, deverá ser diminuído do factor I (3dB);
- O valor obtido para o índice de avaliação, $L_{Ar,nT'}$, deverá ser diminuído do factor I (3dB);
- O valor obtido para o tempo de reverberação, deverá ser diminuído do factor I , sendo $I = 25\%$ do limite regulamentar; [35]

4.12.1.1 Elementos de avaliação do nível físico Vizinhança

Tal como já explicado anteriormente, o ruído do ambiente exterior ao edifício tem um peso bastante importante na classificação, logo, no que diz respeito à vizinhança, a avaliação baseia-se em dois pontos fundamentais, sendo o primeiro, disposições gerais, e o segundo, nível sonoro do ruído do ambiente exterior, medido em L_{den} , e L_n :

Quadro 9 - Disposições gerais;

Está especificada a existência de mapa de ruído?	V=2 Pontos; F=0 Pontos;
Não existem na envolvente próxima zonas potencialmente ruidosas (vias de tráfego, parques industriais, espaços de diversão, etc.)?	V=4 Pontos; F=0 Pontos;
A integração ambiental do edifício assenta em classificação administrativa de zonamento acústico?	V=3 Pontos; F=1 Pontos;

No segundo ponto deste factor físico, nível sonoro do ruído ambiente exterior, existem duas situações possíveis, escolhendo-se a mais aplicável, a) ou b), considerando o diferencial mais elevado em relação ao valor regulamentar:

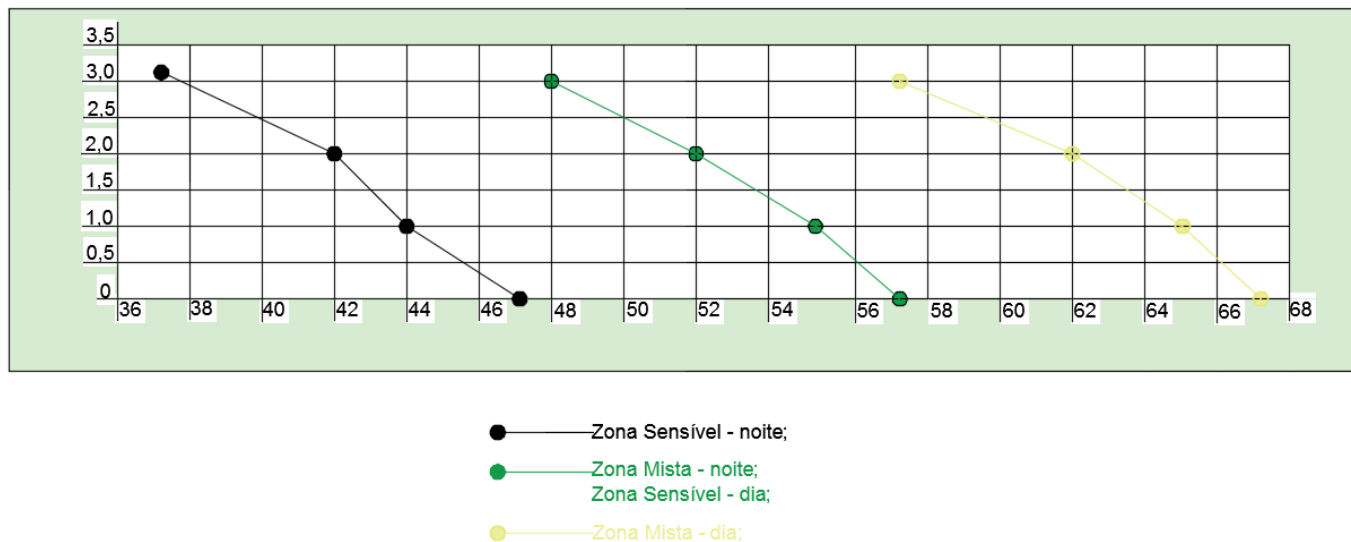


Figura 58 –Nível sonoro do ruído ambiente exterior medido (Lden, Ln), situação a); [35]

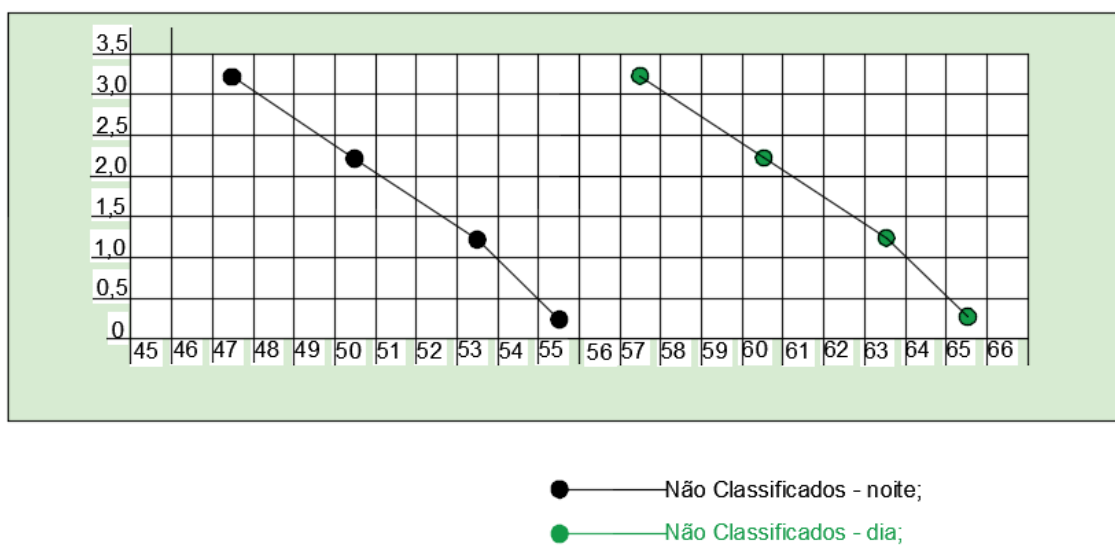


Figura 59 - Nível sonoro do ruído ambiente exterior medido (Lden, Ln), situação b); [35]

Nota: A pontuação do elemento de avaliação corresponde à média aritmética dos sub-elementos que o compõem.

Avaliação global de Vizinhança:

$$Vizinhança = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Pt_i$$

N – número de elementos considerados para a avaliação, neste caso, $N = 2$;

4.12.1.2 Elementos de avaliação do nível físico Edifício

Neste caso é necessário ter em consideração que as condições de disposição e acessos de circulação sejam adequados e assegurem as condições acústicas do edifício. Como tal, seguem-se dois elementos de avaliação: Disposições gerais e condicionamento acústico dos espaços e dos acessos comuns; Disposições específicas de arquitectura disposição relativa interior.

Quadro 10- Disposições gerais e condicionamento acústico dos espaços e acessos comuns;

Na entrada do edifício são consideradas exigências de isolamento a sons aéreos relativamente ao exterior?	V=2 Pontos; F=1 Ponto;
Nos espaços e acessos comuns foram consideradas disposições visando a redução do tempo de reverberação?	V=5 Pontos; F=0 Ponto;
Nos espaços e acessos comuns foram consideradas disposições de condicionamento de ruído de equipamentos de carácter colectivo?	V=3 Pontos; F=0 Ponto;
Nos espaços e acessos comuns foram consideradas disposições de condicionamento de ruído de instalações e escoamento de águas e esgotos?	V=3 Pontos; F=1 Ponto;
Foi providenciada a análise relativa ao isolamento sonora da cobertura, quando há corpo de escadas de acesso colectivo?	V=2 Pontos; F=0 Ponto;

Quadro 11 - Disposições específicas de arquitetura disposição relativa interior;

Não existe sobreposição vertical e compartimentos com vocação de utilização diferenciada (exemplo: salas sobre quartos)?	V=2 Pontos; F=0 Ponto;
Não existe na adjacência a horizontal e compartimentos principais com vocação de utilização diferenciada (exemplo:cozinhas anexas a quartos)?	V=2 Pontos; F=0 Ponto;
Os compartimentos de dormir e estar não se encontram virados para zonas potencialmente ruidosas (exemplo: vias de tráfego terrestre)?	V=3 Pontos; F=1 Ponto;
Não existem no edifício espaços comerciais, e serviços ou diversões nocturna?	V=5 Pontos; F=0 Ponto;

Avaliação global do Edifício:

$$Edifício = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Pt_i$$

N – número de elementos considerados para a avaliação, neste caso, $N \leq 9$;

4.12.1.3 Elemento de avaliação do nível físico Habitação:

Em relação à habitação, é necessário que esta corresponda ao necessidades dos seus habitantes, garantindo que apresenta condições suficientes ao seu conforto, quer relativamente ao exterior, quer em relação às habitações e espaços envolventes, e ainda entre os espaços da própria habitação.

Nos elementos de avaliação deste nível físico, são considerados, para cada situação em específico, um fator de ponderação, considerando que no interior de um espaço, existem elementos de avaliação que contribuem mais para o conforto do que outros.

Quadro 12 - Fatores de ponderação dos elementos de avaliação;

Elemento de avaliação	1	2	3	4	5	6	7	8
Ponderação α_i	4	6	2	8	8	6	5	1

No sentido de se obter uma média energética dos valores de índice de comportamento acústico, já que o desempenho acústico das respectivas soluções construtivas dependem de parâmetros geométricos, condições de apoio, entre outros, considera-se o seguinte:

$$\text{Isolamentos: } I_{final} = -10 \log \left[\frac{1}{K} \sum_1^K 10^{-\frac{D_i}{10}} \right] dB$$

$$\text{Campo sonoro: } I_{final} = 10 \log \left[\frac{1}{K} \sum_1^K 10^{\frac{L_i}{10}} \right] dB$$

I_{final} – índice médio final;

D_i – isolamento da solução construtiva i ;

L_i – campo sonoro no espaço i ;

K – número de soluções construtivas consideradas;

Elementos de avaliação:

- 1) Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, entre o exterior e o interior do edifício;
- 2) Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, entre compartimentos de um fogo (emissão), e quartos ou zonas de estar de outro fogo (receção);
- 3) Índice de isolamento sonoro sons de condução aérea, padronizado, entre locais de circulação comum do edifício (emissão) e quartos ou zonas de estar dos fogos (receção);
- 4) Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão (emissão) e quartos ou zonas de estar de fogos (receção);
- 5) Índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado, no interior de quartos ou zonas de estar dos fogos (receção), proveniente de uma percussão normalizada exercida sobre pavimentos e outros fogos ou locais de circulação comum (emissão);
- 6) Índice de isolamento a sons de percussão, padronizado, no interior de quartos ou zonas de estar dos fogos (receção), proveniente de uma percussão normalizada exercida sobre pavimentos de locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão (emissão);

- 8) Nível de avaliação do ruído particular de equipamentos colectivos do edifício, tais como ascensores, grupos hidropressores, sistemas centralizados de ventilação mecânica, automatismos de portas de garagem, postos de transformação e escoamento de águas no interior dos quartos e zonas de estar dos fogos;
- 9) Índice de isolamento sonoro sons de condução aérea, padronizado, entre compartimentos de estar e dormir do mesmo fogo;

Avaliação global de Habitação:

$$Habitação = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i Pt_i}{\sum_{i=1}^N \alpha_i}$$

N – número de elementos considerados para a avaliação;

Pt_i - pontuação média atribuída a cada elemento;

α_i – ponderação correspondente;

A classificação considerada no nível de avaliação acústica, NAA, sendo este parâmetro o valor global do edifício, é a mesma para cada um dos elementos de nível físico, ou seja:

- $Vizinhança \geq 2,5$, TIPO A, qualidade muito boa assegurando padrões de conforto acústico de alto nível de exigência;
- $1,5 \leq Vizinhança < 2,5$, TIPO B, boa qualidade assegurando padrões de nível de qualidade num patamar superior ao exigível regularmente;
- $1,0 \leq Vizinhança < 1,5$, TIPO C, assegurando o disposto na regulamentação referente;
- $Vizinhança < 1,0$, TIPO D, não cumpre o mínimo exigível na legislação, não assegurando sequer o comportamento acústico adequado;

- *Edifício* $\geq 2,5$, TIPO A, qualidade muito boa assegurando padrões de conforto acústico de alto nível de exigência;
 - $1,5 \leq \textit{Edifício} < 2,5$, TIPO B, boa qualidade assegurando padrões de nível de qualidade num patamar superior ao exigível regularmente;
 - $1,0 \leq \textit{Edifício} < 1,5$, TIPO C, assegurando o disposto na regulamentação referente;
 - *Edifício* $< 1,0$, TIPO D, não cumpre o mínimo exigível na legislação, não assegurando sequer o comportamento acústico adequado;
-
- *Habitação* $\geq 2,5$, TIPO A, qualidade muito boa assegurando padrões de conforto acústico de alto nível de exigência;
 - $1,5 \leq \textit{Habitação} < 2,5$, TIPO B, boa qualidade assegurando padrões de nível de qualidade num patamar superior ao exigível regularmente;
 - $1,0 \leq \textit{Habitação} < 1,5$, TIPO C, assegurando o disposto na regulamentação referente;
 - *Habitação* $< 1,0$, TIPO D, não cumpre o mínimo exigível na legislação, não assegurando sequer o comportamento acústico adequado;

