

CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO ACÚSTICO DE EDIFÍCIOS REABILITADOS

DÓRIS MAFALDA DIAS QUEIRÓS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS

Orientador: Professor Doutor Rui Manuel Gonçalves Calejo Rodrigues

JULHO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus Pais

Visto em substância própria e histórica, o Porto é romântico, franciscano e democrático. No cais, nas arcarias e ruelas da Ribeira e Miragaia, ou nas ásperas congostas que trepam até à Sé e à Cordoaria, respira-se e palpa-se Idade Média.

Jaime Cortesão

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de mais, ao Professor Rui Calejo. A sua motivação, a completa disponibilidade, e o carinho com que trata os alunos quase fazem esmorecer o seu notável conhecimento académico, e deram-me alento a cada passo deste empreendimento.

Aos colaboradores do NI&DEA, Pedro Rodrigues e Eduardo Afonso que me acompanharam nas jornadas dos ensaios acústicos pelos edifícios.

Ao Eng. Nuno Gonçalves, pela disponibilidade para a realização dos ensaios bem como pela ajuda preciosa no processamento de dados.

Ao Eng. Miguel Monteiro e à Arq. Paula Santos, por me terem disponibilizado os edifícios para a realização dos ensaios, sem os quais este trabalho não seria possível.

À Eng. Eduarda Silva, ao Eng. Nuno Gonçalves, à Eng. Filomena Macedo e à Eng. Mónica Mota, por facilitarem a busca dos edifícios a ensaiar e por me disponibilizarem informações importantes para o desenvolvimento do trabalho.

Ao Nelson por todo o apoio, paciência e carinho partilhado no desenvolvimento do trabalho.

RESUMO

O estudo da sobreexposição ao ruído urbano tem, hoje, uma importância crescente, devido aos seus efeitos negativos na saúde pública.

A consciencialização da população para este problema levou à necessidade de definição de um critério de conforto acústico como parâmetro de qualidade dos edifícios de habitação. O conforto interior proporcionado pela envolvente dos edifícios desempenha um papel vital no bem-estar e qualidade de vida dos seus ocupantes.

As acções de reabilitação em centros históricos têm vindo a assumir maior relevo na realidade construtiva portuguesa, pelo que é de toda a importância aprofundar o estudo das exigências das soluções construtivas aplicadas na reabilitação de edifícios.

A aplicação destes parâmetros no contexto da reabilitação acústica de edifícios antigos em núcleos históricos tem características próprias. A grande dificuldade em cumprir as actuais exigências, tendo por base a necessidade de perpetuar as características históricas intrínsecas, conduz à urgência de novas soluções tecnológicas que se moldem à memória histórica que se pretende manter.

Neste sentido procurou-se caracterizar o comportamento acústico de um conjunto de edifícios situados no centro histórico da cidade do Porto, pela comparação do comportamento de envolventes, alvo de intervenções de restauro, com outros de tecnologia semelhante que permaneçam no seu estado original.

Conclui-se que o comportamento das principais soluções tradicionais usadas em fachadas e pavimentos demonstra um grande potencial, embora, a sua associação com novas tecnologias construtivas garante um cumprimento mais confortável das exigências regulamentares.

PALAVRAS-CHAVE: Ruído Urbano, Acústica de Edifícios, Reabilitação, Centro Histórico do Porto, Isolamento Sonoro.

ABSTRACT

The study of urban noise overexposure plays today an important role due to its impact on public health.

The public's recent rise in awareness to this problem led to the need to define a criterion for acoustic comfort to be applied as a condition for the building's quality. The interior comfort provided by the building's envelope plays a significant role to the welfare and quality of life of its occupants.

The rehabilitation of historical centers has gained importance in the context of the Portuguese construction industry, which makes the further study of the requirements for constructive solutions applied to the rehabilitation of buildings a matter of the utmost importance.

The application of these parameters within the context of the acoustical rehabilitation in historical centers assumes a greater magnitude. The need to preserve the historical patrimony of these buildings leads to the urgency of new technological solutions that can shape the historical memory that we want to keep.

This being said, the present work seeks to characterize the acoustical behavior of a set of rehabilitated buildings in Oporto's historical center, by comparison of the behavior of their envelopes to the ones of buildings with similar technologies, still in their original state.

The results lead to the conclusion that the performance of traditional solutions used in facades and floors shows great potential. However, its association with new technologies allows for a better compliance with construction codes.

KEYWORDS: Urban Noise, Acoustics of Buildings, Rehabilitation, Historical Center of Oporto, Sound Insolation.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 MOTIVAÇÃO	1
1.2 ÂMBITO E OBJECTIVOS	2
1.3 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA E CULTURAL	3
1.4 ESTRUTURA DA TESE	5
2 EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS E REGULAMENTAÇÃO ACÚSTICA	7
2.1 INTRODUÇÃO	7
2.2 BREVE HISTÓRIA DA ACÚSTICA	7
2.3 ENQUADRAMENTO LEGAL EM PORTUGAL	9
2.3.1 A URGÊNCIA DE UM BOM AMBIENTE ACÚSTICO	9
2.3.2 EVOLUÇÃO CRONOLÓGICA DA REGULAMENTAÇÃO ACÚSTICA PORTUGUESA	10
2.3.3 REGULAMENTO DOS REQUISITOS ACÚSTICOS DOS EDIFÍCIOS	11
2.3.3.1 Âmbito de aplicação do RRAE	12
2.3.3.2 Requisitos Acústicos dos Edifícios	12
3 SÍNTESE DO CONHECIMENTO	15
3.1 INTRODUÇÃO	15
3.2 O SOM NO AR	15
3.3 LEI DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS SONORAS	16
3.4 CARACTERIZAÇÃO DO SOM	18
3.4.1 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA	18
3.4.2 ANÁLISE EM FREQUÊNCIA	19
3.4.3 BANDAS DE FREQUÊNCIA	19
3.4.4 NÍVEL SONORO	20
3.4.5 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA CONTÍNUO EQUIVALENTE	22
3.5 QUALIDADE ACÚSTICA DE ESPAÇOS FECHADOS	23
3.5.1 MECANISMOS DE DISSIPACÃO DA ENERGIA SONORA	23

3.5.1.1 Absorção sonora.....	23
3.5.1.2 Tempo de reverberação	24
4 TRANSMISSÃO SONORA.....	25
4.1 INTRODUÇÃO	25
4.2 ISOLAMENTO A SONS AÉREOS.....	26
4.2.1 MODELO TEÓRICO DE COMPORTAMENTO	26
4.2.1.1 Elementos simples.....	26
4.2.1.2 Elementos duplos	27
4.2.2 ISOLAMENTO A SONS AÉREOS ENTRE ESPAÇOS	28
4.2.2.1 Medições <i>in situ</i>	30
4.2.3 ISOLAMENTO A SONS AÉREOS DE ELEMENTOS DE FACHADA	32
4.2.3.1 Medições <i>in situ</i>	32
4.3 ISOLAMENTO A SONS DE PERCUSSÃO	33
4.3.1 ISOLAMENTO SONORO A SONS DE PERCUSSÃO ENTRE COMPARTIMENTOS.....	34
4.3.1.1 Medições <i>in situ</i>	34
4.4 ISOLAMENTO SONORO DE EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES	36
4.4.1 AVALIAÇÃO DO RÚIDO PARTICULAR DE EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES	36
4.4.1.1 Medições <i>in situ</i>	36
5 TIPIFICAÇÃO DO PARQUE EDIFICADO OBJECTO DE ESTUDO.....	39
5.1 INTRODUÇÃO	39
5.2 TIPIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS CONVIVENTES NA BAIXA DO PORTO.....	39
5.2.1 ELEMENTOS DE FACHADA	41
5.2.2 PAREDES DE MEAÇÃO.....	43
5.2.3 VÃOS ENVIDRAÇADOS.....	44
5.2.4 PORTAS.....	47
5.2.4.1 Portas exteriores.....	47
5.2.4.2 Portas interiores.....	48
5.2.5 PAVIMENTOS.....	49
6 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE EDIFÍCIOS ALVO	53
6.1 INTRODUÇÃO	53
6.2 DESCRIÇÃO TECNOLÓGICA DE SOLUÇÕES	54

6.2.1 EDIFÍCIO A.....	54
6.2.1.1 Pormenorização construtiva.....	55
6.2.2 EDIFÍCIO B.....	59
6.2.2.1 Pormenorização construtiva.....	60
6.2.3 EDIFÍCIO C.....	63
6.2.3.1 Pormenorização construtiva.....	64
6.2.4 EDIFÍCIO D.....	72
6.2.4.1 Pormenorização construtiva.....	73
6.2.5 EDIFÍCIO E.....	75
6.2.5.1 Pormenorização construtiva.....	77
7 AVALIAÇÃO POR ENSAIOS ACÚSTICOS.....	87
7.1 INTRODUÇÃO.....	87
7.2 CONDIÇÕES EXIGENCIAIS.....	87
7.3 TRATAMENTO DE DADOS – EDIFÍCIO B.....	89
7.3.1 PROCESSAMENTO DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DO ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉREOS DO ELEMENTO DE FACHADA, $D_{2m,nT,w}$	89
7.3.1.1 Correções relativas ao ruído de fundo.....	90
7.3.1.2 Determinação do tempo de reverberação.....	91
7.3.1.3 Determinação do índice único de avaliação, $D_{2m,nT,w}$	91
7.3.1.4 Termo de adaptação espectral, C e C_{tr}	93
7.3.2 PROCESSAMENTO DOS RESULTADO DAS MEDIÇÕES DO ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉREOS ENTRE COMPARTIMENTOS, $D_{nT,w}$	94
7.3.2.1 Correções relativas ao ruído de fundo.....	95
7.3.2.2 Determinação do índice único de avaliação, $D_{nT,w}$	96
7.3.3 PROCESSAMENTO DOS RESULTADO DAS MEDIÇÕES DO ISOLAMENTO SONORO A SONS DE PERCUSSÃO ENTRE COMPARTIMENTOS, $L'_{nT,w}$	98
7.3.3.1 Correções relativas ao ruído de fundo.....	99
7.3.3.2 Determinação do índice único de avaliação, $L'_{nT,w}$	99
7.4 SÍNTESE DE RESULTADOS.....	101
7.4.1 NÍVEL DE AVALIAÇÃO DO RUÍDO PARTICULAR DE EQUIPAMENTOS COLECTIVOS DO EDIFÍCIO, $L_{AR,nT,w}$	101
7.4.2 AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS DE CONDUÇÃO AÉREA ENTRE O EXTERIOR E QUARTOS OU ZONAS DE ESTAR DOS FOGOS, $D_{2m,nT,w}$	102
7.4.3 AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS DE CONDUÇÃO AÉREA ENTRE COMPARTIMENTOS DE UM FOGO E QUARTOS OU ZONAS DE ESTAR DE OUTRO FOGO, $D_{nT,w}$	103