No sentido de se obter um nível de qualidade do TIPO A, poderá ser, por exemplo:

Vizinhança

Está especificada a existência de mapa de ruído?	F=0 Pontos;
Não existem na envolvente próxima zonas potencialmente ruidosas (vias de tráfego, parques industriais, espaços de diversão, etc.)?	V=4 Pontos;
A integração ambiental do edifício assenta em classificação administrativa de zonamento acústico?	F=1 Ponto;
Segundo Requisito, 2)	Pontuação=3
$Vizinhança = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Pt_i$	<i>Vizinhança = 2,3, TIPO B</i>

Edifício

Requisito	Resposta	Pontuação
1 a)	Sem resposta	Sem resposta
1 b)	Sem resposta	Sem resposta
1 c)	Sem resposta	Sem resposta
1 d)	Sem resposta	Sem resposta
1 e)	Sem resposta	Sem resposta
2 a)	Verdadeiro	2
2 b)	Verdadeir	2
2 c)	Verdadeir	3
2 d)	Verdadeir	5

$Edifício = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Pt_i = \frac{1}{4} \times (2 + 2 + 3 + 5)$	$Edifício = 3,0$; TIPOA
---	--------------------------

Habitação

Requisito	Resposta	Pontuação
1	35	2,8
2	Sem resposta	Sem resposta
3	Sem resposta	Sem resposta
4	Sem resposta	Sem resposta
5	Sem resposta	Sem resposta
6	Sem resposta	Sem resposta
7	Sem resposta	Sem resposta
8	42	1,8
$Habitação = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i Pt_i}{\sum_{i=1}^N \alpha_i} = \frac{(4 \times 2,8 + 1 \times 1,8)}{5}$		$Habitação = 2,6$; TIPO A

Avaliação Global (NAA):

$$NAA = \frac{\sum_i W_i Pt_i}{\sum_i W_i} = \frac{(0,25 \times 2,3 + 0,1 \times 3,0 + 0,65 \times 2,6)}{0,25 + 0,10 + 0,65}$$

$$NAA = 2,6; TIPO A$$

O exemplo anteriormente apresentado refere-se a uma moradia unifamiliar, localizada em Azeitão. Este exemplo encontra-se disponível no livro publicado, Método LNEC para avaliação e classificação da qualidade acústica de edifícios habitacionais, do Doutor Engenheiro Jorge Patrício. É apresentado nesta dissertação com o objectivo de demonstrar de que forma é realizada e calculada a avaliação, e para demonstrar de que forma os requisitos necessários influenciam o tipo de nível de exigência acústica.

Cada um destes factores, dependem de vários critérios que, só quando se trata de uma edifício em específico, são possíveis de definir, logo, apresenta-se apenas um exemplo no sentido de clarificar o método.

Esta metodologia permite que promotores, autoridades licenciadores e utilizadores finais, possam classificar, ou ter acesso a uma classificação, definida em três níveis complementares: Vizinhança, Edifício e Habitação. É uma metodologia de procedimento fácil e apresenta resultados adequados e compreensíveis ao cidadão comum. Pode ser aplicado a edifícios novos e edifícios antigos, na medida em que pode ser usado como método de previsão, em projeto, e como confirmação de classificação após a construção, ou reabilitação dos edifícios.

5 Projeto de Acústica

Um projecto de condicionamento acústico deverá ser estruturado em peças escritas e peças desenhadas, como a generalidade dos projectos.

As peças desenhadas devem constar de plantas, cortes, alçados e pormenores construtivos.

As peças escritas estruturam-se em memória descritiva e justificativa das soluções especificadas, referindo todos os processos e cálculos efectuados, condições técnicas de execução, mapa de tarefas e quantidade, e estimativa orçamental. [36]

As fases de um projecto de condicionamento acústico, semelhantes a qualquer outro projecto, passam pelo seguinte:

- Estudo prévio;
- Anteprojecto;
- Execução;
- Assistência técnica;

O estudo prévio trata-se de um processo interno, em que a acústica entra antes da concepção de arquitectura. O anteprojecto trata-se de um processo de licenciamento em que a acústica entra antes das especialidades. Na fase de execução, sendo igualmente um processo interno, a acústica acompanha as especialidades. [36]

As peças escritas podem ser desenvolvidas da seguinte forma:

- Introdução onde são referidos os aspectos gerais do projecto, o promotor, a equipa de projecto e os seus objectivos. Deve ser ainda incluído nesta introdução o preâmbulo técnico e os documentos analisados;
- Descrição da situação em estudo;
- Enquadramento legal e outros critérios propostos;
- Princípios de cálculo adoptados;

- Dimensionamento identificando as zonas tipo e notas de cálculo;
- Soluções construtivas especificadas e condições técnicas de execução;
- Estimativa orçamental;
- Conclusões;
- Equipa projectista;

As peças desenhadas devem constar de plantas e cortes onde são indicadas as zonas de intervenção e respectivos mapas exteriores de ruído, e, por fim, pormenores construtivos.

[36]

6 Conclusões

O objectivo desta dissertação incidiu na proposição de um *Guia de Termos de Referência de Isolamento Acústico na Reabilitação de Edifícios*, concretamente, nos edifícios da zona histórica do Porto, com o intuito de demonstrar que com alguma facilidade se podem obter valores compatíveis com as imposições regulamentares.

Compreende-se que os edifícios antigos da zona histórica do Porto, contemplam na sua constituição, maioritariamente, pedra de granito, alvenaria de tijolo e, em alguns casos, tabique, no exterior. Em relação ao interior verifica-se que todos os seus elementos são essencialmente em madeira, prevalecendo o tabique nas divisórias, e madeira de pinho nos pavimentos e tetos. Como tal, desenvolveram-se soluções de isolamento acústico possíveis de aplicar em todos esses elementos construtivos, soluções essas compatíveis com as normas e regulamentos em vigor ao referente processo de intervenção.

A madeira é o material predominantemente adotado nos elementos construtivos dos edifícios antigos da zona histórica do Porto, especialmente no interior. No que diz respeito ao comportamento acústico, é o material mais condicionante. Sabendo que este não apresenta um bom desempenho na acústica, devido à sua baixa massa e elevada flexibilidade, é de todo o interesse, implementar soluções de isolamento que contrariem esse efeito. Deste modo, foram empregues soluções essencialmente em: gesso cartonado, lã de rocha, fibra de côco, membranas acústicas betuminosas e aglomerado de cortiça, formando um modelo de multicamadas, soluções que, pela avaliação realizada através do programa de cálculo automático AISLA 3.01, apresentam um desempenho acústico elevado, numas situações, e razoáveis noutras, de acordo com o objectivo de cada uma das soluções desenvolvidas.

Para além da necessidade de um ambiente acústico confortável no interior dos edifícios, entende-se que a qualidade acústica no ambiente exterior à envolvente dos mesmos é um fator fundamental.

Como referido ao longo desta dissertação, o processo de reabilitação, consiste numa intervenção muito complexa. Nesta perspetiva qualquer uma das soluções apresentadas não dispensam de uma apreciação caso a caso.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Porto Vivo, SRU, *Reabilitação de Edifícios do Centro Histórico do Porto*.
- [2] RGR, *Regulamento Geral do Ruído*, 2007.
- [3] RRAE, *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios*, 2008.
- [4] V. Coias, *Inspecções e Ensaios na Reabilitação de Edifícios*, 2007.
- [5] J. Patrício, *Acústica nos Edifícios*, Lisboa: LNEC, 2003.
- [6] Diogo Mateus, *Acústica de Edifícios e Controlo de Ruído*.
- [7] P. Lança, *Acústica de Edifícios*, Escola Superior de Tecnologia e Gestão.
- [8] Jorge Patrício, Lisboa: LNEC, 2007.
- [9] E. I. 12354, *Building Acoustics - Estimation of acoustics performance of buildings from the performance of elements - Part 1: Airborne sound insulation between rooms*, Comité Europeu de Normalização, 2000.
- [10] Jorge Patrício, LNEC, 2010.
- [11] I. 11654, *Acoustics Sound absorbers for use in buildings - Rating of sound absorption*, 1997.
- [12] I. 717-1, *Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation;*, 2013.
- [13] Jesús Alba Fernández, *"Algoritmos de Modelado de Particiones Multicapas Para La predicción de Su Aislamiento Acústico a Ruído Aéreo"*, 2000.
- [14] J. A. Fernández, J. R. Soriano e F. H. García, *Grupo de Dispositivos y Sistemas Acústicos y Ópticos, DISAO*, Universitat Politècnica e València.
- [15] O. K. e S. Y., *"Transmission Loss of Multiples Panels Containing Sound Absorbing"*

Materials in a Random Incidence Field".

- [16] Vasco Peixoto de Freitas, *Manual de Apoio a Projectos de Reabilitação de Edifícios Antigos*, Porto, 2012.
- [17] Veiga de Oliveira, *Publicações D. Quixote*, Lisboa, 1992.
- [18] Fernando Pinho, *LNEC*, Lisboa: LNEC, 2000.
- [19] J. Segurado, *Biblioteca de Instrução Profissional*, Lisboa.
- [20] Teixeira, Porto, 2004.
- [21] Teixeira, *Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto*, Porto, 2006.
- [22] C. M. d. Porto, *Plano Diretor Municipal*, 2005.
- [23] Gabinete de Estudos e Planeamento, 2011, *Relatório 2011*, Porto.
- [24] Diogo Mateus, *Acústica em Reabilitação de Edifícios*.
- [25] L. Oliveira, *Exigências Funcionais em Pavimentos de Madeira*, 2013.
- [26] CSR, Bradford Insulation, *Acoustic Insulation Design Guide*.
- [27] InovaDomus, *Guia para Reabilitação*.
- [28] Gyptec IBÉRICA, *Placas de Gesso*.
- [29] Metalica, *Lã de rocha: Isolamento térmico e Acústico*.
- [30] FIBROSOM, *Lã Mineral*.
- [31] Danosa, *Membrana Acústica Danosa*.
- [32] Natural Fibras, *Fibra de côco*, 2013.
- [33] Amorim Isolamentos, SA.
- [34] Fabricor, SA, *Granulado de Cortiça*.
- [35] 2. Jorge Patrício, LNEC, 2013.
- [36] R. C. Rodrigues, *Seminário sobre os requisitos acústicos dos edifícios*, Faculdade de

Engenharia do Porto, Porto: Construção Magazine.

[37] ISOCOR, *Descontinuidade estrutural de paredes*.

[38] Knauf, *Absorção Sonora*.

[39] R. C. Rodrigues, *Licenciamento Municipal, Seminário sobre os requisitos acústicos dos edifícios*; Faculdade de Engenharia de Universidade do Porto.

ANEXOS

ANEXO 1

RELATÓRIOS DE PREVISÃO DE ÍNDICES DE ISOLAMENTO, R_w

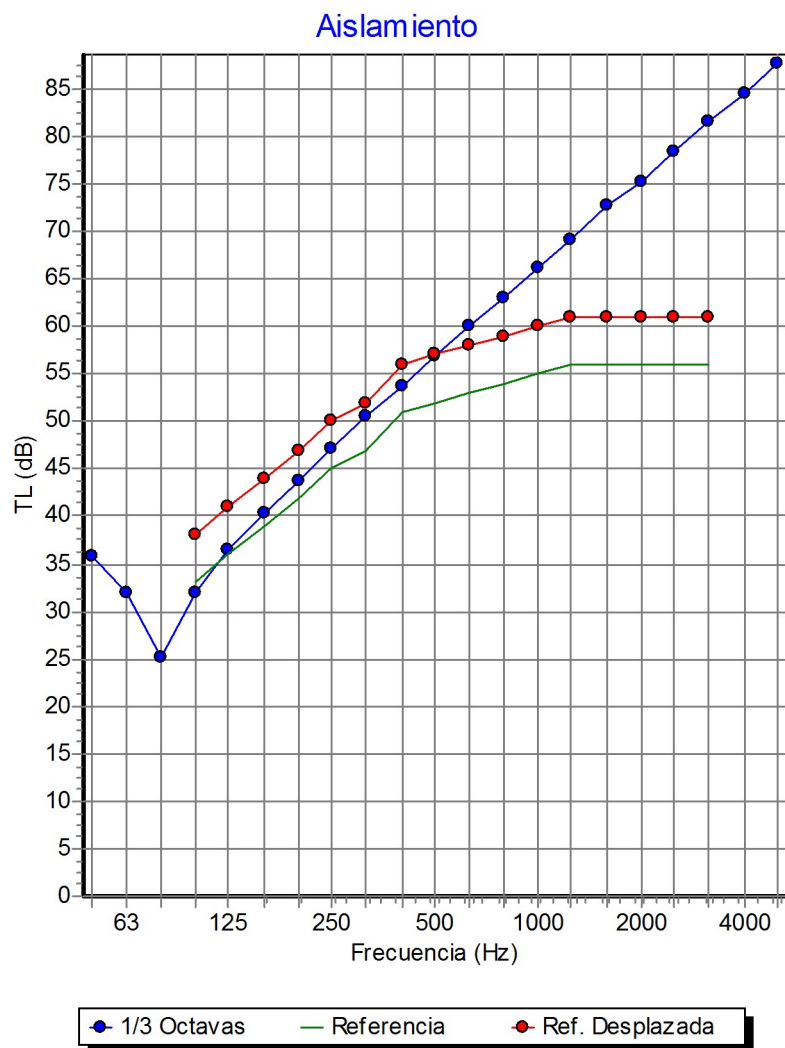
Parede exterior em Alvenaria de pedra de Granito [28 *cm*]