7.4.4 AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS DE CONDUÇÃO AÉREA ENTRE ZONAS DE CIRCULAÇÃO DO COMUM DO EDIFÍCIO E QUARTOS OU ZONAS DE ESTAR DOS FOGOS, $D_{nT,w}$	105
7.4.5 AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS DE CONDUÇÃO AÉREA ENTRE COMÉRCIO OU SERVIÇOS E QUARTOS OU ZONAS DE ESTAR DOS FOGOS, $D_{nT,w}$	106
7.4.6 AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS DE PERCUSSÃO ENTRE COMPARTIMENTOS DE UM FOGO E QUARTOS OU ZONAS DE ESTAR DE OUTRO FOGO, $L'_{nT,w}$	107
7.4.7 AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS DE PERCUSSÃO ENTRE COMÉRCIO OU SERVIÇOS E QUARTOS OU ZONAS DE ESTAR DOS FOGOS, $L'_{nT,w}$	108

8 DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES	109
8.1 DISCUSSÃO DE RESULTADOS	109
8.1.1 ELEMENTOS DE FACHADA	109
8.1.2 ELEMENTOS INTERIORES DE COMPARTIMENTAÇÃO	112
8.2 RECOMENDAÇÕES	117
8.2.1 VÃOS ENVIDRAÇADOS.....	117
8.2.2 PAVIMENTOS.....	126
8.3 SÍNTESE DE CONCLUSÕES	127
8.4 PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Edifício típico no Centro Histórico do Porto.	2
Figura 1.2 – Centro Histórico do Porto. [5].....	4
Figura 3.1 – Variação de pressão provocada pelas ondas sonoras.	15
Figura 3.2 – Volume de gás que provoca alterações na sua envolvente.....	16
Figura 3.3 – Noções de exposição ao ruído em situações do quotidiano.	18
Figura 3.4 – Exemplos práticos de variabilidade em frequência.	19
Figura 3.5 – Descrição das curvas de ponderação A, B, C e D. Adaptado de [18].....	21
Figura 3.6 – Nível de avaliação contínuo equivalente, L_{eq}	22
Figura 3.7 – Mecanismo de dissipação energia sonora.....	23
Figura 4.1 – Esquema representativo da transmissão sonora de sons aéreos (esq.) e de sons de percussão (dir).	25
Figura 4.2 – Caminhos de transmissão sonora por via directa (TD) e marginal (TM).	26
Figura 4.3 – Modelo teórico do comportamento da transmissão sonora num elemento construtivo simples.	26
Figura 4.4 – Evolução típica dos valores de isolamento sonoro a sons aéreos em elementos duplos.....	27
Figura 4.5 – Evolução típica dos valores de isolamento sonoro a sons aéreos em elementos duplos com frequências de coincidência iguais (esq.) e diferentes (dir.).	28
Figura 4.6 – Transmissão sonora entre compartimentos (em laboratório).....	28
Figura 4.7 – Transmissão sonora entre compartimentos (<i>in situ</i>).	29
Figura 4.8 – Esquema de medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos.	30
Figura 4.9 – Curvas de referência para sons de condução aérea para as bandas de oitava (dir.) e de terço de oitava (esq.). [21]	31
Figura 4.10 - Esquema de medição do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas.	32
Figura 4.11 – Esquema de funcionamento do isolamento sonoro a sons de percussão.	33
Figura 4.12 – Comportamento, em frequência, da influência de uma camada resiliente sobre piso rígido.	34
Figura 4.13 – Esquema de medição do isolamento sonoro a sons de percussão.	34
Figura 4.14 – Curvas de referência para sons de percussão para as bandas de oitava (dir.) e de terço de oitava (esq.). [24]	36
Figura 4.15 – Esquema de medição do nível de avaliação do ruído particular de equipamentos e instalações....	36
Figura 5.1 – Representação virtual de diversas formas arquitectónicas conviventes no Centro Histórico do Porto.	39
Figura 5.2 – Esquema representativo das soluções correntes no edifício da Baixa portuense. Adaptado de [25].....	40
Figura 5.3 – Alçado de uma fachada do Centro Histórico do Porto.	41
Figura 5.4 – Corte transversal tipo de paredes exteriores em alvenaria de pedra (a), alvenaria mista de pedra e tijolo (b) e madeira e tijolo (c) e de tabique (d).....	42
Figura 5.5 – Soluções de paredes exteriores em alvenaria de pedra com e sem revestimento cerâmico.....	42

Figura 5.6 – Soluções de paredes exteriores em tabique. [26]	43
Figura 5.7 – Paredes de empena revestidas por asfalto (a), soletos de ardósia (b) e chapa zincada (c).	43
Figura 5.8 – Corte esquemático de uma janela corrente da Baixa do Porto. [28]	44
Figura 5.9 – Alçados de janelas de batente de varanda (a), batente de peito (b) e de guilhotina (c).....	45
Figura 5.10 – Corte transversal tipo de janelas de batente de varanda (a), batente de peito (b) e de guilhotina (c).....	45
Figura 5.11 – Janela exterior de batente com portadas interiores.	46
Figura 5.12 – Janela exterior de batente de varanda com portadas interiores.....	46
Figura 5.13 – Janela exterior de guilhotina.	46
Figura 5.14 – Alçado tipo de uma porta exterior de duas folhas.	47
Figura 5.15 – Portas exteriores características do edificado portuense.	47
Figura 5.16 – Alçado tipo de portas interiores encimadas por bandeira fechada (a), por bandeira com caixilho em vidro (b) e sem bandeira (c).	48
Figura 5.17 – Portas interiores típicas do edificado portuense.....	48
Figura 5.18 – Corte esquemático da solução tipo usada em pavimentos da Baixa portuense. [27]	49
Figura 5.19 – Corte transversal tipo de pavimento em madeira.....	50
Figura 5.20 – Constituição de pavimento em estrutura de madeira.....	50
Figura 5.21 – Pavimento estrutural com revestimento superior em soalho (a) e inferior em estuque (b).	51
Figura 6.1 – Localização geográfica de edifícios alvo.....	53
Figura 6.2 – Alçado do edifício A. Adaptado de [26].	54
Figura 6.3 – Identificação das soluções edificantes do rés-do-chão (a), 1º (b) e 2º (c) pisos do edifício A.....	55
Figura 6.4 – Esquema conceptual da parede da envolvente exterior.	56
Figura 6.5 – Esquema conceptual da parede interior de compartimentação (tabique).	56
Figura 6.6 – Esquema conceptual do pavimento do comércio.....	56
Figura 6.7 – Esquema conceptual do pavimento de separação entre o comércio e habitação.	57
Figura 6.8 – Esquema conceptual do pavimento de separação entre habitações distintas.	57
Figura 6.9 – Esquema conceptual do vão envidraçado.	58
Figura 6.10 – Esquema conceptual do vão envidraçado.	58
Figura 6.11 – Esquema conceptual do vão envidraçado.	59
Figura 6.12 – Alçado do edifício B.	60
Figura 6.13 – Identificação das soluções edificantes do rés-do-chão (a) e 1º piso (b) do edifício B.....	61
Figura 6.14 – Esquema conceptual da parede da envolvente exterior.	61
Figura 6.15 – Esquema conceptual da parede de interior de compartimentação (tabique).	62
Figura 6.16 – Esquema conceptual do pavimento de separação entre habitações distintas.	62
Figura 6.17 – Esquema conceptual do vão envidraçado.	63
Figura 6.18 – Alçado do edifício C. Adaptado de [30].	64
Figura 6.19 – Identificação das soluções construtivas do rés-do-chão (a) e 1º (b) e 2º (c) pisos do edifício C.	65

Figura 6.20 - Esquema conceptual da parede exterior do rés-do-chão ao 3º piso.	66
Figura 6.21 – Esquema conceptual da parede de separação entre fogos distintos. Adaptado de [30].	66
Figura 6.22 – Esquema conceptual da parede de separação entre fogos e circulações comuns. Adaptado de [30].....	67
Figura 6.23 – Esquema conceptual da parede de compartimentação. Adaptado de [30].....	67
Figura 6.24 – Esquema conceptual da parede envolvente da caixa de escadas e elevador. Adaptado de [30]....	67
Figura 6.25 – Esquema conceptual da parede de separação entre compartimentos principais. Adaptado de [30].....	68
Figura 6.26 – Esquema conceptual do pavimento do comércio/serviços do piso 0.	68
Figura 6.27 – Esquema conceptual do pavimento de separação entre a habitação e os locais de comércio e serviços. Adaptado de [30].	69
Figura 6.28 – Esquema conceptual do pavimento de separação entre fogos distintos. Adaptado de [30].	70
Figura 6.29 – Esquema conceptual do vão envidraçado das fachadas frontal e lateral. Adaptado de [30].	70
Figura 6.30 – Esquema conceptual do vão envidraçado da fachada posterior. Adaptado de [30].	71
Figura 6.31 – Esquema conceptual da porta de entrada de fogos. Adaptado de [30].	71
Figura 6.32 – Alçado do edifício D. Adaptado de [30].	72
Figura 6.33 - Identificação das soluções edificantes do 3º piso do edifício D.	73
Figura 6.34 – Esquema conceptual da parede exterior correspondente ao 3º piso.	74
Figura 6.35 – Esquema conceptual da parede de separação entre fogos distintos. Adaptado de [30].	74
Figura 6.36 – Esquema conceptual da parede interior de compartimentação. Adaptado de [30].	75
Figura 6.37 – Esquema conceptual do vão envidraçado. Adaptado de [30].	75
Figura 6.38 – Alçado da primeira parcela do edifício E. Adaptado de [31].	76
Figura 6.39 – Alçado da segunda parcela do edifício E. Adaptado de [31].....	76
Figura 6.40 – Identificação das soluções construtivas do rés-do-chão (a) da primeira parcela do edifício E.	77
Figura 6.41 – Identificação das soluções edificantes do 1º(b),2º,3º e 4º(c) pisos da primeira parcela do edifício E.	78
Figura 6.42 – Identificação das soluções construtivas do rés-do-chão (a) e 1º piso (b) da segunda parcela do edifício E.	79
Figura 6.43 – Identificação das soluções edificantes do 2º (c), 3º e 4º (d) pisos da segunda parcela do edifício E.	80
Figura 6.44 – Esquema conceptual da parede que constitui a envolvente exterior. Adaptado de [30].	81
Figura 6.45 – Esquema conceptual da parede de separação entre fogos distintos. Adaptado de [30].	81
Figura 6.46 – Esquema conceptual da parede interior de compartimentação. Adaptado de [30].	81
Figura 6.47 – Esquema conceptual da parede de separação entre habitação e o elevador. Adaptado de [30]. ...	82
Figura 6.48 – Esquema conceptual do pavimento do rés-do-chão. Adaptado de [30].....	82
Figura 6.49 – Esquema conceptual do pavimento de separação entre fogos de habitação e comércio/serviços. Adaptado de [30].....	83
Figura 6.50 – Esquema conceptual do pavimento de separação entre fogos distintos. Adaptado de [30].	83

Figura 6.51 – Esquema conceptual da porta de entrada de fogos. Adaptado de [30].	84
Figura 6.52 – Esquema conceptual do vão envidraçado da fachada frontal. Adaptado de [30].	84
Figura 6.53 – Esquema conceptual do vão envidraçado da fachada posterior. Adaptado de [30].	85
Figura 7.1 – Identificação de zonas exigenciais avaliadas.	88
Figura 7.2 – Classificação das áreas de intervenção em zonas mistas e sensíveis de acordo com a carta de condicionantes do PDM do Porto. [32]	89
Figura 7.3 – Esquema de medição.	89
Figura 7.4 – Método gráfico de ajuste da curva real, $D_{2m,nT}$ à curva de referência.	92
Figura 7.5 – Esquema de medição.	94
Figura 7.6 – Método gráfico de ajuste da curva real, $D_{nT,w}$ à curva de referência.	97
Figura 7.7 – Esquema de medição.	98
Figura 7.8 – Método gráfico de ajuste da curva real, $L'_{nT,w}$ à curva de referência.	100
Figura 7.9 – Medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre o exterior e quartos ou zonas de estar dos fogos.	102
Figura 7.10 – Medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre habitações adjacentes de pisos consecutivos.	103
Figura 7.11 - Medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre habitações adjacentes do mesmo piso.	104
Figura 7.12 – Medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos adjacentes do mesmo piso.	105
Figura 7.13 – Medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre zonas destinadas a comércio ou serviços e habitações adjacentes de pisos consecutivos.	106
Figura 7.14 – Medição do isolamento sonoro a sons de percussão entre habitações adjacentes de pisos consecutivos.	107
Figura 7.15 – Medição do isolamento sonoro a sons de percussão entre zonas destinadas a comércio ou serviços e habitações adjacentes de pisos consecutivos.	108
Figura 8.1 – Esquema construtivo tipo da parte opaca do elemento fachada.	110
Figura 8.2 – Mapa de cálculo de uma parede típica em alvenaria de pedra. Cedido por [30].	111
Figura 8.3 – Comparação do comportamento acústico de soluções tradicionais face às actuais.	113
Figura 8.4 – Avaliação quantitativa da contribuição de isolamento sonoro das soluções de pavimentos ensaiados (entre habitações distintas).	114
Figura 8.5 – Comparação do comportamento acústico de soluções tradicionais face às actuais.	115
Figura 8.6 – Comparação de soluções de reabilitação actuais.	116
Figura 8.7 – Alçado e corte vertical de uma janela em guilhotina típica do edificado em estudo.	117
Figura 8.8 – Esquema de execução do pormenor AA' da janela em guilhotina.	118
Figura 8.9 – Esquema de execução do pormenor BB' da janela de guilhotina.	119
Figura 8.10 – Alçado e corte vertical de uma janela de peito de batente típica do edificado em estudo.	120
Figura 8.11 – Esquema de execução do pormenor CC' da janela de peito de batente.	121
Figura 8.12 – Esquema de execução do pormenor DD' da janela de peito de batente.	122
Figura 8.13 – Esquema de execução do pormenor EE' da janela de peito de batente.	123

Figura 8.14 – Reabilitação de uma peça de caixilharia típica do Centro Histórico do Porto. 124

Figura 8.15 – Reabilitação de uma peça de caixilharia típica do Centro Histórico do Porto. 125

Figura 8.16 – Esquema de pavimento tradicional reforçado com material resiliente e absorvente sonoro..... 126

Figura 8.17 – Esquema de pavimento tradicional reforçado com material resiliente e absorvente sonoro..... 126

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Artigo 5º: Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras.....	12
Quadro 3.1 – Intervalos de 1/1 oitava e 1/3 de oitava normalizados no domínio audível.	20
Quadro 3.2 – Valores numéricos da curva de ponderação A.	21
Quadro 4.1 – Valores das descrições analíticas das curvas de referência referentes a sons aéreos.	31
Quadro 4.2 – Valores das descrições analíticas das curvas de referência referentes a sons de percussão.....	35
Quadro 7.1 – Mapa de ensaios realizados.	88
Quadro 7.2 – Níveis de pressão sonora obtidos no local emissor por banda de 1/3 de oitava.....	90
Quadro 7.3 – Níveis médios de pressão sonora obtidos no local receptor por banda de 1/3 de oitava.....	90
Quadro 7.4 – Níveis de pressão sonora no local receptor corrigidos, por banda de 1/3 de oitava.	91
Quadro 7.5 – Valores do tempo de reverberação obtidos no compartimento receptor.....	91
Quadro 7.6 – Valores obtidos para isolamento sonoro padronizado, $D_{2m,nT}$, por banda de 1/3 de oitava.	91
Quadro 7.7 – Procedimento de ajuste da curva real, $D_{2m,nT}$ à curva de referência.	93
Quadro 7.8 – Espectros para cálculo dos termos de adaptação.	93
Quadro 7.9 – Níveis de pressão sonora obtidos no local emissor por banda de 1/3 de oitava.....	95
Quadro 7.10 – Níveis de pressão sonora obtidos no local receptor por banda de 1/3 de oitava.	95
Quadro 7.11 – Níveis de pressão sonora no local receptor corrigidos, por banda de 1/3 de oitava.	96
Quadro 7.12 – Valores obtidos para isolamento sonoro padronizado, D_{nT} , por banda de 1/3 de oitava.....	96
Quadro 7.13 – Procedimento de ajuste da curva real, D_{nT} à curva de referência.	97
Quadro 7.14 – Níveis de pressão sonora obtidos no local receptor por banda de 1/3 de oitava.	98
Quadro 7.15 – Níveis de pressão sonora no local receptor, por banda de 1/3 de oitava.....	99
Quadro 7.16 – Valores obtidos para isolamento sonoro padronizado, L'_{nT} , por banda de 1/3 de oitava.	99
Quadro 7.17 – Procedimento de ajuste da curva real, L'_{nT} à curva de referência.	101
Quadro 7.18 - Valores obtidos de $L_{Ar,nT,w}$ para o ruído particular de equipamentos.....	101
Quadro 7.19 – Valores obtidos para o isolamento de paredes de fachada, $D_{2m,nT,w}$	102
Quadro 7.20 – Valores obtidos de $D_{nT,w}$ entre habitações adjacentes de pisos consecutivos.	103
Quadro 7.21 – Valores obtidos de $D_{nT,w}$ entre habitações adjacentes do mesmo piso.....	104
Quadro 7.22 – Valores obtidos de $D_{nT,w}$ entre zonas comuns e habitações adjacentes no mesmo piso.....	105
Quadro 7.23 – Valores obtidos de $D_{nT,w}$ entre zonas destinadas a comércio ou serviços e habitações adjacentes de pisos consecutivos.....	106
Quadro 7.24 – Valores obtidos de $L'_{nT,w}$ entre habitações adjacentes de pisos consecutivos.	107
Quadro 7.25 – Valores obtidos de $L'_{nT,w}$ entre zonas destinadas a comércio ou serviços e habitações adjacentes de pisos consecutivos.....	108
Quadro 8.1 – Definição dos padrões de conforto acústico pelo indicador L_n e o parâmetro $D_{2m,nT,w}$	110
Quadro 8.2 – Descrição dos vãos envidraçados adoptados.....	111

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

A – Absorção sonora equivalente (m²)

B – Largura de banda

c – Celeridade (m/s)

C ou C_{tr} – Termo de adaptação

D – Isolamento sonoro bruto (dB)

D_{2m,nT,w} – Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado

D_{nT,w} – Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado

E_a – Energia absorvida

E_i – Energia incidente

E_r – Energia reflectida

E_t – Energia transmitida

f – Frequência (Hz)

Hz – hertz

K_{tonal} – Componente que detecta as características tonais do ruído (dB(A))

L_{nT,w}' – Nível sonoro de percussão padronizado

L_A – Nível sonoro (dB(A))

L_{eq} – Nível sonoro contínuo equivalente (dB)

L_{Ar,nT} – Nível de avaliação padronizado

L_p – Nível de pressão sonora (dB)

p – Pressão sonora (Pa)

p₀ – Pressão sonora de referência (Pa)

R – Redução sonora (dB)

RGR – Regulamento Geral do Ruído

RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

S – Superfície real do material (m²)

STCP – Sociedade de Transportes Colectivos do Porto

T – Temperatura (K)

t – Tempo (s)

T – Tempo de reverberação (s)

T₀ – Tempo de reverberação de referência (s)

V – Volume do compartimento (m³)

α – Coeficiente de absorção sonora

1

INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

“Estamos voltados para a Igreja de Nossa Senhora da Conceição, na Praça do Marquês de Pombal, no Porto. Concentremo-nos. O que é que ouvimos? À esquerda, numa obra, uma broca incessante, que fura, fura e fura qualquer coisa. Atrás, noutra obra, é o barulho metálico dos ferros que se faz ouvir. Omnipresente, o ruminar dos autocarros da STCP, entrecortado por buzínadelas. Esquecemos que há ali gaiivotas, eventualmente alguns pássaros nas altas árvores que polvilham a praça. Estamos "submersos em ruído", diz Rui Calejo Rodrigues, professor da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e especialista em engenharia acústica. Uma condição que faz parte da vivência urbana e que, em algumas circunstâncias, se traduz numa redução da qualidade de vida.” [1]

O estudo da sobreexposição ao ruído urbano tem assumido grande importância, devido aos seus efeitos na saúde pública, não restringidos à perda de audição, mas também aos danos no bem-estar físico, mental e social.

Este mar de sons que compõe as cidades no qual vivemos mergulhados é causado pelo funcionamento dos estabelecimentos, tráfego de autocarros e camiões, tráfego aéreo e ferroviário, estaleiros de construção civil nas imediações, entre outros, e acarreta efeitos na saúde pública incluindo dificuldade de concentração e de recuperação de cansaço, hipertensão, problemas auditivos e stress.

A consciencialização da população para este problema obrigou a que, nos dias de hoje, se assista a uma crescente preocupação com os requisitos acústicos dos edifícios. A qualidade e conforto proporcionados pelos edifícios têm um papel vital para o bem-estar e qualidade de vida dos seus utentes.

Felizmente que, neste contexto, o critério de qualidade de conforto acústico como parâmetro de qualidade dos edifícios para habitação, ou mesmo para o exercício de outras actividades, é um factor de preocupação dos projectistas, durante todo o processo construtivo.