INFORME

Predicción del Índice de Aislamiento, R

Material/es:	Pedra granítica 28 cm + ARGAMASSA 2,0 cm + Cámara de Aire + Yeso laminado combinado 15 +13		
Espesor (mm):	280x1 + 20x1		
Fecha del Cálculo:	10-2014	Hora del Cálculo:	18:19:39

f (Hz)	R (dB)
50	35,7
63	32
80	25,1
100	31,9
125	36,4
160	40,3
200	43,8
250	47,2
315	50,5
400	53,7
500	56,8
630	60
800	63,1
1000	66,2
1250	69,2
1600	72,7
2000	75,2
2500	78,4
3150	81,5
4000	84,5
5000	87,7



Valoración según la Norma UNE-EN ISO 717-1:	$R_w(C;Ctr;C_{50-5000};Ctr_{50-5000}) = R_w(C;Ctr) = 57(-2;-8;-3;-13)$ dB
Valoración en decibelios A:	$R_g = 55,4$ dBA

Comentarios:



DATOS DE MATERIALES

Capa Impermeable 1

Materiales: Pedra granítica 28 cm + ARGAMASSA 2,0 cm

Espesor (mm): 280x1 + 20x1

Masa por unidad de área (kg/m²): 756x1 + 40x1

Frecuencia Crítica (Hz): 70 ; 406,65

Datos del Cálculo

Ángulo Inferior: 0°

Ángulo Límite: 89

N° de Intervalos: 1000

Velocidad de propagación del sonido en el aire (m/s): 346,6

Densidad del aire (kg/m³): 1,18

Precisión: 1/48 de Octavas

Corrección de capa impermeable: No

ANEXO 2

RELATÓRIOS DE PREVISÃO DE ÍNDICES DE ISOLAMENTO, R_w

Parede exterior em Alvenaria de pedra de Granito [80 *cm*]

INFORME

Predicción del Índice de Aislamiento, R

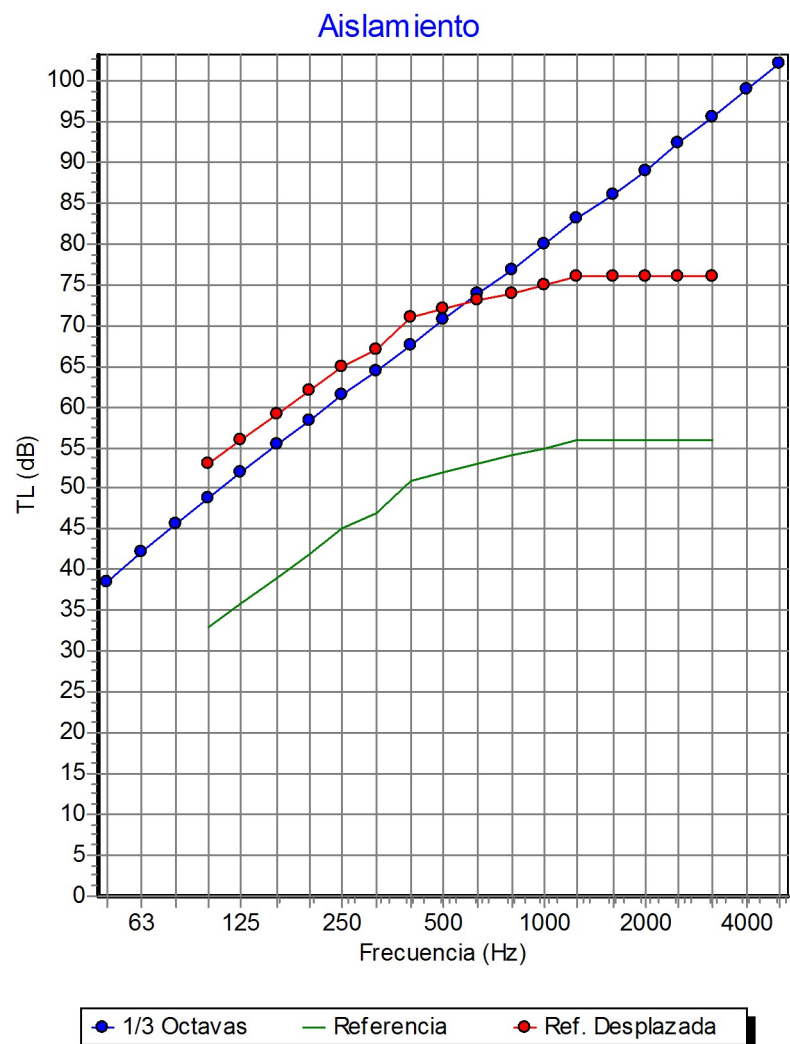
Material/es: Pedra granítica 28 cm + ARGAMASSA 2,0 cm
 + Cámara de Aire
 + Yeso laminado combinado 15+13

Espesor (mm): 800x1 + 20x1

Fecha del Cálculo: 10-2014

Hora del Cálculo: 18:20:52

f (Hz)	R (dB)
50	38,4
63	42,1
80	45,6
100	48,9
125	52,1
160	55,3
200	58,4
250	61,5
315	64,5
400	67,6
500	70,7
630	73,8
800	76,8
1000	79,9
1250	83,1
1600	86
2000	89
2500	92,4
3150	95,6
4000	98,9
5000	102,1



Valoración según la Norma UNE-EN ISO 717-1: $R_w(C;Ctr;C_{50-5000};Ctr_{50-5000}) = R_w(C;Ctr) = 72(-2;-7;-2;-13)$ dB

Valoración en decibelios A: $R_g = 70,5$ dBA

Comentarios:

INFORME



DATOS DE MATERIALES

Capa Impermeable 1

Materiales:	Pedra granítica 28 cm + ARGAMASSA 2,0 cm
--------------------	--

Espesor (mm):	800x1 + 20x1
----------------------	--------------

Masa por unidad de área (kg/m²):	2160x1 + 40x1
--	---------------

Frecuencia Crítica (Hz):	24,5 ; 7812,5
---------------------------------	---------------

Datos del Cálculo

Ángulo Inferior:	0°
Ángulo Límite:	89

N° de Intervalos:	1000
--------------------------	------

Velocidad de propagación del sonido en el aire (m/s):	346,6
--	-------

Densidad del aire (kg/m³):	1,18
--	------

Precisión:	1/48 de Octavas
-------------------	-----------------

Corrección de capa impermeable:	No
--	----

ANEXO 3

RELATÓRIOS DE PREVISÃO DE ÍNDICES DE ISOLAMENTO, R_w

- Parede exterior em tabique [7 *cm*];
 - Caixa-de-ar [5 *cm*]
- Placas de gesso cartonado [13 + 15 *mm*]

INFORME

Predicción del Índice de Aislamiento, R

Material/es:

Tabique de 07

+ Cámara de Aire

+ Yeso laminado combinado 15+13

Espesor (mm):

70x1 + 50 + 28x1

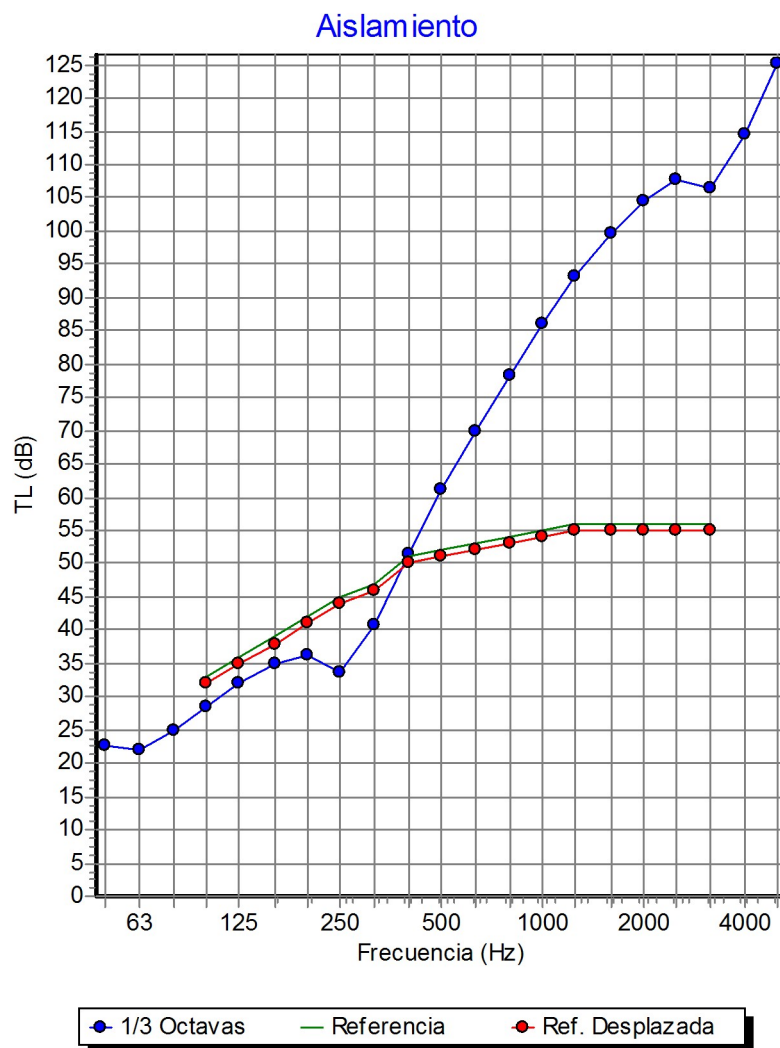
Fecha del Cálculo:

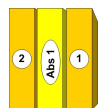
10-2014

Hora del Cálculo:

18:25:33

f (Hz)	R (dB)
50	22,7
63	22,1
80	24,8
100	28,5
125	32
160	34,9
200	36,2
250	33,6
315	40,8
400	51,6
500	61,2
630	70
800	78,2
1000	86
1250	93,1
1600	99,5
2000	104,4
2500	107,7
3150	106,5
4000	114,4
5000	125,2


Valoración según la Norma UNE-EN ISO 717-1:
 $R_w(C; C_{tr}; C_{50-5000}; C_{tr 50-5000}) = 51(-3; -8; -3; -12) \text{ dB}$
Valoración en decibelios A:
 $R_g = 48,4 \text{ dBA}$
Comentarios:



DATOS DE MATERIALES

Capa Impermeable 1

Materiales: Yeso laminado combinado 15+13

Espesor (mm): 28x1

Masa por unidad de área (kg/m²): 23,996x1

Frecuencia Crítica (Hz): 2500,42

Capa Absorbente

Material: Camara de Aire

Espesor (mm): 50

Resistencia específica al flujo (Rayls/m): --

Capa Impermeable 2

Materiales: Tabique de 07

Espesor (mm): 70x1

Masa por unidad de área (kg/m²): 57,4x1

Frecuencia Crítica (Hz): 261,43

INFORME**Frecuencias de interés**

Frecuencia de ondas estacionarias en el aire (Hz):	3466 y múltiplos
---	------------------