Estes temas assumem proporções ainda mais elevadas quando inseridos na problemática da reabilitação acústica de edifícios antigos, tendo por base a necessidade de manter a sua memória identitária, no sentido de perpetuar a cultura do espaço urbano associado.

A reabilitação de edifícios antigos surge da necessidade de potenciar a vinda de novos usufrutuários para os centros históricos que até então, devido ao processo expansivo da população para as periferias, fruto do desenvolvimento social e do aumento dos padrões de qualidade de vida, tem sofrido um forte despovoamento. É, então, fundamental transformar estes centros urbanos em pólos de vivência relacional, sendo para isso necessário reabilitá-los e revitalizá-los criando condições que assegurem conforto e qualidade de vida.

Esta realidade está cada vez mais presente nas preocupações dos vários intervenientes técnicos, políticos e população em geral, uma vez que todos vêm na opção por soluções de reabilitação a solução para a construção de um futuro mais sustentável.

Pelo facto da reabilitação de edifícios antigos ser um tema que tem vindo assumir maior relevo em Portugal, fazendo, hoje, parte da nossa realidade construtiva, é de toda a importância aprofundar o estudo das exigências de soluções construtivas usadas na reabilitação.

Neste enquadramento, a Acústica é uma das exigências que podem contribuir para a melhoria da qualidade de vida, envolvendo tecnologias de construção e escolhas de materiais que favoreçam o conforto interior.

Neste sentido, a motivação desta dissertação é tentar caracterizar algumas dessas soluções tecnológicas aplicadas na reabilitação acústica de edifícios antigos.

1.2 ÂMBITO E OBJECTIVOS

O objectivo deste trabalho insere-se no âmbito da problemática da reabilitação de edifícios antigos. A grande dificuldade em cumprir as actuais exigências aos edifícios reabilitados, associada à necessidade de preservação das características históricas intrínsecas, conduz à urgência de novas soluções tecnológicas que se moldem à imagem histórica que se tenta manter.

Neste sentido procurar-se-á caracterizar o comportamento acústico de edifícios reabilitados e verificar a sua conformidade com a legislação vigente.

Os parâmetros acústicos que vão ser alvo de medição e comparação são o isolamento sonoro a ruídos de condução aérea ($D_{2m,nT,w}$ e $D_{nT,w}$) e o isolamento sonoro a ruídos de percussão ($L'_{nT,w}$).

Na tentativa de melhor descrever o comportamento acústico das diferentes soluções aplicadas em reabilitação e os avanços conquistados neste sentido, emerge a necessidade de proceder a medições num conjunto de edifícios que já foram alvo de intervenções de restauro, bem como em edifícios de arquitectura e tecnologia construtiva semelhante que permaneçam no seu estado original, mais ou menos degradado, com vista à comparação de resultados.

Como proposta, prevê-se a indicação de medidas de beneficiação das soluções tradicionais, que se mostrem competitivas, justificando a sua aplicação.

A área de intervenção do estudo é dirigida para o Centro Histórico do Porto.



Figura 1.1 – Edifício típico no Centro Histórico do Porto.

1.3 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA E CULTURAL

“Afinal, o Porto, para verdadeiramente honrar o nome que tem, é, primeiro que tudo, este largo regaço aberto para o rio, mas que só do rio se vê, ou então, por estreitas bocas fechadas por muretes, pode o viajante debruçar-se para o ar livre e ter a ilusão de que todo o Porto é a Ribeira.” - José Saramago

O núcleo histórico do Porto é composto por um edificado de valor conjunto inegável, tendo já merecido a classificação de Património Mundial da UNESCO, em 1996.

Com a revolução industrial houve uma reorganização do espaço urbano da cidade do Porto, com o surgimento de uma nova realidade de indústria fabril, com grande necessidade de recursos humanos indiferenciados, que assomavam do Portugal rural, impondo uma procura habitacional de baixo custo, que não era provida pela cidade do Porto. Esta necessidade, associada ao surgimento das linhas de eléctrico que providenciavam os necessários movimentos pendulares dos operários, conduziu ao seu estabelecimento na periferia da cidade.

Estes fenómenos impuseram, ao longo das últimas décadas, uma expansão suburbana crescente que conduziu ao estabelecimento de novos núcleos urbanos periféricos. Estes novos centros urbanos possuíam uma capacidade atractiva derivada da quietude familiar, dos jardins privados e da liberdade da utilização do automóvel privado, pelo que arrebatarem ao centro do Porto a população das faixas mais jovens e com maior capacidade financeira. A Baixa ficou, então, habitada por uma população muito homogénea, envelhecida e pobre.

Assim, o centro histórico, que até então constituía o coração habitacional e comercial da cidade do Porto, perdeu a vivacidade, passando a privilegiar-se as novas periferias dotadas de edifícios, equipamentos e infra-estruturas de nível superior.

Por este motivo é fundamental reabilitá-la, revitalizá-la. Mas para que tal ocorra é necessário criar condições para fazer regressar os que partiram e potenciar a vinda de novos residentes, trabalhadores, estudantes e visitantes.

Os primeiros esforços neste sentido podem ser rastreados até 1962, quando o arquitecto paisagista Robert Auzelle coordenou o primeiro plano director da cidade, que contemplava a demolição de partes essenciais da estrutura medieval do núcleo histórico. Isto suscitou de imediato um movimento de reacção da parte dos portuenses [2], que despertaram para a necessidade de protecção do tecido antigo da sua cidade. Como tal, em 1974, no seguimento do 25 de Abril, constituiu-se o Comissariado para a Renovação Urbana da Área de Ribeira-Barredo (CRUARB). Este, sob diversos modelos e conjunturas – e a partir de 1991 com a Fundação para o Desenvolvimento da Zona Histórica do Porto [3]– promoveu uma nova abordagem para o tecido antigo, o qual deixa de ser visto como um problema e passa a ser cada vez mais tomado como um valor. Também as questões sociais passaram a ser entendidas como factor fundamental para a reabilitação urbana do centro histórico.

Em 2002, o CRUARB foi extinto pelo Município do Porto, justificado pela necessidade em agregar ao modelo de intervenção o interesse dos proprietários [4], mas deixou um legado de conhecimento prático e de empatia com os residentes, pela atitude de conservação de edifícios, residentes e até ambientes, que pautou toda a sua intervenção.

Em Maio de 1998 [3], o Porto foi confirmado como Capital Europeia da Cultura para o ano de 2001, juntamente com Roterdão. Com o intuito de requalificar as estruturas da cidade para albergarem tal evento, foi oficialmente criada em Dezembro de 1998 uma entidade de capitais exclusivamente públicos e estrutura empresarial – Porto 2001, S. A. A intervenção da sociedade centrou-se na requalificação e construção de alguns edifícios de carácter cultural e espaços públicos, na sua maioria localizados na Baixa.

Após as eleições autárquicas de 2001 registou-se uma significativa reforma na política para a cidade histórica. As características mais marcantes desta nova política parecem ser, por um lado, a associação do resto da Baixa da cidade ao tecido mais antigo do centro histórico e por outro, a prioridade dada aos mecanismos de mercado, com a constituição, em 2004, de uma Sociedade de Reabilitação Urbana – Porto Vivo, S.A. – para a dinamização das intervenções no imobiliário, que ao contrário da extinta Porto 2001, privilegia a habitação – tida como principal factor de revitalização da Baixa – em detrimento da intervenção no espaço público.

Como forma de incentivo ao investimento na reabilitação da baixa foram tomadas algumas decisões políticas, tais como benefícios fiscais, apoios financeiros e incentivos municipais, entre outros.

As intervenções nesse sentido são estratégicas para o futuro dos centros históricos e do sector da construção e contribuem decisivamente para a revitalização dos centros urbanos mais antigos, bem como para o incentivo a uma construção mais sustentável.

Actualmente, no Porto, observa-se uma nova tendência para valorizar a conservação, numa tentativa de travar a crescente decadência de longas décadas de esquecimento. O resultado é um puzzle edificado heterogéneo de peças ruinosas pontuado por intervenções recentes de restauro.

Em paralelo, denota-se uma profunda perda de densidade, o que não é, em si, desfavorável, já que as grandes densidades de outrora resultavam das inúmeras “ilhas”, onde se vivia em condições deploráveis. Verdadeiramente nefasta é a homogeneização demográfica instalada no centro histórico, já que parece que só ficou a viver nestas freguesias quem não teve condições para sair, pelo que a população residente é envelhecida e sem poder económico. Recentemente tem surgido uma nova procura de habitação e estúdios ou escritórios por parte de alguns profissionais liberais, mas os preços das habitações reabilitadas são proibitivos para a grande maioria dos jovens.

O modelo de vivência urbana preconizado para a baixa assenta nos novos conceitos do urbanismo sustentável, que vive da riqueza e diversidade de usos, funções e actividades. Pretende-se uma Baixa viva onde convivem a habitação, o comércio, a actividade empresarial, o turismo, a diversão nocturna, etc. Os horários e exigências destas diferentes actividades acrescem a exigência acústica dos edifícios em que tomam lugar.



Figura 1.2 – Centro Histórico do Porto. [5]

1.4 ESTRUTURA DA TESE

Este trabalho organiza-se em oito capítulos principais. No primeiro capítulo “Introdução” tem-se como objectivo a justificação da problemática abordada, o contexto histórico e cultural em que se insere, como justificação da motivação para levar a cabo um trabalho desta natureza.

No segundo capítulo “Evolução dos conceitos e regulamentação acústica” tem-se como objectivo a caracterização da Acústica como ciência, numa perspectiva evolutiva, bem como a contextualização histórica do aparecimento das primeiras imposições regulamentares.

O terceiro capítulo “Síntese do conhecimento” centra-se na introdução das bases da Acústica, com interesse no desenvolvimento do trabalho.

No capítulo quarto “Transmissão sonora” pretende-se organizar um esclarecimento simples do comportamento dos elementos de construção intervenientes na transmissão sonora entre espaços, associada à explicação da metodologia de determinação, *in situ*, das grandezas que se pretendem avaliar.

O quinto capítulo “Tipificação do parque edificado objecto de estudo” tem como objectivo a descrição das soluções típicas do edificado da Baixa portuense.

No sexto capítulo “Caracterização tecnológica de edifícios alvo” efectua-se o levantamento das soluções construtivas definidoras dos espaços em análise.

No penúltimo e sétimo capítulo “Avaliação por ensaios acústicos” pretende-se a apresentação dos resultados obtidos e a justificação da metodologia adoptada no cálculo dos mesmos.

Por fim, no capítulo “Discussão e Recomendações” efectua-se uma análise crítica dos resultados obtidos com vista à sugestão de soluções tecnológicas a aplicar em edifícios a reabilitar na Baixa do Porto.

2

EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS E REGULAMENTAÇÃO ACÚSTICA

2.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objectivo a caracterização da Acústica como ciência, numa perspectiva evolutiva, bem como a contextualização histórica do aparecimento das primeiras imposições regulamentares.