Frecuencia de resonancia del sistema (Hz):	65,23
---	-------

Limitación del Absorbente

Frecuencia límite inferior (Hz):	--
---	----

Frecuencia límite superior (Hz):	--
---	----

Datos del Cálculo

Ángulo Inferior:	0°
-------------------------	----

Ángulo Límite:	89
-----------------------	----

N° de Intervalos:	1000
--------------------------	------

Velocidad de propagación del sonido en el aire (m/s):	346,6
--	-------

Densidad del aire (kg/m3):	1,18
-----------------------------------	------

Precisión:	1/48 de Octavas
-------------------	-----------------

Corrección de capa impermeable:	No
--	----

ANEXO 4

RELATÓRIOS DE PREVISÃO DE ÍNDICES DE ISOLAMENTO, R_w

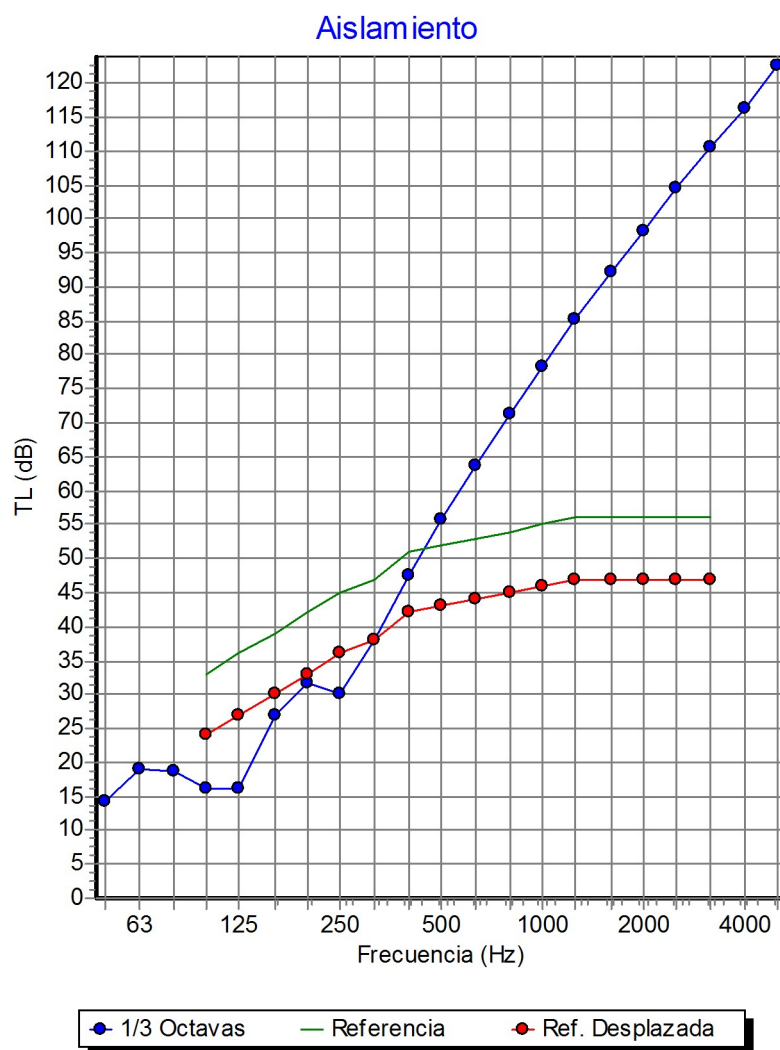
- Parede exterior em tabique [7 *cm*];
 - Fibra de cocô [2,5 *cm*]
- Placas de gesso cartonado [13 *mm*]

INFORME

Predicción del Índice de Aislamiento, R

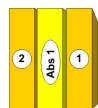
Material/es:	Tabique de 07 + Fibra de Coco + Yeso laminado del 13		
Espesor (mm):	70x1 + 25 + 13x1		
Fecha del Cálculo:	10-2014	Hora del Cálculo:	18:35:21

f (Hz)	R (dB)
50	14,1
63	19
80	18,8
100	16
125	16
160	26,9
200	31,7
250	30
315	37,9
400	47,6
500	55,9
630	63,7
800	71,2
1000	78,3
1250	85,3
1600	92,1
2000	98,1
2500	104,5
3150	110,5
4000	116,3
5000	122,6



Valoración según la Norma UNE-EN ISO 717-1:	$R_w(C; C_{tr}; C_{50-5000}; C_{tr 50-5000}) = 43(-4; -11; -3; -12)$ dB
Valoración en decibelios A:	$R_g = 39,1$ dBA

Comentarios:



DATOS DE MATERIALES

Capa Impermeable 1

Materiales: Yeso laminado del 13

Espesor (mm): 13x1

Masa por unidad de área (kg/m²): 11,297x1

Frecuencia Crítica (Hz): 2660,53

Capa Absorbente

Material: Fibra de Coco

Espesor (mm): 25

Resistencia específica al flujo (Rayls/m): 40000

Capa Impermeable 2

Materiales: Tabique de 07

Espesor (mm): 70x1

Masa por unidad de área (kg/m²): 57,4x1

Frecuencia Crítica (Hz): 261,43

INFORME**Frecuencias de interés**

Frecuencia de ondas estacionarias en el aire (Hz):	6932 y múltiplos
---	------------------

Frecuencia de resonancia del sistema (Hz):	123,51
---	--------

Limitación del Absorbente

Frecuencia límite inferior (Hz):	400
---	-----

Frecuencia límite superior (Hz):	40000
---	-------

Datos del Cálculo

Ángulo Inferior:	0°
Ángulo Límite:	89

N° de Intervalos:	1000
--------------------------	------

Velocidad de propagación del sonido en el aire (m/s):	346,6
--	-------

Densidad del aire (kg/m3):	1,18
-----------------------------------	------

Precisión:	1/48 de Octavas
-------------------	-----------------

Corrección de capa impermeable:	No
--	----

ANEXO 5

RELATÓRIOS DE PREVISÃO DE ÍNDICES DE ISOLAMENTO, R_w

- Parede interior em tabique [7 *cm*];
 - Lã de rocha [4,5 *cm*];
- Placas de gesso cartonado [13 + 15 *mm*];

INFORME

Predicción del Índice de Aislamiento, R

Material/es:

Tabique de 07
 + Lana de roca
 + Yeso laminado combinado 15+13

Espesor (mm):

70x1 + 45 + 28x1

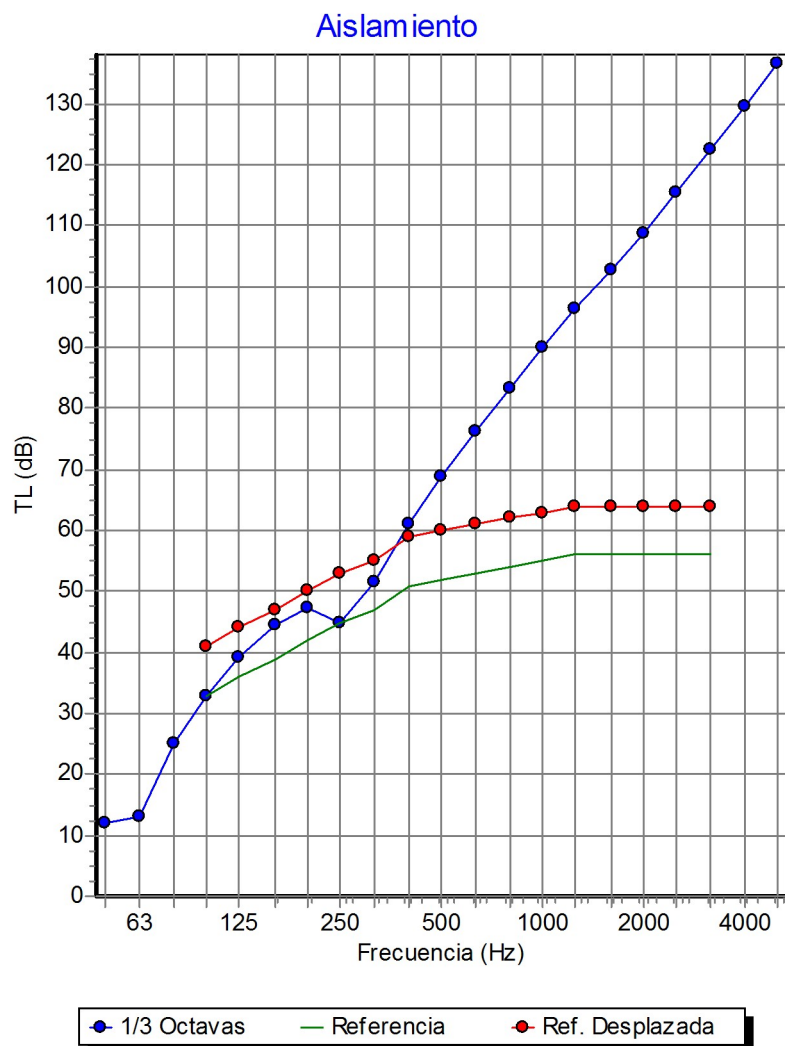
Fecha del Cálculo:

10-2014

Hora del Cálculo:

18:38:59

f (Hz)	R (dB)
50	12
63	12,9
80	25,1
100	33
125	39,3
160	44,4
200	47,3
250	45
315	51,7
400	60,9
500	68,9
630	76,2
800	83,2
1000	90
1250	96,5
1600	102,8
2000	108,7
2500	115,5
3150	122,5
4000	129,7
5000	136,6



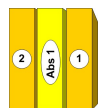
Valoración según la Norma UNE-EN ISO 717-1:

$R_w(C;C_{tr};C_{50-5000};C_{tr\ 50-5000}) = 60(-3;-9;-13;-27)$ dB

Valoración en decibelios A:

$R_g = 57,4$ dBA

Comentarios:



DATOS DE MATERIALES

Capa Impermeable 1

Materiales: Yeso laminado combinado 15+13

Espesor (mm): 28x1

Masa por unidad de área (kg/m²): 23,996x1

Frecuencia Crítica (Hz): 2500,42

Capa Absorbente

Material: Lana de roca

Espesor (mm): 45

Resistencia específica al flujo (Rayls/m): 26024,8

Capa Impermeable 2

Materiales: Tabique de 07

Espesor (mm): 70x1

Masa por unidad de área (kg/m²): 57,4x1

Frecuencia Crítica (Hz): 261,43

INFORME**Frecuencias de interés**

Frecuencia de ondas estacionarias en el aire (Hz):	3851,1 y múltiplos
---	--------------------

Frecuencia de resonancia del sistema (Hz):	68,76
---	-------

Limitación del Absorbente

Frecuencia límite inferior (Hz):	260,248
---	---------

Frecuencia límite superior (Hz):	26024,8
---	---------

Datos del Cálculo

Ángulo Inferior:	0°
Ángulo Límite:	89

N° de Intervalos:	1000
--------------------------	------

Velocidad de propagación del sonido en el aire (m/s):	346,6
--	-------

Densidad del aire (kg/m3):	1,18
-----------------------------------	------

Precisión:	1/48 de Octavas
-------------------	-----------------

Corrección de capa impermeable:	No
--	----

ANEXO 6

RELATÓRIOS DE PREVISÃO DE ÍNDICES DE ISOLAMENTO, R_w

- Parede interior em tabique [7 *cm*];
 - Betuminosa [4,0 *mm*];
 - Lã de rocha [4,5 *cm*];
- Placas de gesso cartonado [13 + 15 *mm*];

INFORME

Predicción del Índice de Aislamiento, R

Material/es:

Tabique de 07 + BITUMINOSA
 + Lana de roca
 + Yeso laminado combinado 15+13

Espesor (mm):

70x1 + 4x1 + 45 + 28x1

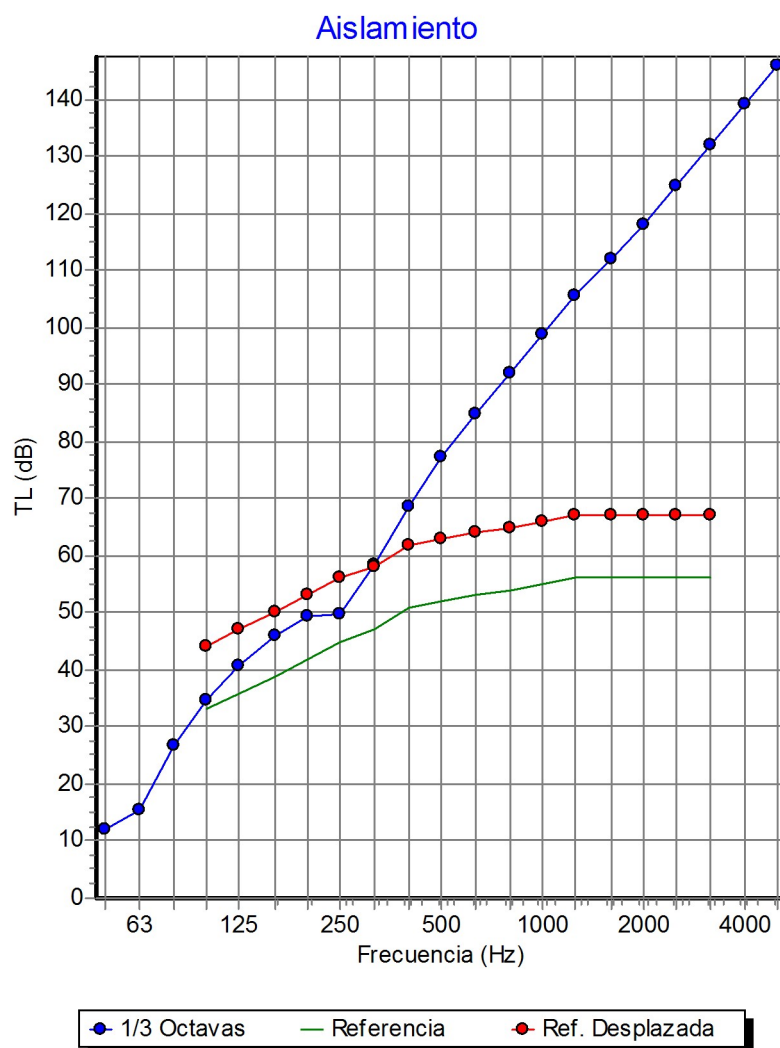
Fecha del Cálculo:

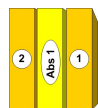
10-2014

Hora del Cálculo:

18:41:56

f (Hz)	R (dB)
50	12,1
63	15,4
80	26,8
100	34,6
125	40,9
160	46,1
200	49,4
250	49,9
315	58,6
400	68,6
500	77,1
630	84,8
800	92
1000	98,9
1250	105,6
1600	111,9
2000	117,9
2500	124,6
3150	131,8
4000	139
5000	145,9


Valoración según la Norma UNE-EN ISO 717-1:
 $R_w(C;C_{tr};C_{50-5000};C_{tr\ 50-5000}) = 63(-3;-10;-14;-29) \text{ dB}$
Valoración en decibelios A:
 $R_g = 60,1 \text{ dBA}$
Comentarios:



DATOS DE MATERIALES

Capa Impermeable 1

Materiales: Yeso laminado combinado 15+13

Espesor (mm): 28x1

Masa por unidad de área (kg/m²): 23,996x1

Frecuencia Crítica (Hz): 2500,42

Capa Absorbente

Material: Lana de roca

Espesor (mm): 45

Resistencia específica al flujo (Rayls/m): 26024,8

Capa Impermeable 2

Materiales: Tabique de 07 + BITUMINOSA

Espesor (mm): 70x1 + 4x1

Masa por unidad de área (kg/m²): 57,4x1 + 10x1

Frecuencia Crítica (Hz): 261,43 ; 304,99

INFORME**Frecuencias de interés**

Frecuencia de ondas estacionarias en el aire (Hz):	3851,1 y múltiplos
---	--------------------

Frecuencia de resonancia del sistema (Hz):	68,76
---	-------

Limitación del Absorbente

Frecuencia límite inferior (Hz):	260,248
---	---------

Frecuencia límite superior (Hz):	26024,8
---	---------

Datos del Cálculo

Ángulo Inferior:	0°
Ángulo Límite:	89

N° de Intervalos:	1000
--------------------------	------

Velocidad de propagación del sonido en el aire (m/s):	346,6
--	-------

Densidad del aire (kg/m3):	1,18
-----------------------------------	------

Precisión:	1/48 de Octavas
-------------------	-----------------

Corrección de capa impermeable:	No
--	----

RELATÓRIOS DE PREVISÃO DE ÍNDICES DE ISOLAMENTO, R_w

- Parede interior em tabique [7 *cm*];
 - Betuminosa [4,0 *mm*];
 - Lã de rocha [5,0 *cm*];
- Placas de gesso cartonado [13 + 15 *mm*];

INFORME

Predicción del Índice de Aislamiento, R

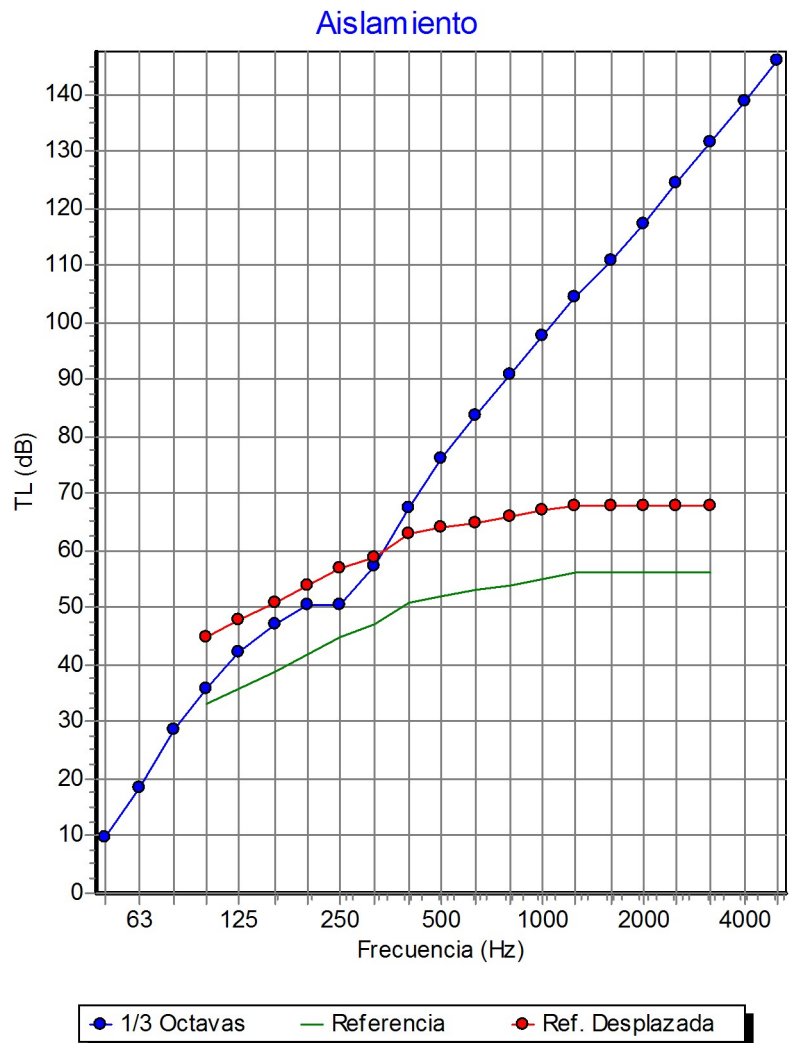
Material/es: Tabique de 07 + BITUMINOSA
 + Lana de roca
 + Yeso laminado combinado 15+13

Espesor (mm): 70x1 + 4x1 + 50 + 28x1

Fecha del Cálculo: 10-2014

Hora del Cálculo: 18:46:39

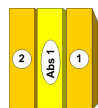
f (Hz)	R (dB)
50	9,8
63	18,3
80	28,5
100	35,9
125	42,1
160	47,2
200	50,7
250	50,6
315	57,3
400	67,5
500	76
630	83,7
800	90,9
1000	97,8
1250	104,4
1600	111
2000	117,2
2500	124,4
3150	131,7
4000	138,9
5000	145,9



Valoración según la Norma UNE-EN ISO 717-1: $R_w(C;C_{tr};C_{50-5000};C_{tr\ 50-5000}) = 64(-3;-10;-15;-30)$ dB

Valoración en decibelios A: $R_g = 61,1$ dBA

Comentarios:



DATOS DE MATERIALES

Capa Impermeable 1

Materiales: Yeso laminado combinado 15+13

Espesor (mm): 28x1

Masa por unidad de área (kg/m²): 23,996x1

Frecuencia Crítica (Hz): 2500,42

Capa Absorbente

Material: Lana de roca

Espesor (mm): 50

Resistencia específica al flujo (Rayls/m): 26024,8

Capa Impermeable 2

Materiales: Tabique de 07 + BITUMINOSA

Espesor (mm): 70x1 + 4x1

Masa por unidad de área (kg/m²): 57,4x1 + 10x1

Frecuencia Crítica (Hz): 261,43 ; 406,65

INFORME**Frecuencias de interés**

Frecuencia de ondas estacionarias en el aire (Hz):	3466 y múltiplos
---	------------------

Frecuencia de resonancia del sistema (Hz):	65,23
---	-------

Limitación del Absorbente

Frecuencia límite inferior (Hz):	260,248
---	---------

Frecuencia límite superior (Hz):	26024,8
---	---------

Datos del Cálculo

Ángulo Inferior:	0°
Ángulo Límite:	89

N° de Intervalos:	1000
--------------------------	------

Velocidad de propagación del sonido en el aire (m/s):	346,6
--	-------

Densidad del aire (kg/m3):	1,18
-----------------------------------	------

Precisión:	1/48 de Octavas
-------------------	-----------------

Corrección de capa impermeable:	No
--	----

ANEXO 8

RELATÓRIOS DE PREVISÃO DE ÍNDICES DE ISOLAMENTO, R_w

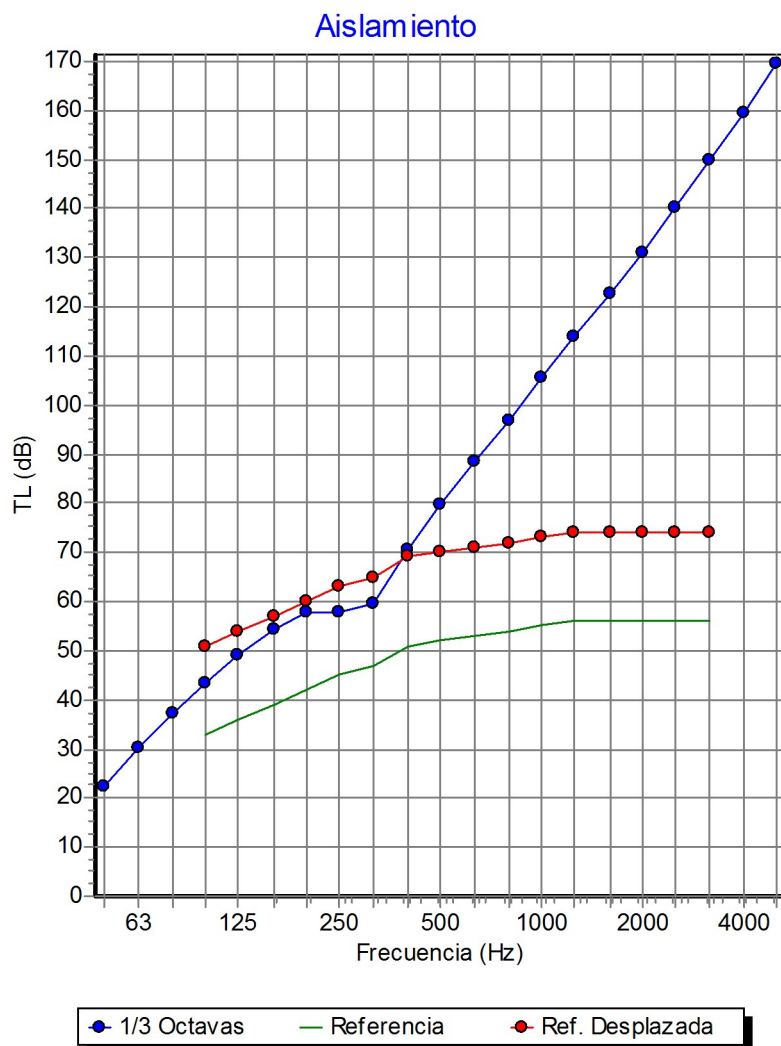
- Parede interior em tabique [7 *cm*];
 - Betuminosa [4,0 *mm*];
 - Lã de rocha [5,0 *cm* + 5,0 *cm*];
- Placas de gesso cartonado [13 + 15 *mm*];

INFORME

Predicción del Índice de Aislamiento, R

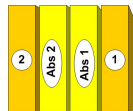
Material/es:	Tabique de 07 + BITUMINOSA + Lana de roca + Lana de roca + Yeso laminado combinado 15+13		
Espesor (mm):	70x1 + 4x1 + 50 + 50 + 28x1		
Fecha del Cálculo:	10-2014	Hora del Cálculo:	18:50:23

f (Hz)	R (dB)
50	22,5
63	30,4
80	37,2
100	43,3
125	49
160	54,1
200	57,9
250	58
315	59,6
400	70,5
500	79,7
630	88,3
800	96,9
1000	105,4
1250	113,9
1600	122,6
2000	130,9
2500	140,2
3150	149,7
4000	159,4
5000	169,5



Valoración según la Norma UNE-EN ISO 717-1:	$R_w(C; C_{tr}; C_{50-5000}; C_{tr 50-5000}) = 70(-2; -9; -9; -24)$ dB
Valoración en decibelios A:	$R_g = 67,8$ dBA

Comentarios:



DATOS DE MATERIALES

Capa Impermeable 1

Materiales: Yeso laminado combinado 15+13

Espesor (mm): 28x1

Masa por unidad de área (kg/m²): 23,996x1

Frecuencia Crítica (Hz): 2500,42

Capa Absorbente 1

Material: Lana de roca

Espesor (mm): 50

Resistencia específica al flujo (Rayls/m): 52398,7

Capa Absorbente 2

Material: Lana de roca

Espesor (mm): 50

Resistencia específica al flujo (Rayls/m): 26024,8

Capa Impermeable 2

Materiales: Tabique de 07 + BITUMINOSA

Espesor (mm): 70x1 + 4x1

Masa por unidad de área (kg/m²): 57,4x1 + 10x1

Frecuencia Crítica (Hz): 261,43 ; 74310,24

INFORME**Frecuencias de interés en Absorbente 1**

Frecuencia de ondas estacionarias en el aire (Hz):	3466 y múltiplos
--	------------------

Frecuencia de resonancia del sistema (Hz):	65,23
--	-------

Limitación del Absorbente 1

Frecuencia límite inferior (Hz):	523,987
----------------------------------	---------

Frecuencia límite superior (Hz):	52398,7
----------------------------------	---------

Frecuencias de interés en Absorbente 2

Frecuencia de ondas estacionarias en el aire (Hz):	3466 y múltiplos
--	------------------