2.2 BREVE HISTÓRIA DA ACÚSTICA

Citando Roland [6], “*Admite-se geralmente que a música é privilégio da espécie humana*”.

Como tal, acredita-se que a origem da música remonta à era do paleolítico (há cerca de três milhões de anos). Tendo em conta que a história cronológica das origens do Homem é em si muito incerta, também a ordem de aparecimento dos fenómenos musicais, associados ao aparecimento do primeiro homínido com uma estrutura biológica apta à construção de instrumentos, acarreta, por consequência, algumas incertezas. [6]

Os primeiros estudos sobre a origem e propagação do som com papel relevante para a Acústica foram realizados por Pitágoras, filósofo e matemático grego. No século VI a.C. realizou várias experiências que se baseavam na vibração de cordas esticadas com a intenção de estudar e calcular as relações entre vibrações. [7]

As primeiras preocupações com a Acústica arquitectónica aparecem retratadas por Vitruvius (50-25 a.C.), engenheiro e arquitecto romano, na sua obra *De Architectura*. Na referida obra, Vitruvius trata das características acústicas de teatros gregos e romanos, mostra ter conhecimentos sobre ecos e reverberações e faz ainda referência aos vasos acústicos (admite-se que funcionem de forma semelhante aos ressoadores de Helmholtz). [7]

A compreensão dos processos físicos acústicos adquire novamente importância no século XVII. Destaca-se Marin Mersenne (1588-1648), matemático, filósofo e musicólogo francês, que determinou, através da medição do tempo de retorno de um eco, a velocidade de propagação do som no ar. Mais tarde Isaac Newton (1642-1727), unicamente a partir de cálculos teóricos, encontrou para a velocidade do som um valor próximo do real. [7]

No século XVIII assistiu-se a grandes avanços na Acústica, essencialmente no que diz respeito a estudos teóricos sobre a compreensão da vibração das cordas. Matemáticos como Brook Taylor (1685-1731), Daniel Bernoulli (1700-1782), Leonard Euler (1707-1783) e Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783) contribuíram para a determinação de uma solução dinâmica para a corda vibrante. Sendo que

este assunto apenas se viu resolvido por completo em 1822, por Joseph Fourier (1768-1830), consagrado pelos seus estudos sobre os fenómenos de transferência de calor - Teorema de Fourier. [7]

Muitos autores defendem que a aplicação da palavra Acústica, como ciência que estuda o som, surge num artigo datado de 1702, *Système General Des Intervalles dès Sons*, escrito pelo cientista francês Joseph Sauveur (1653-1716). [7]

No século XIX, os gigantes da acústica foram Helmholtz (1821-1894), físico, médico e cientista alemão, que consolidou o domínio da acústica fisiológica, e Lord Rayleigh (1842-1919), matemático e físico inglês, que escreveu uma obra de grande importância para o domínio da Acústica, *Theory of Sound*. [8]

A Acústica de edifícios nasce no início do século XX, com o físico americano Wallace Sabine (1868-1919). Sabine realizou vários ensaios num auditório da Universidade de Harvard, onde era membro do Departamento de Física, na tentativa de estudar a diminuição do tempo de reverberação obtida através da colocação de almofadas nos assentos. Mas foi na realização de um projecto de acústica para a Boston Symphony Hall, considerada como uma das melhores salas de música de todos os tempos, que Sabine se consagrou pelo desenvolvimento da tão célebre fórmula, que tomou o seu nome, para o cálculo do tempo de reverberação. Sabine publicou importantes conclusões no domínio da Acústica de edifícios que ainda hoje se mantêm como a base de conhecimentos nesta área. [7]

Muitos outros investigadores deram o seu importante contributo no domínio da acústica ao longo do século XX. Cryill M. Harris, Michael Barron e Vern O. Knudsen desenvolveram conhecimentos sobre acústica de salas. Philip M. Morse, Allan D. Pierce e Leo L. Beranek escreveram textos importantes sobre acústica teórica. Beranek escreveu dois livros importantes sobre acústica de salas de concerto.

Salienta-se ainda a importância da criação da *Acoustical Society of America*, em 1929, que teve um papel decisivo no desenvolvimento da Acústica, pela publicação de grande parte dos artigos mais importantes nesta área, através de jornais periódicos (*Journal of Acoustical Society of America - J.A.S.A.*). [7]

A importância da Acústica nos edifícios começou a enraizar-se no início do século XX, desde a criação do primeiro sonómetro – instrumento de medição do som – no início do século, passando pela experimentação em câmaras anecóicas e pela criação de grandes salas de concertos tratadas acusticamente, até à elaboração de software em Acústica e à criação de equipamentos anti-ruído no final do século. [9]

Actualmente a Acústica é objecto de estudo em várias áreas do conhecimento, tais como, a Bioacústica, Psicoacústica, Electroacústica, Acústica Musical, Acústica Subaquática, Acústica de Edifícios, entre outras.

Em Portugal são várias as universidades e entidades privadas onde existem equipas de investigação, cujo principal objectivo é o estudo da Acústica, nas mais variadas vertentes, dos quais se destacam:

- Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) – Laboratório de Acústica (LAfeup) e o Núcleo de Investigação do Desenvolvimento em Engenharia Acústica (NI&DEA);
- Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (FCTUC) – Instituto de Investigação e Desenvolvimento em Ciências da Construção (ITeCons);
- Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) – Laboratório de Ensaios de Acústica (LEA);
- Sociedade Portuguesa de Acústica (SPA).

2.3 ENQUADRAMENTO LEGAL EM PORTUGAL

2.3.1 A URGÊNCIA DE UM BOM AMBIENTE ACÚSTICO

A crescente consciencialização por parte das sociedades, da importância da Acústica enquanto factor de qualidade de vida, impõe a adopção de medidas capazes de minimizar os efeitos negativos produzidos por ruídos perturbadores.

Vários são os relatos de problemas causados pelo excesso de ruído, desde o ruído causado pela proximidade de grandes vias estruturantes, de indústrias com actividades ruidosas, de locais de diversão nocturna, ruído de vizinhança, entre outros.

Assim, com a necessidade de criar um ambiente urbano acusticamente mais saudável e de proporcionar espaços com características acústicas capazes de mascarar os ruídos envolventes, cabe ao Legislador intervir e criar medidas que aumentem a qualidade dos espaços aumentando a qualidade de vida das pessoas que os habitam.

Apresentam-se em seguida alguns extractos de notícias de queixas por excesso de ruído retiradas de publicações da comunicação social.

O jornal Público publica em Março de 2008: *“Excesso de barulho provocado por vizinhos lidera lista de queixas apresentadas à PSP e GNR.”*

“No total, a PSP registou 4332 ocorrências em 2007 devido ao excesso de ruído de vizinhança...”

“Também no ano passado, a GNR levantou 79 contra-ordenações relativas a questões de vizinhança e locais de diversão.”

“De acordo com um estudo produzido pela Federação Europeia para os Transportes e Ambiente (T&E) pelo menos 50 mil pessoas morrem anualmente na União Europeia (UE) devido a ataques cardíacos causados pelo excesso de ruído rodoviário e ferroviário.”

“De acordo com a Organização Mundial de saúde (OMS), o limite de ruído ambiental a partir do qual começa a ter efeitos negativos para os humanos é de 55 decibéis, valor que se situa entre o provocado por um aguaceiro (50 decibéis) e uma conversa entre duas pessoas (60 decibéis).”

Em Julho de 2009 o Jornal de Notícias publica: *“Vizinho barulhento condenado a pagar 24 mil euros de indemnização.”*

“O barulho era tanto que, em várias ocasiões, não restou alternativa à família Ramos senão pegar nas crianças e ir dormir a um hotel ou uma pensão. Com o tempo e com a repetição das situações, as crianças começaram a ter medo de dormir em casa e precisaram de acompanhamento médico. A mulher passou a ter “crises de choro” e depressões, agravadas pelo facto de estar grávida, enquanto que o marido chegou até a faltar a compromissos no emprego “pela impossibilidade de dormir”. ”

“No acórdão que emitiu, o Supremo Tribunal de Justiça considerou que, neste caso, foi violado um dos “direitos liberdades e garantias” que são garantidos aos cidadãos pela Constituição da República. “Aqui, está em causa uma violação do direito ao repouso à tranquilidade e ao sono, que são aspectos do direito à integridade pessoal”, consideraram os conselheiros.”

Embora as preocupações com o ruído sejam crescentes e a legislação tenha vindo a evoluir nesse sentido, ainda há um caminho longo a percorrer. A sensibilização dos cidadãos para a urgência de um bom ambiente acústico faz parte desse percurso.

2.3.2 EVOLUÇÃO CRONOLÓGICA DA REGULAMENTAÇÃO ACÚSTICA PORTUGUESA

“A Assembleia Constituinte, reunida na sessão plenária de 2 de Abril de 1976, aprova e decreta a seguinte Constituição da República Portuguesa:

(...)

Artigo 66.º

Ambiente e qualidade de vida

1. Todos têm direito a um ambiente de vida humano, sadio e ecologicamente equilibrado e o dever de o defender.

2. Para assegurar o direito ao ambiente, no quadro de um desenvolvimento sustentável, incumbe ao Estado, por meio de organismos próprios e com o envolvimento e a participação dos cidadãos:

a) Prevenir e controlar a poluição e os seus efeitos e as formas prejudiciais de erosão;

(...). ” [10]

No seguimento do enunciado na Constituição de 2 de Abril de 1976, surge pela primeira vez a 7 de Abril de 1987 com a criação da Lei de Bases do Ambiente, um espaço na legislação dedicado somente ao ruído.

“Artigo 22.º

1. A luta contra o ruído visa a salvaguarda da saúde e bem-estar das populações e faz-se através, designadamente:

a) Da normalização dos métodos de medida do ruído;

b) Do estabelecimento de níveis sonoros máximos, tendo em conta os avanços científicos e tecnológicos nesta matéria;

c) Da redução do nível sonoro na origem, através da fixação de normas de emissão aplicáveis às diferentes fontes;

d) Dos incentivos à utilização de equipamentos cuja produção de ruídos esteja contida dentro dos níveis máximos admitidos para cada caso;

e) Da obrigação dos fabricantes de máquinas e electrodomésticos apresentarem informações detalhadas, homologadas, sobre o nível sonoro dos mesmos nas instruções de uso e facilitarem a execução das inspeções oficiais;

f) Da introdução nas autorizações de construção de edifícios, utilização de equipamento ou exercício de actividades da obrigatoriedade de adoptar medidas preventivas para eliminação da propagação do ruído exterior e interior, bem como das trepidações;

g) Da sensibilização da opinião pública para os problemas do ruído;

h) Da localização adequada no território das actividades causadoras de ruído.