Frecuencia de resonancia del sistema (Hz):	83,81
--	-------

Limitación del Absorbente 2

Frecuencia límite inferior (Hz):	260,248
----------------------------------	---------

Frecuencia límite superior (Hz):	26024,8
----------------------------------	---------

Datos del Cálculo

Ángulo Inferior:	0°
Ángulo Límite:	89

N° de Intervalos:	1000
-------------------	------

Velocidad de propagación del sonido en el aire (m/s):	346,6
---	-------

Densidad del aire (kg/m ³):	1,18
---	------

Precisión:	1/48 de Octavas
------------	-----------------

Corrección de capa impermeable:	No
---------------------------------	----

RELATÓRIOS DE PREVISÃO DE ÍNDICES DE ISOLAMENTO, R_w

- Parede exterior em Alvenaria tijolo [7 *cm*];
 - Caixa-de-ar [5,0 *cm*];
- Placas de gesso cartonado [13 + 15 *mm*];
 - Reboco em ambas as faces [2,0 *cm*];

INFORME

Predicción del Índice de Aislamiento, R

Material/es:

Tijolo de 07 + ARGAMASSA 2,0 cm + ARGAMASSA 2,0 cm

+ Cámara de Aire

+ Yeso laminado combinado 15+13

Espesor (mm):

70x1 + 20x1 + 20x1 + 50 + 28x1

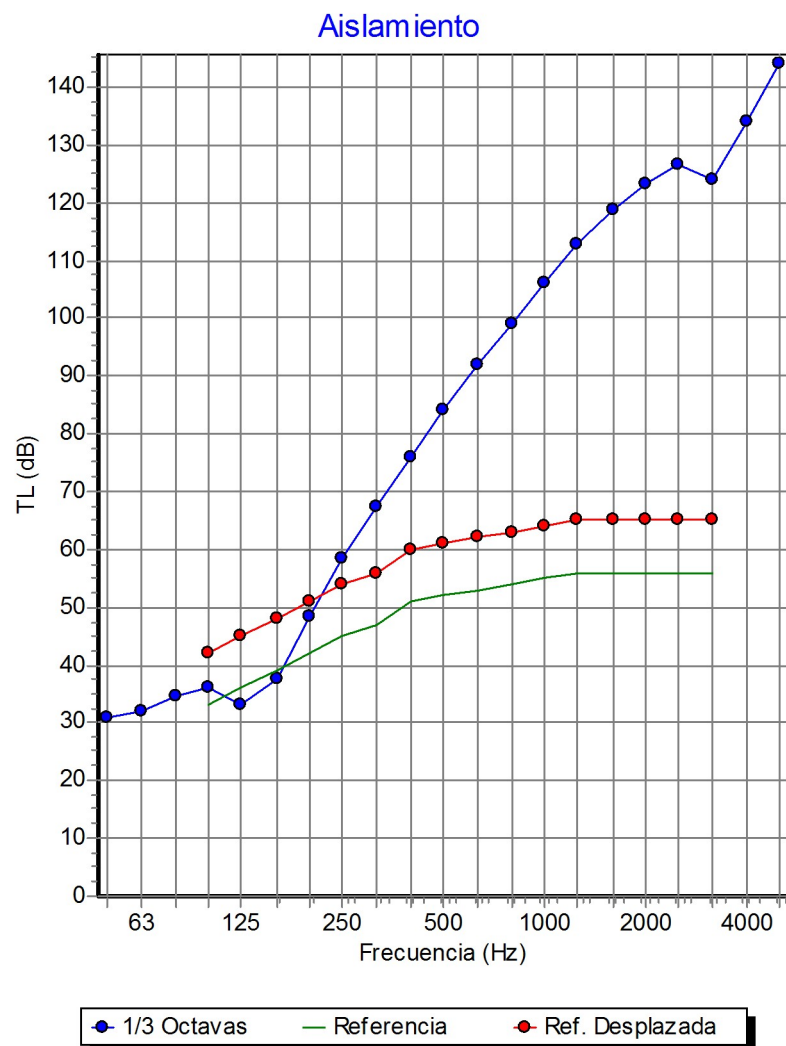
Fecha del Cálculo:

10-2014

Hora del Cálculo:

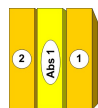
18:22:12

f (Hz)	R (dB)
50	30,9
63	31,9
80	34,5
100	36,1
125	33,3
160	37,6
200	48,4
250	58,3
315	67,4
400	75,9
500	84
630	91,8
800	99,2
1000	106,2
1250	112,9
1600	118,9
2000	123,4
2500	126,5
3150	124,1
4000	133,9
5000	144,1


Valoración según la Norma UNE-EN ISO 717-1:
 $R_w(C;C_{tr};C_{50-5000};C_{tr\ 50-5000}) = 61(-5;-11;-5;-14)$ dB

Valoración en decibelios A:
 $R_g = 56,3$ dBA

Comentarios:



DATOS DE MATERIALES

Capa Impermeable 1

Materiales: Yeso laminado combinado 15+13

Espesor (mm): 28x1

Masa por unidad de área (kg/m²): 23,996x1

Frecuencia Crítica (Hz): 2500,42

Capa Absorbente

Material: Camara de Aire

Espesor (mm): 50

Resistencia específica al flujo (Rayls/m): --

Capa Impermeable 2

Materiales: Tijolo de 07 + ARGAMASSA 2,0 cm + ARGAMASSA 2,0 cm

Espesor (mm): 70x1 + 20x1 + 20x1

Masa por unidad de área (kg/m²): 137,2x1 + 40x1 + 40x1

Frecuencia Crítica (Hz): 105,71 ; 406,65 ; 406,65

INFORME

Frecuencias de interés

Frecuencia de ondas estacionarias en el aire (Hz):	3466 y múltiplos
---	------------------

Frecuencia de resonancia del sistema (Hz):	59,37
---	-------

Limitación del Absorbente

Frecuencia límite inferior (Hz):	--
---	----

Frecuencia límite superior (Hz):	--
---	----

Datos del Cálculo

Ángulo Inferior:	0°
-------------------------	----

Ángulo Límite:	89
-----------------------	----

N° de Intervalos:	1000
--------------------------	------

Velocidad de propagación del sonido en el aire (m/s):	346,6
--	-------

Densidad del aire (kg/m3):	1,18
-----------------------------------	------

Precisión:	1/48 de Octavas
-------------------	-----------------

Corrección de capa impermeable:	No
--	----

RELATÓRIOS DE PREVISÃO DE ÍNDICES DE ISOLAMENTO, R_w

Tetos

- Madeira de pinho [2,5 *cm*];
 - Caixa-de-ar [12,0 *mm*];
 - Lã de rocha [4*cm*]
- Placas de gesso cartonado [13 + 15 *mm*];

INFORME

Predicción del Índice de Aislamiento, R

Material/es:

Madera de pino + BITUMINOSA

+ Cámara de Aire + Lana de roca

+ Yeso laminado combinado 15+13

Espesor (mm):

25x1 + 4x1 + 120 + 40 + 28x1

Fecha del Cálculo:

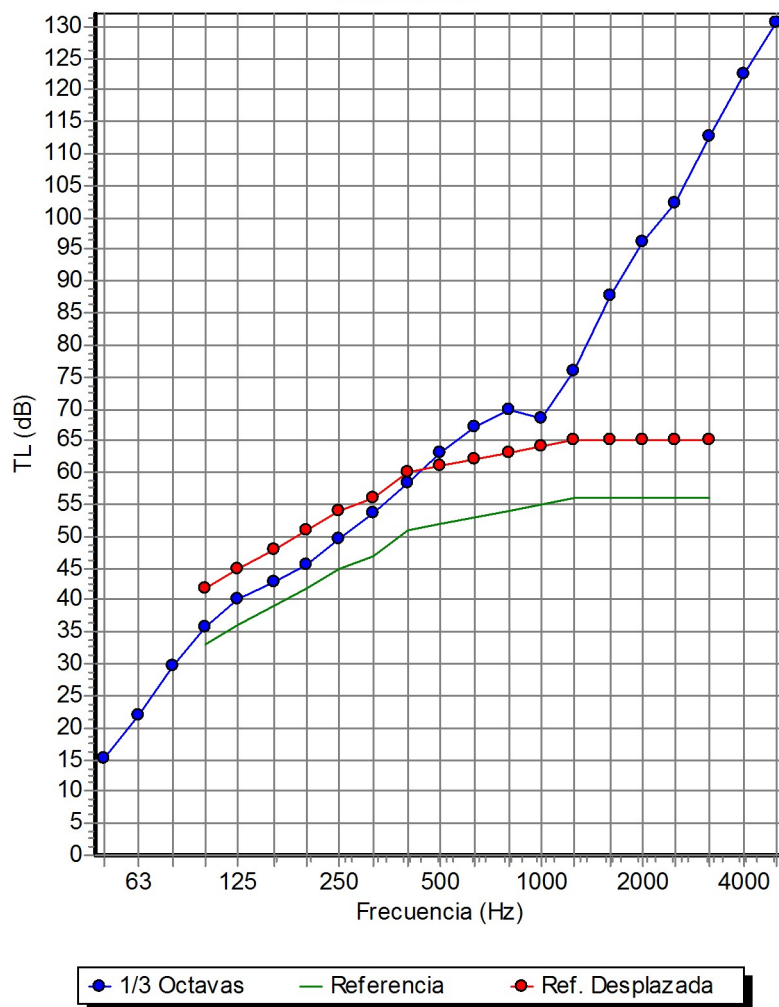
10-2014

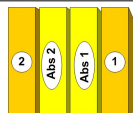
Hora del Cálculo:

19:06:33

f (Hz)	R (dB)
50	15,2
63	21,9
80	29,6
100	35,9
125	40,1
160	42,8
200	45,7
250	49,5
315	53,8
400	58,4
500	63
630	67,1
800	70
1000	68,5
1250	76
1600	87,9
2000	96,1
2500	102,1
3150	112,8
4000	122,5
5000	130,6

Aislamiento

**Valoración según la Norma UNE-EN ISO 717-1:** $R_w(C; C_{tr}; C_{50-5000}; C_{tr 50-5000}) = 61(-2; -9; -8; -23) \text{ dB}$ **Valoración en decibelios A:** $R_g = 58,7 \text{ dBA}$ **Comentarios:**



DATOS DE MATERIALES

Capa Impermeable 1

Materiales: Yeso laminado combinado 15+13

Espesor (mm): 28x1

Masa por unidad de área (kg/m²): 23,996x1

Frecuencia Crítica (Hz): 2500,42

Capa Absorbente 1

Material: Lana de roca

Espesor (mm): 40

Resistencia específica al flujo (Rayls/m): 52398,7

Capa Absorbente 2

Material: Camara de Aire

Espesor (mm): 120

Resistencia específica al flujo (Rayls/m): --

Capa Impermeable 2

Materiales: Madera de pino + BITUMINOSA

Espesor (mm): 25x1 + 4x1

Masa por unidad de área (kg/m²): 12,25x1 + 10x1

Frecuencia Crítica (Hz): 816,33 ; 74310,24

INFORME**Frecuencias de interés en Absorbente 1**

Frecuencia de ondas estacionarias en el aire (Hz):	4332,5 y múltiplos
--	--------------------

Frecuencia de resonancia del sistema (Hz):	72,93
--	-------

Limitación del Absorbente 1

Frecuencia límite inferior (Hz):	523,987
----------------------------------	---------

Frecuencia límite superior (Hz):	52398,7
----------------------------------	---------

Frecuencias de interés en Absorbente 2

Frecuencia de ondas estacionarias en el aire (Hz):	1444,2 y múltiplos
--	--------------------