2. Os veículos motorizados, incluindo as embarcações, as aeronaves e os transportes ferroviários, estão sujeitos a homologação e controle no que se refere às características do ruído que produzem.

3. Os avisadores sonoros estão sujeitos a homologação e controle no que se refere às características dos sinais acústicos que produzem.

4. *Os equipamentos electromecânicos deverão ter especificadas as características do ruído que produzem.* ”. [11]

Dois meses depois é aprovado o DL n.º 251/87, de 24 de Junho, que *“expressa, completa e actualiza de forma integrada matéria até agora repartida em legislação dispersa, estabelecendo o conjunto de normas em que se apoia um quadro legal adequado a uma política de prevenção e combate ao ruído (...)”* [11]. Entra então em vigor no dia 1 de Janeiro de 1988, o primeiro documento que rege a exposição dos cidadãos ao ruído, denominado por “Regulamento Geral do Ruído”.

Passados dois anos é aprovado o DL n.º 292/89, de 2 de Setembro, que surge da necessidade de introduzir algumas alterações e de esclarecer algumas questões que foram levantadas ao anterior diploma.

“O regime actualmente em vigor, ainda que pioneiro e de inegável importância na regulação da poluição sonora, mostra-se hoje claramente insuficiente para a salvaguarda da saúde e do bem-estar das pessoas (...)”. [12]

Assim, passados cerca de doze anos entrou em vigor o DL n.º 292/2000, de 14 de Novembro, que devido a *“ (...) conflitualidade social gerada por situações ligadas ao ruído (...) não cobertas pelo âmbito de aplicação do diploma até agora em vigor (...)”* [12] se constitui uma necessidade incontornável. Este novo decreto-lei com *“ (...) o intuito de salientar a força jurídica do normativo agora instituído (...)”* [12] passa a designar-se Regime Legal sobre a Poluição Sonora.

Passados dois anos e na consequência da aprovação da Lei n.º 159/99, de 14 de Setembro, que estabelece o quadro de transferência de atribuições e competências para as autarquias locais foram introduzidas alterações ao DL n.º 291/2000 aprovando-se o DL n.º 259/2002, de 23 de Novembro, que visa conceder aos municípios poder legal *“no âmbito das actividades ruidosas temporárias (...) e aplicação de coimas (...) nomeadamente em matéria de ruído de vizinhança”* [12].

“A transposição da directiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, tornou premente proceder a ajustamentos ao regime legal sobre a poluição sonora (...) de modo a compatibilizá-lo com as normas ora aprovadas, em especial adopção de indicadores de ruído ambiente harmonizados. (...)”. [13]

Aprova-se assim o DL n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, que se encontra actualmente em vigor em Portugal e que passa a ter novamente a denominação de Regulamento Geral do Ruído (RGR).

2.3.3 REGULAMENTO DOS REQUISITOS ACÚSTICOS DOS EDIFÍCIOS

Dos diversos regulamentos complementares ao RGR, importa, no âmbito do presente trabalho, dar especial atenção ao Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE).

“A área da acústica esteve ligada, desde muito cedo, ao sector da edificação urbana (...) a opção pela regulação de uma matéria muito específica, da área da construção civil, no âmbito de um diploma sobre prevenção do ruído, de carácter genérico e abrangente, veio a revelar-se, na prática de 15 anos, pouco eficiente e de fraca aplicação (...)”. [14]

“Assente o entendimento de que a especial natureza das matérias relacionadas com a qualidade acústica dos edifícios justifica um tratamento autónomo (...)” [14] é aprovado pelo DL n.º 129/2002, de 11 de Maio, o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), que visa a *“ (...) harmonização, à luz da normalização europeia, das grandezas características do desempenho acústico dos edifícios e respectivos índices e a quantificação dos requisitos, atendendo, simultaneamente, quer à satisfação das exigências funcionais de qualidade dos edifícios quer à contenção de custos inerentes à execução das soluções necessárias à sua verificação. (...)”* [14].

Com aprovação do novo Regulamento Geral do Ruído pelo DL n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, considerou-se importante “ (...) proceder à revisão do RRAE, de modo a compatibilizá-lo com estes diplomas(...)”[15].

Assim, findos seis anos é aprovado o DL n.º 96/2008, de 9 de Junho, que se encontra actualmente em vigor em Portugal e contempla alterações que “ (...) actualizam os parâmetro de desempenho acústico dos edifícios e os indicadores do ruído e equipamentos e instalações, e estabelecem explicitamente procedimentos de avaliação de conformidade com as normas definidas no Regulamento (...) tanto para edifícios novos como para edifícios existentes que venham a ser objecto de reconstrução, ampliação, ou alteração. (...) Introduce-se um desagravamento dos requisitos exigíveis em termos de isolamento sonoro dos espaços interiores em edifícios em processo de reabilitação situados em zonas históricas, de modo a tornar exequível a adopção de soluções construtivas que confirmam identidade patrimonial e histórica. (...) “ [15].

2.3.3.1 Âmbito de aplicação do RRAE

“Artigo 1.º

Objecto e âmbito de aplicação

(...)

2 – As normas do presente Regulamento aplicam-se à construção, reconstrução, ampliação ou alteração dos seguintes tipos de edifícios, em função dos usos a que os mesmos se destinam:

- a) Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras;
- b) Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais;
- c) Edifícios escolares e similares, e de investigação;
- d) Edifícios hospitalares e similares;
- e) Edifícios desportivos;
- f) Estações de transporte de passageiros;
- g) Auditórios e salas.

(...) “ [15].

2.3.3.2 Requisitos Acústicos dos Edifícios

No âmbito deste trabalho importa estudar e interpretar a aplicação do cumprimento dos requisitos acústicos dos edifícios destinados a usos habitacionais e mistos.

Assim, e de acordo com o especificado no DL n.º 96/2008, os requisitos acústicos dos edifícios devem obedecer as seguintes disposições legais vigentes.

Quadro 2.1 - Artigo 5º: Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras

Alínea a) Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{2m,nT,w}$, entre o exterior e...		
	Zonas Sensíveis ¹	Zonas Mistas ²
Quartos ou Zonas de Estar dos fogos	≥ 28 dB	≥ 33 dB

¹ Reguladas pela alínea *b)* do n.º1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído.

² Ou zonas sensíveis reguladas pelas alíneas *c)*, *d)* e *e)* do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído.

Aos valores medidos é acrescido um factor de incerteza *I*, associado à determinação das grandezas em causa que assume o valor de 3 dB.

Alíneas <i>b)</i> , <i>c)</i> e <i>d)</i> Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$, entre...	Quartos ou Zonas de Estar dos fogos
Local de Emissão Local de Recepção	
Compartimentos de um fogo	≥ 50 dB
Locais de circulação comum do edifícios	≥ 48 dB
Garagem de estacionamento automóvel	≥ 50 dB
Caminho de circulação vertical (Edifício com elevadores)	≥ 40 dB
Locais destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão	≥ 58 dB

Aos valores medidos é acrescido um factor de incerteza *I*, associado à determinação das grandezas em causa que assume o valor de 3 dB.

Alínea <i>e)</i> e <i>g)</i> Índice de isolamento sonoro a sons de percussão, $L'_{nT,w}$, entre...	Quartos ou Zonas de Estar dos fogos
Local de Emissão Local de Recepção	
Pavimentos de outros fogos	≤ 60 dB
Locais de circulação comum do edifício ³	≤ 60 dB
Locais destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão	≤ 50 dB

³ Não se aplica se o local emissor for um caminho de circulação vertical, quando o edifício seja servido por ascensores.

Aos valores medidos é diminuído um factor de incerteza *I*, associado à determinação das grandezas em causa que assume o valor de 3 dB.

Alínea <i>h)</i> Nível de avaliação, $L_{Ar,nT}$, de equipamentos colectivos do edifício.	Quartos ou Zonas de Estar dos fogos
Local de Emissão Local de Recepção	
Se o funcionamento do equipamento for intermitente	≤ 32 dB (A)
Se o funcionamento do equipamento for contínuo	≤ 27 dB (A)
Se o equipamento for um grupo gerador eléctrico de emergência	≤ 40 dB (A)

Aos valores medidos é diminuído um factor de incerteza *I*, associado à determinação das grandezas em causa que assume o valor de 3 dB.

No que concerne a edifícios localizados em zonas históricas, o regulamento prevê que a todas as acções de reabilitação, que mantenham uma das vocações de uso previstas no presente artigo, se podem aplicar os requisitos constantes das alíneas *b)* a *g)*, com uma tolerância de 3 dB, ou seja, por exemplo, o $D_{nT,w}$ entre fogos, para o qual o regulamento estabelece que $D_{nT,w} \geq 50$ dB, com a aplicação da tolerância seria $D_{nT,w} \geq 47$ dB, deste modo, o factor de incerteza motivaria que uma medição de 44 dB + 3 = 47 dB fosse suficiente.

3

SÍNTESE DO CONHECIMENTO

3.1 INTRODUÇÃO

Pretende-se com este capítulo fazer uma pequena introdução aos conceitos mais básicos da Acústica, com interesse para o desenvolvimento do presente trabalho.

3.2 O SOM NO AR

O som é uma forma de energia que é causada pela variação de pressão do meio de propagação das ondas sonoras (neste caso, o ar), transmitido pelo choque das moléculas constituintes desse meio umas contra as outras, sucessivamente, até atingirem o sistema auditivo.

O estudo do som com interesse na Acústica de edifícios não se cinge apenas a abordagens de teor matemático e físico. Um estímulo sonoro captado pelo ouvido humano pode ser descrito como agradável (som) ou como incomodativo (ruído). Neste sentido, a distinção entre o que é agradável ou o que é um incómodo não passa de uma resposta subjectiva do receptor. No entanto, qualquer estímulo sonoro capaz de provocar danos físicos e psicológicos ao receptor só pode ser classificado como ruído, independente da opinião subjectiva do receptor.

Assim, a geração do ruído, área que nos interessa estudar e limitar, causada por uma série de compressões e rarefacções do meio é medido pela variação de pressão provocado pelas ondas sonoras tomando como situação de referência a pressão atmosférica normal (P_{at}) que, no nosso planeta, assume o valor aproximado de 101.400 Pa. São então pequenas variações em torno de P_{at} que os nossos ouvidos são capazes de captar. [9]



Figura 3.1 – Variação de pressão provocada pelas ondas sonoras.

3.3 LEI DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS SONORAS

A lei de propagação das ondas de pressão sonora pode ser descrita de forma matematicamente exacta para um meio homogéneo e não dissipativo, pela combinação de três princípios fundamentais da mecânica.

Considere-se um pequeno volume de gás fechado numa “caixa” com lados completamente flexíveis e sem atrito.