Frecuencia de resonancia del sistema (Hz):	60,82
--	-------

Limitación del Absorbente 2

Frecuencia límite inferior (Hz):	--
----------------------------------	----

Frecuencia límite superior (Hz):	--
----------------------------------	----

Datos del Cálculo

Ángulo Inferior:	0°
Ángulo Límite:	89

N° de Intervalos:	1000
-------------------	------

Velocidad de propagación del sonido en el aire (m/s):	346,6
---	-------

Densidad del aire (kg/m ³):	1,18
---	------

Precisión:	1/48 de Octavas
------------	-----------------

Corrección de capa impermeable:	No
---------------------------------	----

RELATÓRIOS DE PREVISÃO DE ÍNDICES DE ISOLAMENTO, R_w

Tetos

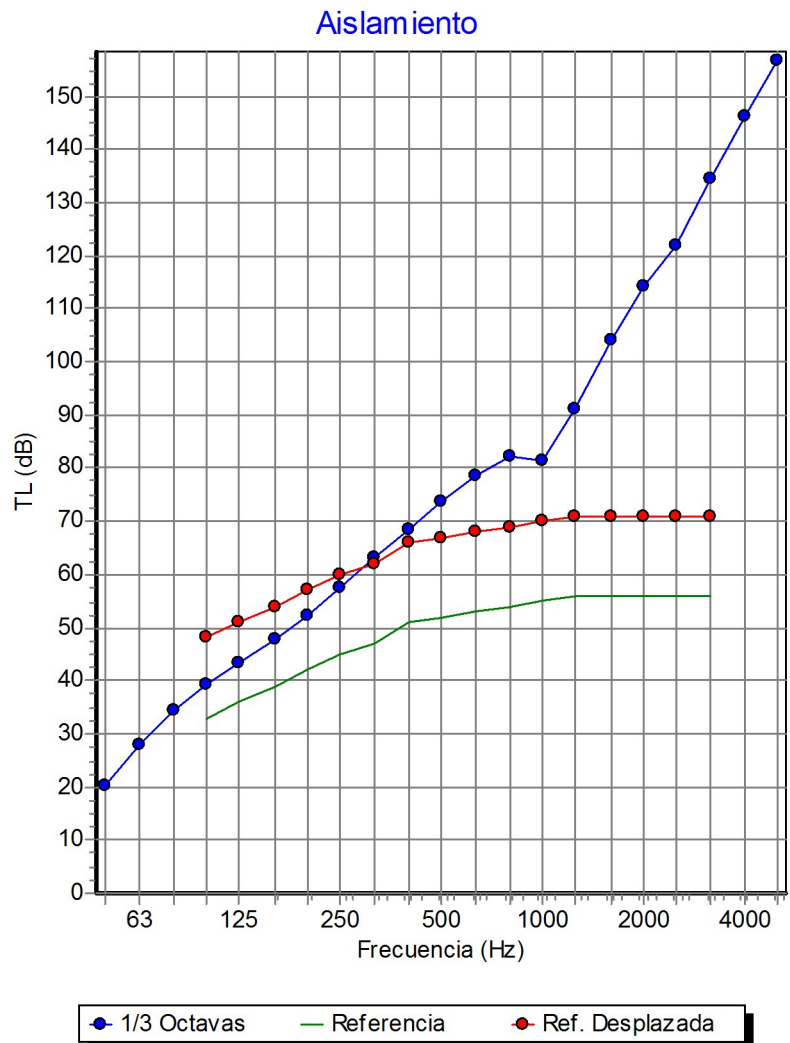
- Madeira de pinho [2,5 *cm*];
 - Betuminosa [4 *mm*]
 - Caixa-de-ar [12,0 *mm*];
 - Lã de rocha [8*cm*]
- Placas de gesso cartonado [13 + 15 *mm*];

INFORME

Predicción del Índice de Aislamiento, R

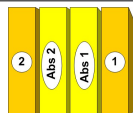
Material/es:	Madera de pino + BITUMINOSA + Cámara de Aire + Lana de roca + Yeso laminado combinado 15+13		
Espesor (mm):	25x1 + 4x1 + 120 + 80 + 28x1		
Fecha del Cálculo:	10-2014	Hora del Cálculo:	19:13:26

f (Hz)	R (dB)
50	20,1
63	27,9
80	34,3
100	39,2
125	43,4
160	47,8
200	52,4
250	57,6
315	63
400	68,5
500	73,8
630	78,7
800	82,2
1000	81,5
1250	91,2
1600	104,2
2000	114,2
2500	122
3150	134,6
4000	146,2
5000	156,7



Valoración según la Norma UNE-EN ISO 717-1:	$R_w(C;Ctr;C_{50-5000};Ctr_{50-5000}) = 67(-3;-10;-9;-23)$ dB
Valoración en decibelios A:	$R_g = 63,8$ dBA

Comentarios:



DATOS DE MATERIALES

Capa Impermeable 1

Materiales: Yeso laminado combinado 15+13

Espesor (mm): 28x1

Masa por unidad de área (kg/m²): 23,996x1

Frecuencia Crítica (Hz): 2500,42

Capa Absorbente 1

Material: Lana de roca

Espesor (mm): 80

Resistencia específica al flujo (Rayls/m): 52398,7

Capa Absorbente 2

Material: Camara de Aire

Espesor (mm): 120

Resistencia específica al flujo (Rayls/m): --

Capa Impermeable 2

Materiales: Madera de pino + BITUMINOSA

Espesor (mm): 25x1 + 4x1

Masa por unidad de área (kg/m²): 12,25x1 + 10x1

Frecuencia Crítica (Hz): 816,33 ; 7812,5

INFORME**Frecuencias de interés en Absorbente 1**

Frecuencia de ondas estacionarias en el aire (Hz):	2166,2 y múltiplos
--	--------------------

Frecuencia de resonancia del sistema (Hz):	74,49
--	-------

Limitación del Absorbente 1

Frecuencia límite inferior (Hz):	523,987
----------------------------------	---------

Frecuencia límite superior (Hz):	52398,7
----------------------------------	---------

Frecuencias de interés en Absorbente 2

Frecuencia de ondas estacionarias en el aire (Hz):	1444,2 y múltiplos
--	--------------------

Frecuencia de resonancia del sistema (Hz):	60,82
--	-------

Limitación del Absorbente 2

Frecuencia límite inferior (Hz):	--
----------------------------------	----

Frecuencia límite superior (Hz):	--
----------------------------------	----

Datos del Cálculo

Ángulo Inferior:	0°
Ángulo Límite:	89

N° de Intervalos:	1000
-------------------	------

Velocidad de propagación del sonido en el aire (m/s):	346,6
---	-------

Densidad del aire (kg/m ³):	1,18
---	------

Precisión:	1/48 de Octavas
------------	-----------------

Corrección de capa impermeable:	No
---------------------------------	----

RELATÓRIOS DE PREVISÃO DE ÍNDICES DE ISOLAMENTO, R_w

Tetos

- Madeira de pinho [2,5+ 2,5 *cm*];
 - Betuminosa [4 *mm*]
 - Caixa-de-ar [12,0 *mm*];
 - Lã de rocha [8*cm*]
- Placas de gesso cartonado [13 + 15 *mm*];

INFORME

Predicción del Índice de Aislamiento, R

Material/es:

Madera de pino + BITUMINOSA + Madera de pino

+ Cámara de Aire + Lana de roca
 + Yeso laminado combinado 15+13

Espesor (mm):

25x1 + 4x1 + 25x1 + 120 + 80 + 28x1

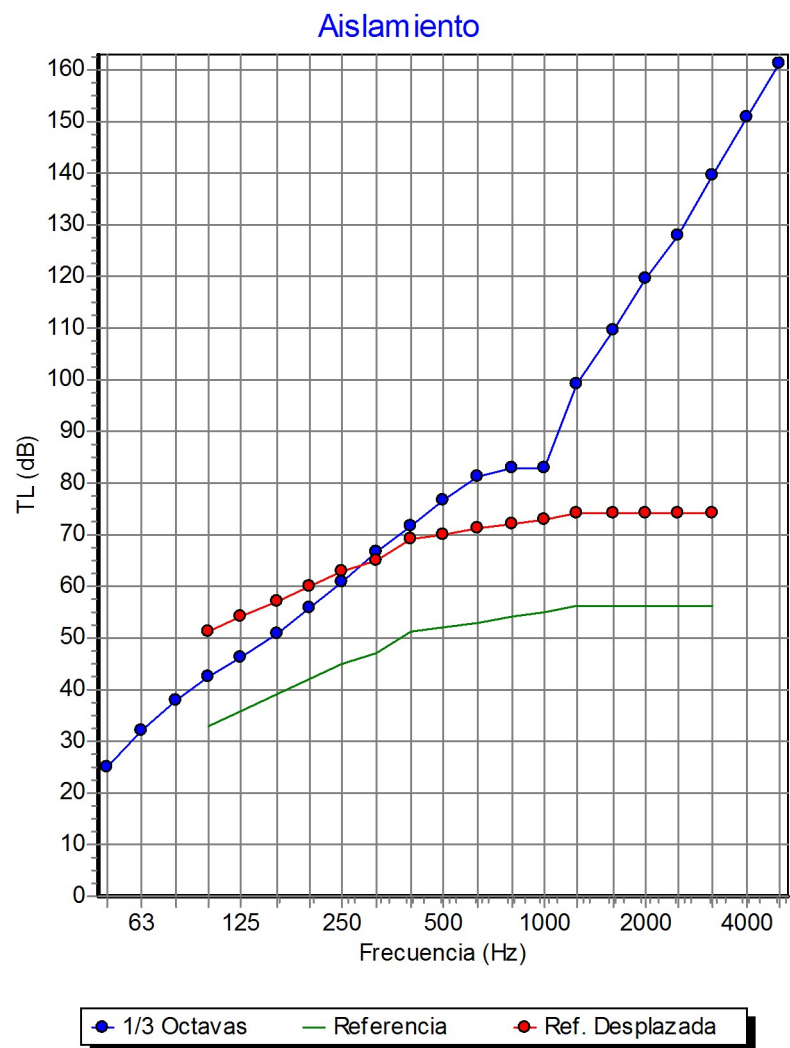
Fecha del Cálculo:

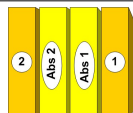
10-2014

Hora del Cálculo:

19:15:37

f (Hz)	R (dB)
50	25
63	32,1
80	37,9
100	42,3
125	46,4
160	50,9
200	55,6
250	60,9
315	66,4
400	71,8
500	76,8
630	81,1
800	82,7
1000	82,9
1250	99
1600	109,6
2000	119,6
2500	127,7
3150	139,5
4000	150,6
5000	161,1

**Valoración según la Norma UNE-EN ISO 717-1:**
 $R_w(C; C_{tr}; C_{50-5000}; C_{tr 50-5000}) = 70(-3; -10; -8; -22) \text{ dB}$
Valoración en decibelios A:R_g = 66,9 dBA**Comentarios:**



DATOS DE MATERIALES

Capa Impermeable 1

Materiales: Yeso laminado combinado 15+13

Espesor (mm): 28x1

Masa por unidad de área (kg/m²): 23,996x1

Frecuencia Crítica (Hz): 2500,42

Capa Absorbente 1

Material: Lana de roca

Espesor (mm): 80

Resistencia específica al flujo (Rayls/m): 52398,7

Capa Absorbente 2

Material: Camara de Aire

Espesor (mm): 120

Resistencia específica al flujo (Rayls/m): --

Capa Impermeable 2

Materiales: Madera de pino + BITUMINOSA + Madera de pino

Espesor (mm): 25x1 + 4x1 + 25x1

Masa por unidad de área (kg/m²): 12,25x1 + 10x1 + 12,25x1

Frecuencia Crítica (Hz): 816,33 ; 7812,5 ; 816,33

INFORME**Frecuencias de interés en Absorbente 1**

Frecuencia de ondas estacionarias en el aire (Hz):	2166,2 y múltiplos
--	--------------------

Frecuencia de resonancia del sistema (Hz):	74,49
--	-------

Limitación del Absorbente 1

Frecuencia límite inferior (Hz):	523,987
----------------------------------	---------

Frecuencia límite superior (Hz):	52398,7
----------------------------------	---------

Frecuencias de interés en Absorbente 2

Frecuencia de ondas estacionarias en el aire (Hz):	1444,2 y múltiplos
--	--------------------

Frecuencia de resonancia del sistema (Hz):	60,82
--	-------

Limitación del Absorbente 2

Frecuencia límite inferior (Hz):	--
----------------------------------	----

Frecuencia límite superior (Hz):	--
----------------------------------	----

Datos del Cálculo

Ángulo Inferior:	0°
Ángulo Límite:	89

N° de Intervalos:	1000
-------------------	------

Velocidad de propagación del sonido en el aire (m/s):	346,6
---	-------

Densidad del aire (kg/m ³):	1,18
---	------

Precisión:	1/48 de Octavas
------------	-----------------

Corrección de capa impermeable:	No
---------------------------------	----

RELATÓRIOS DE PREVISÃO DE ÍNDICES DE ISOLAMENTO, R_w

Vidros

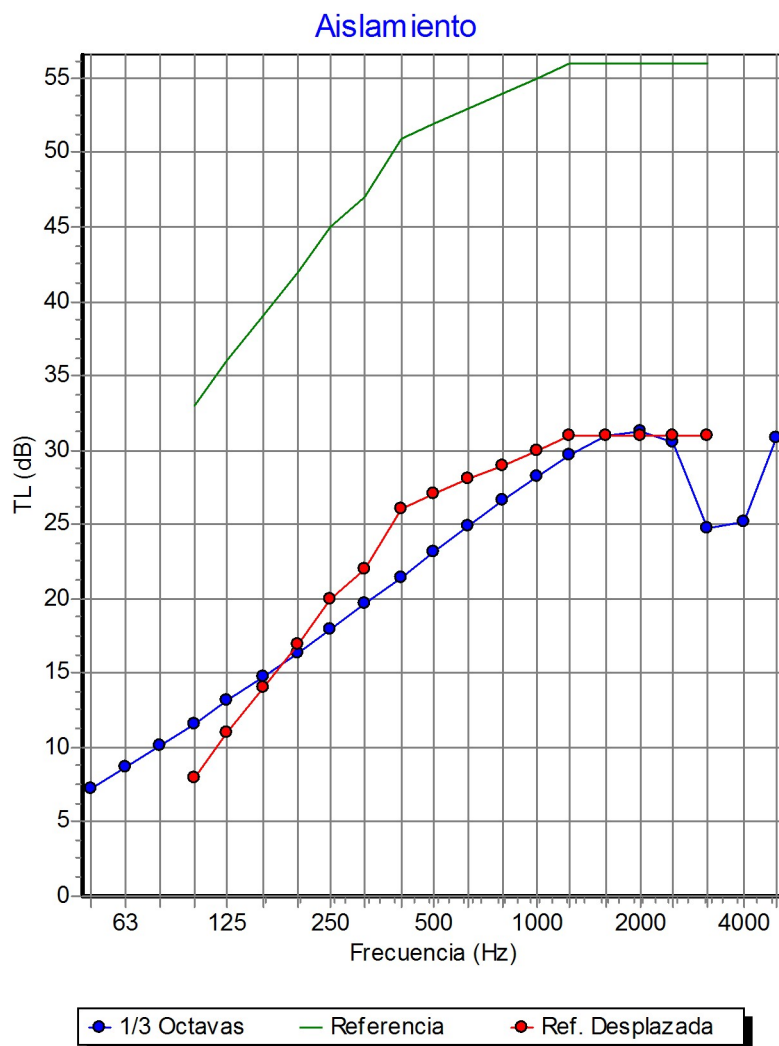
- Vidro simples [4 mm];