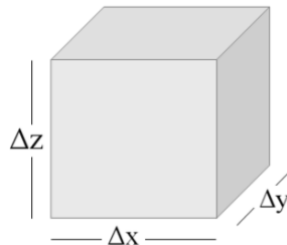


Figura 3.2 – Volume de gás que provoca alterações na sua envolvente.

O segundo princípio fundamental da mecânica diz-nos que “a resultante das forças aplicadas a um corpo é igual à variação da quantidade de movimento por unidade de tempo” [9].

Assim, através da derivação tridimensional da expressão que descreve esta lei, para um pequeno volume de gás situado num meio homogéneo, obtemos a equação do movimento [16]:

$$-\text{grad } p = \rho_0 \frac{\partial q}{\partial t} \quad (3.1)$$

Sendo:

“p” pressão (Pa)

“q” vector velocidade das partículas

“t” tempo.

Assumindo agora que se trata de um gás ideal podemos aplicar a lei dos gases ideais de Charles-Boyle ao pequeno volume de gás pela relação [16]:

$$PV = RT \quad (3.2)$$

Sendo:

“P” pressão total na caixa (Pa)

“V” volume igual a $\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z$

“R” constante que depende da massa do gás

“T” temperatura (K).

Estabelece-se desta forma a relação entre a pressão do som e o incremento causado no volume da “caixa”.

As variações de temperatura provocam alterações de pressão e volume, fenómenos de compressão e expansão do gás, que obedecem à lei das transformações adiabáticas, logo [16]:

$$PV^\gamma = \text{constante} \quad (3.3)$$

Sendo:

“ γ ” é o rácio entre o calor específico a pressão constante e o calor específico a volume constante do gás. Para moléculas diatómicas como o ar, hidrogénio, nitrogénio, oxigénio este rácio assume o valor de 1,4.

Expressando a equação anterior na sua forma diferencial e derivando-a no tempo obtemos [16]:

$$\frac{1}{P_0} \frac{\delta p}{\delta t} = \frac{-\gamma}{V_0} \frac{\delta \tau}{\delta t} \quad (3.4)$$

Sendo:

“ P_0 ” pressão inicial

“ V_0 ” volume inicial

“ p ” incremento de pressão

“ τ ” incremento de volume.

Através da equação da continuidade, expressão matemática que demonstra que uma massa total de gás numa “caixa” deformável permanece constante, pode-se escrever uma relação única entre a taxa de variação do incremento de velocidade nas superfícies da “caixa” [16].

Assim, pela lei de conservação da massa, obtém-se:

$$\frac{\delta \tau}{\delta t} = V_0 \operatorname{div} q \quad (3.5)$$

Pela combinação da equação do movimento (3.1), da lei dos gases ideais de Charles-Boyle (3.2) e da lei de conservação da massa (3.5), podemos escrever a *Lei Geral de Propagação das Ondas de Pressão Sonora*, num meio homogéneo, isotrópico, sem viscosidade e em repouso [16]:

$$\nabla^2 q = \frac{1}{c^2} \frac{\delta^2 q}{\delta t^2} \quad (3.6)$$

onde:

$$c = 20,045\sqrt{T} \quad (3.7)$$

Sendo:

“ ∇^2 ” operador de Laplace

“ c ” celeridade ou velocidade de propagação das ondas no meio

“ T ” temperatura (K).

3.4 CARACTERIZAÇÃO DO SOM

3.4.1 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

O sistema auditivo humano consegue captar uma gama bastante alargada de variações de pressão que vão desde o limiar da audição (10^{-5} Pa) até ao limiar da dor (100 Pa). Visto que a aplicação de uma escala linear em Pascal conduziria ao uso de valores muito díspares e de uso pouco prático, acrescido pelo facto do ouvido humano não responder de forma linear a esses estímulos, mas sim de uma forma quase logarítmica, é usual caracterizar-se uma fonte sonora usando o seu nível de pressão sonora (dB). [9]

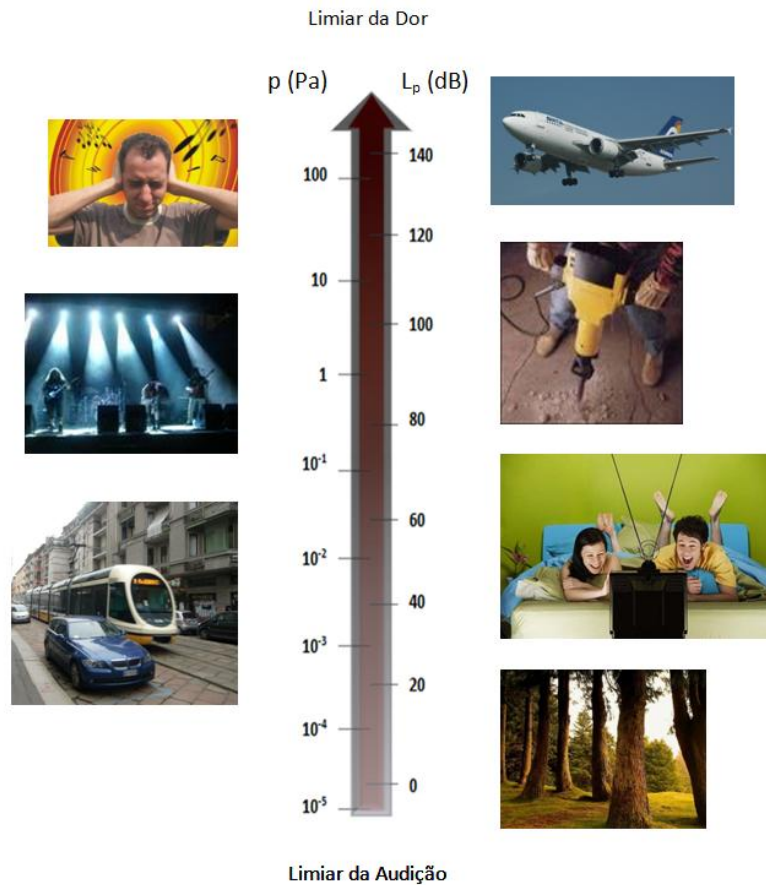


Figura 3.3 – Noções de exposição ao ruído em situações do quotidiano.

Para a conversão de pressões (Pa) em níveis de pressão sonora (dB) utiliza-se a seguinte expressão:

$$L_p = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right) \quad (3.8)$$

Sendo:

“ L_p ” nível de pressão sonora (dB)

“ p ” pressão sonora (Pa)

“ p_0 ” pressão sonora de referência, 2×10^{-5} (Pa)

Analogamente, a expressão geral de adição de níveis toma a seguinte forma:

$$L_{Soma} = 10 \cdot \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (3.9)$$

Sendo:

“ L_i ” nível de pressão sonora (dB)

3.4.2 ANÁLISE EM FREQUÊNCIA

Outra forma de caracterizar uma fonte sonora é analisando-a em frequência. A frequência (f) é expressa em hertz (Hz) e representa a taxa de ocorrência de flutuações completas de pressão por segundo. É uma característica do som que o permite descrever e distinguir em função das frequências que emite. [9]

Um ser humano jovem e de audição normal ouve numa gama de frequência que varia entre os 20 Hz e os 20 kHz, designada por gama do audível. É normal distinguir-se a gama do audível em três grandes zonas de frequências: frequências graves (20 a 355 Hz), médias (355 a 1 410 Hz) e agudas (1 410 a 20 000 Hz). Sons de frequência inferior ou superior são denominados como infra-sons ou ultra-sons, respectivamente. [9]

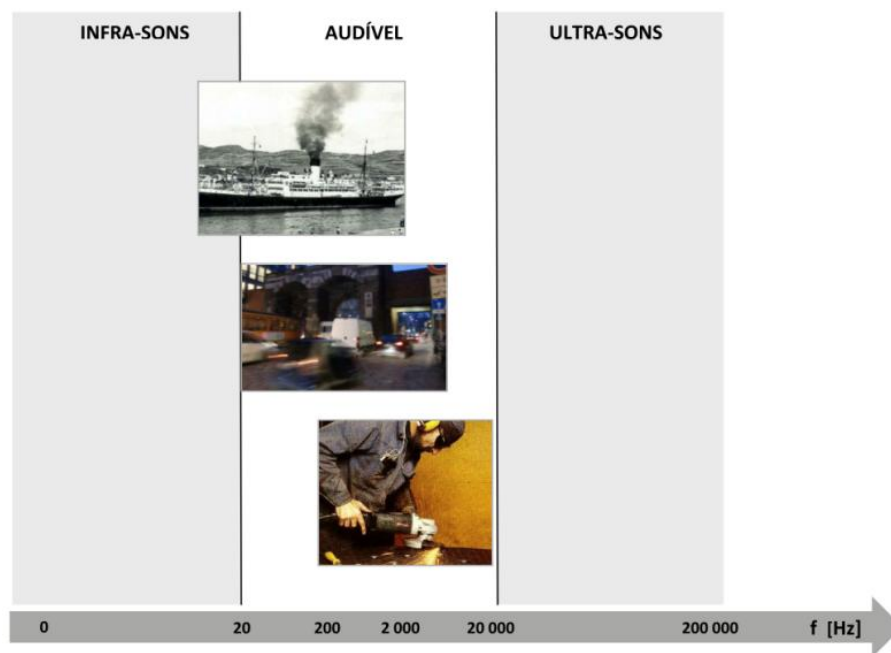


Figura 3.4 – Exemplos práticos de variabilidade em frequência.

3.4.3 BANDAS DE FREQUÊNCIA

Devido à grande variabilidade em frequência que existe e, conseqüentemente, à sua difícil e trabalhosa análise detalhada, formam-se agrupamentos de frequências, de dimensões normalizadas, que se denominam por bandas de frequência.

Uma banda é, então, um agrupamento de frequências entre um limite inferior (f_1) e um limite superior (f_2), caracterizada pela sua frequência central (f_0).

A largura de uma banda (B) corresponde à diferença entre os valores numéricos dos limites inferior e superior. Sendo que as frequentemente usadas em acústica de edifícios apresentam larguras de banda de uma 1/1 oitava ou de 1/3 de oitava.

Apresentam-se no seguinte quadro os intervalos das bandas de frequência mais usadas no domínio do audível:

Quadro 3.1 – Intervalos de 1/1 oitava e 1/3 de oitava normalizados no domínio audível.

1/3 oitava (Hz)	1/1 oitava (Hz)	1/1 oitava (Hz)	1/3 oitava (Hz)
25		800	
31	31	1k	1k
40		1 250	
50		1 600	
63	63	2k	2k
80		2 500	
100		3 150	
125	125	4k	4k
160		5k	
200		6 300	
250	250	8k	8k
315		10k	
400		12 500	
500	500	16k	16k
630		20k	

Os valores que se encontram destacados dizem respeito às bandas de frequência de uma oitava e de terço de oitava frequentemente usadas na acústica de edifícios.