INFORME

Predicción del Índice de Aislamiento, R

Material/es:	Vidrio		
Espesor (mm):	4x1		
Fecha del Cálculo:	10-2014	Hora del Cálculo:	18:01:59

f (Hz)	R (dB)
50	7,3
63	8,7
80	10,1
100	11,6
125	13,2
160	14,8
200	16,4
250	18
315	19,7
400	21,4
500	23,1
630	24,9
800	26,6
1000	28,2
1250	29,7
1600	30,9
2000	31,3
2500	30,5
3150	24,7
4000	25,2
5000	30,8



Valoración según la Norma UNE-EN ISO 717-1:	$R_w(C;Ctr;C_{50-5000};Ctr_{50-5000}) = R_w(C;Ctr) = 27(-2;-4;-1;-6)$ dB
Valoración en decibelios A:	$R_g = 25,5$ dBA

Comentarios:

**DATOS DE MATERIALES****Capa Impermeable 1**

Materiales:	Vidrio
Espesor (mm):	4x1
Masa por unidad de área (kg/m²):	10x1
Frecuencia Crítica (Hz):	3300

Datos del Cálculo

Ángulo Inferior:	0°
Ángulo Límite:	89
N° de Intervalos:	1000
Velocidad de propagación del sonido en el aire (m/s):	346,6
Densidad del aire (kg/m³):	1,18
Precisión:	1/48 de Octavas
Corrección de capa impermeable:	No

RELATÓRIOS DE PREVISÃO DE ÍNDICES DE ISOLAMENTO, R_w

Vidros

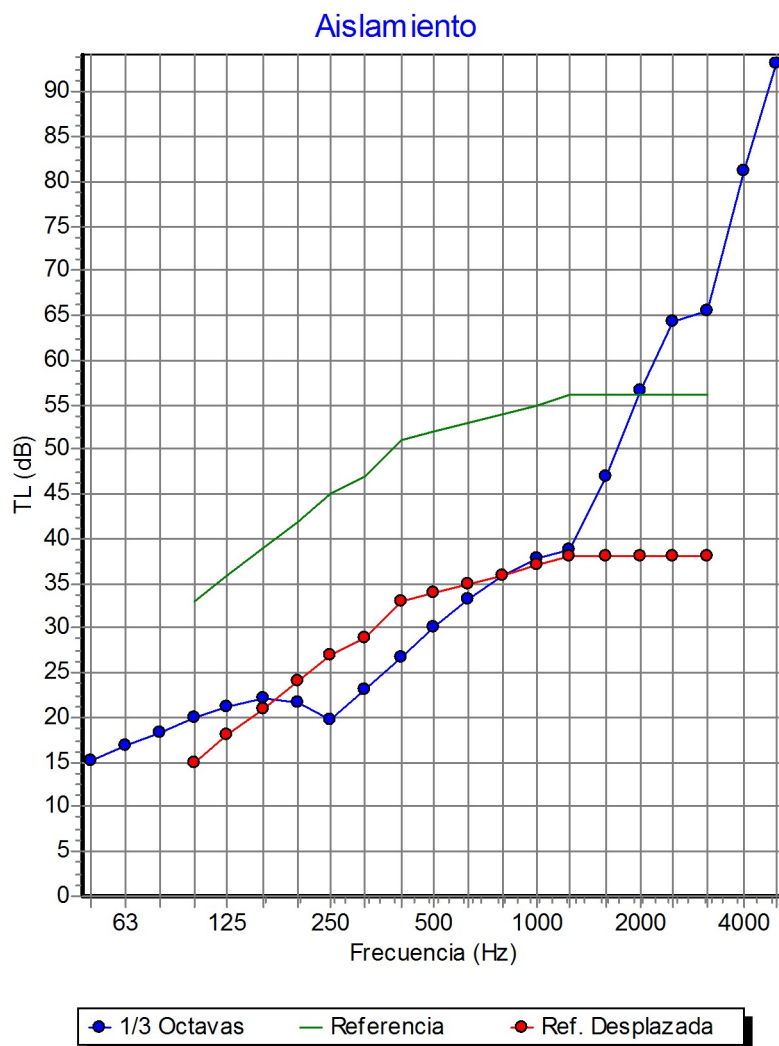
- Pano exterior [4 mm];
- Caixa-de-ar [12 mm];
- Pano interior [8 mm]

INFORME

Predicción del Índice de Aislamiento, R

Material/es:	Vidrio de 4 mm + Cámara de Aire + Vidrio de 8 mm		
Espesor (mm):	4x1 + 12 + 8x1		
Fecha del Cálculo:	10-2014	Hora del Cálculo:	18:03:20

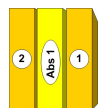
f (Hz)	R (dB)
50	15,1
63	16,8
80	18,4
100	19,9
125	21,2
160	22,1
200	21,7
250	19,8
315	23
400	26,7
500	30,1
630	33,3
800	36
1000	37,8
1250	38,7
1600	47
2000	56,7
2500	64,2
3150	65,6
4000	81,1
5000	93,2



Valoración según la Norma UNE-EN ISO 717-1: $R_w(C;C_{tr};C_{50-5000};C_{tr\ 50-5000}) = 34(-1;-5;-1;-6)$ dB

Valoración en decibelios A: $R_g = 32,5$ dBA

Comentarios:



DATOS DE MATERIALES

Capa Impermeable 1

Materiales:	Vidrio de 8 mm
Espesor (mm):	8x1
Masa por unidad de área (kg/m²):	12x1
Frecuencia Crítica (Hz):	1306,41

Capa Absorbente

Material:	Camara de Aire
Espesor (mm):	12
Resistencia específica al flujo (Rayls/m):	--

Capa Impermeable 2

Materiales:	Vidrio de 4 mm
Espesor (mm):	4x1
Masa por unidad de área (kg/m²):	10x1
Frecuencia Crítica (Hz):	3300

INFORME**Frecuencias de interés**

Frecuencia de ondas estacionarias en el aire (Hz):	14441,7 y múltiplos
---	---------------------

Frecuencia de resonancia del sistema (Hz):	234,52
---	--------

Limitación del Absorbente

Frecuencia límite inferior (Hz):	--
---	----

Frecuencia límite superior (Hz):	--
---	----

Datos del Cálculo

Ángulo Inferior:	0°
Ángulo Límite:	89

N° de Intervalos:	1000
--------------------------	------

Velocidad de propagación del sonido en el aire (m/s):	346,6
--	-------

Densidad del aire (kg/m3):	1,18
-----------------------------------	------

Precisión:	1/48 de Octavas
-------------------	-----------------

Corrección de capa impermeable:	No
--	----

RELATÓRIOS DE PREVISÃO DE ÍNDICES DE ISOLAMENTO, R_w

Vidros

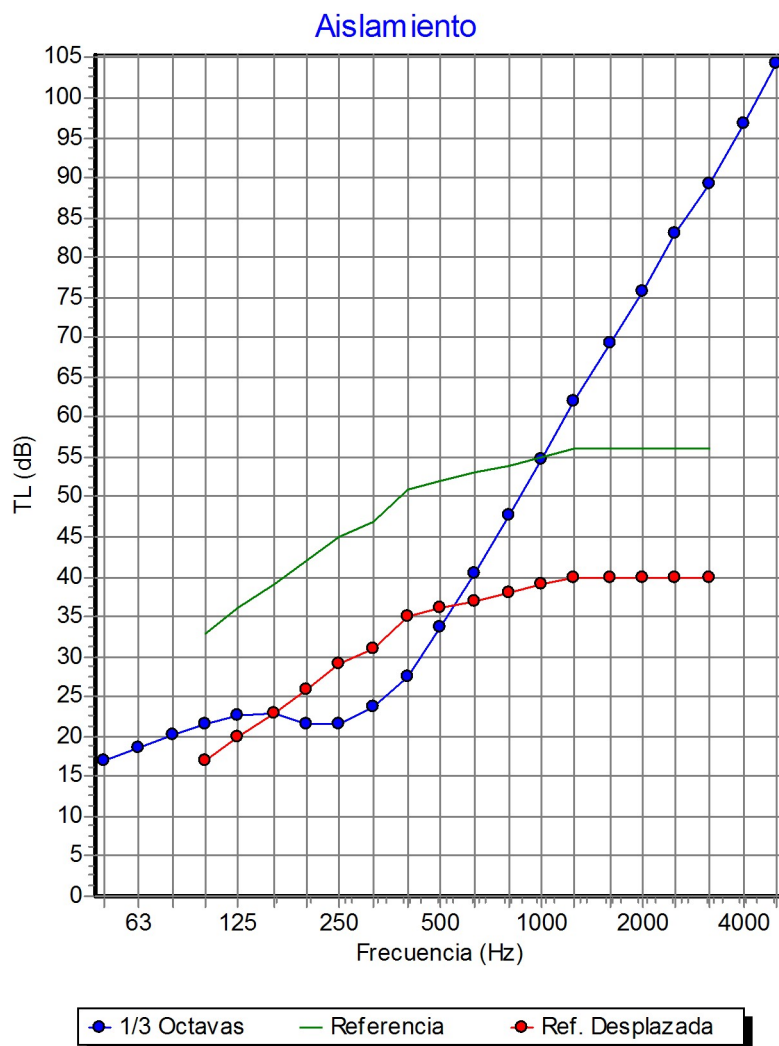
- Pano exterior [4 mm];
- Caixa-de-ar [12 mm];
- Pano interior de vidro laminado [4 + 4 mm]

INFORME

Predicción del Índice de Aislamiento, R

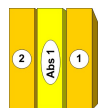
Material/es:	Vidrio de 4 mm + Cámara de Aire + Vidrio Laminar 4+4		
Espesor (mm):	4x1 + 12 + 9x1		
Fecha del Cálculo:	10-2014	Hora del Cálculo:	18:05:08

f (Hz)	R (dB)
50	17,1
63	18,7
80	20,2
100	21,6
125	22,6
160	23
200	21,5
250	21,6
315	23,7
400	27,6
500	33,6
630	40,5
800	47,6
1000	54,8
1250	61,9
1600	69,3
2000	75,8
2500	82,9
3150	89,3
4000	96,8
5000	104,3



Valoración según la Norma UNE-EN ISO 717-1:	$R_w(C;C_{tr};C_{50-5000};C_{tr 50-5000}) = 36(-2;-6;-1;-6)$ dB
Valoración en decibelios A:	$R_g = 34,3$ dBA

Comentarios:



DATOS DE MATERIALES

Capa Impermeable 1

Materiales:	Vidrio Laminar 4+4
Espesor (mm):	9x1
Masa por unidad de área (kg/m²):	19,9998x1
Frecuencia Crítica (Hz):	250

Capa Absorbente

Material:	Camara de Aire
Espesor (mm):	12
Resistencia específica al flujo (Rayls/m):	--

Capa Impermeable 2

Materiales:	Vidrio de 4 mm
Espesor (mm):	4x1
Masa por unidad de área (kg/m²):	10x1
Frecuencia Crítica (Hz):	3300

INFORME**Frecuencias de interés**

Frecuencia de ondas estacionarias en el aire (Hz):	14441,7 y múltiplos
---	---------------------

Frecuencia de resonancia del sistema (Hz):	212,13
---	--------

Limitación del Absorbente

Frecuencia límite inferior (Hz):	--
---	----

Frecuencia límite superior (Hz):	--
---	----

Datos del Cálculo

Ángulo Inferior:	0°
Ángulo Límite:	89

N° de Intervalos:	1000
--------------------------	------

Velocidad de propagación del sonido en el aire (m/s):	346,6
--	-------

Densidad del aire (kg/m3):	1,18
-----------------------------------	------

Precisión:	1/48 de Octavas
-------------------	-----------------

Corrección de capa impermeable:	No
--	----