3.4.4 NÍVEL SONORO

A caracterização de um som pelo seu nível sonoro traduz-se na necessidade de ajustar a sensibilidade auditiva do ouvido humano, em função das frequências em que o som é emitido.

O sistema auditivo humano dá maior ou menor importância ao som conforme a frequência em que este é emitido, como tal, introduziram-se filtros electrónicos nos equipamentos de medida para que o som captado por estes seja semelhante ao som captado pelo ouvido humano. Os filtros (ou curvas de ponderação) corrigem o som captado pelos aparelhos de medição e ajustam-no à subjectividade do ouvido humano.

Existem quatro tipos de curvas de ponderação, a curva A para ruídos de fraca intensidade (inferior a 55 dB), as curvas B e C para ruídos mais intensos (respectivamente de 55 a 85 dB e superior a 85 dB) e a curva D que se utiliza especialmente para ruídos de aviões. Actualmente tem se generalizado o uso do filtro A, sendo que os restantes filtros têm caído em desuso. [17]

O nível sonoro denomina-se por L se expresso em dB(A) ou L_A se expresso em dB. A sigla A é representativa do filtro que se usa.

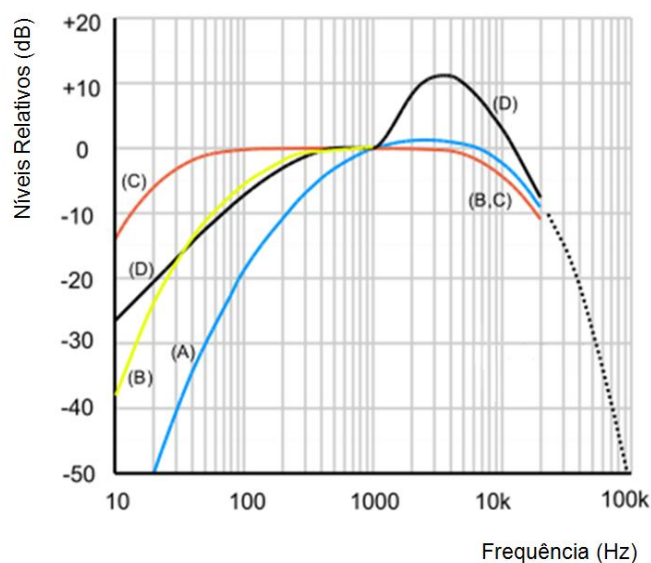


Figura 3.5 – Descrição das curvas de ponderação A, B, C e D. Adaptado de [18].

Quadro 3.2 – Valores numéricos da curva de ponderação A.

Banda de frequência (Hz)	Ponderação para 1/3 oitava	Ponderação para 1/1 oitava	Banda de frequência (Hz)	Ponderação para 1/3 oitava	Ponderação para 1/1 oitava
25	-44,7		800	-0,8	
31	-39,4	-40	1 000	0	0
40	-34,6		1 250	0,6	
50	-30,2		1 600	1,0	
63	-26,2	-26	2 000	1,2	+1
80	-22,5		2 500	1,3	
100	-19,1		3 150	1,2	
125	-16,1	-15,5	4 000	1,0	+1
160	-13,4		5 000	0,5	
200	-10,9		6 300	-0,1	
250	-8,6	-8,5	8 000	-1,1	-1
315	-6,6		10 000	-2,5	
400	-4,8		12 500	-4,3	
500	-3,2	-3	16 000	-6,6	-7
630	-1,9		20 000	-9,3	

3.4.5 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA CONTÍNUO EQUIVALENTE

A instabilidade temporal da generalidade dos ruídos obriga a que, para se descrever um fenómeno sonoro, se recorram a descritores que entrem em conta com o factor tempo. [9]

O descritor que permite avaliar um acontecimento acústico segundo um único valor designa-se por *nível de pressão sonora contínuo equivalente* (L_{eq}). Por definição, descreve-se como sendo o nível que, se actuasse num dado intervalo de tempo, produziria a mesma energia que o som que se pretende avaliar. [9]

Pode-se obter o valor do nível de pressão sonora contínuo equivalente num dado intervalo de tempo recorrendo à seguinte expressão:

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N t_i \cdot 10^{\frac{L_i}{10}} \right] \quad (3.10)$$

$$T = \sum t_i \quad (3.11)$$

Sendo:

“T” tempo total (minutos)

“ t_i ” períodos de funcionamento (minutos)

“ L_i ” nível de pressão sonora (dB).

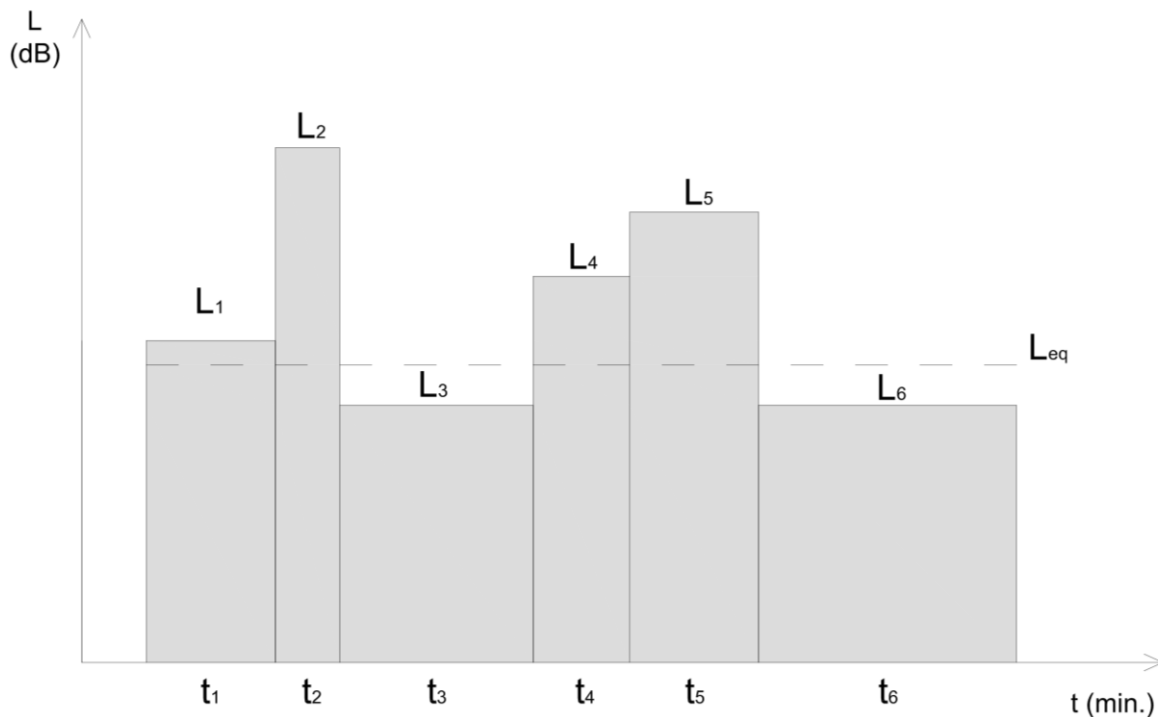


Figura 3.6 – Nível de avaliação contínuo equivalente, L_{eq} .

3.5 QUALIDADE ACÚSTICA DE ESPAÇOS FECHADOS

3.5.1 MECANISMOS DE DISSIPAÇÃO DA ENERGIA SONORA

Quando uma onda sonora (E_i) atinge qualquer elemento plano, uma parte da energia sonora contida nessa onda é transmitida (E_t) ao espaço adjacente, outra parte é reflectida (E_r) e a restante é absorvida (E_a) pelo elemento plano.

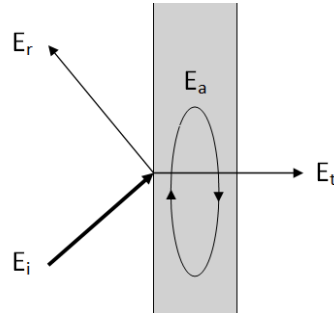


Figura 3.7 – Mecanismo de dissipação energia sonora.

Se considerarmos que não existe transmissão sonora através do elemento plano, estamos a supor que toda a energia incidente sobre essa superfície é absorvida ou reflectida. Como tal que a dissipação da energia incidente é função das características de absorção desse mesmo elemento. [19]

Assim, a energia contida numa onda sonora que atinge o compartimento receptor perdura, após múltiplas reflexões, durante tanto mais tempo quanto menor for a capacidade de absorção desse mesmo compartimento. [19]

Estabelece-se assim a dependência do tempo de reverberação de um compartimento em relação à capacidade de absorção dos elementos de compartimentação.

3.5.1.1 Absorção sonora

A caracterização da redução sonora proporcionada pelos elementos de separação depende, não só das características dos elementos construtivos, mas também da absorção sonora do compartimento receptor.

A absorção sonora de um compartimento define-se como sendo a atenuação sofrida pelas ondas sonoras, provocada pelo meio sobre o qual estas incidem.

A quantificação da absorção sonora dos materiais constituintes do revestimento interno de um compartimento, é obtida pela razão entre a quantidade de energia sonora que é absorvida pelo material e aquela que sobre ele incide. A esta relação dá-se a designação de coeficiente de absorção sonora (α).

$$\alpha = \frac{E_a}{E_i} \quad (3.12)$$

Sendo:

“ α ” coeficiente de absorção sonora

“ E_a ” energia absorvida

“ E_i ” energia incidente

O coeficiente de absorção varia entre um mínimo de 0 e um máximo de 1. Materiais ditos absorventes têm valores de α superiores a 0,5, ou seja, absorvem, no mínimo, 50% da energia incidente.

3.5.1.2 Tempo de reverberação

O tempo de reverberação define-se como sendo o intervalo de tempo que um som, após múltiplas reflexões, demora a extinguir-se por completo.

“Por definição é o tempo em que o nível de pressão sonora demora a decair 60 dB desde que a fonte sonora pára de emitir.” [9]

As ondas emitidas por uma fonte sonora podem ser de origem directa ou reflectida. As ondas de origem directa atingem o receptor sem encontrar nenhum obstáculo nesse percurso. As ondas reflectidas atingem o receptor após reflexões (únicas e múltiplas) nas superfícies existentes no compartimento. À medida que estas reflexões atingem o receptor vão-se tornando cada vez mais fracas, devido às absorções sofridas pelos elementos constituintes do compartimento bem como pela absorção do ar, criando, assim, um efeito de rasto sonoro – reverberação.

Uma expressão matemática que determina a relação entre a absorção sonora, o volume e o tempo de reverberação, é a conhecida Fórmula de Sabine:

$$T = \frac{0,16 \cdot V}{A} \quad (3.13)$$

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i \quad (3.14)$$

Sendo:

“T” tempo de reverberação (s)

“V” volume do compartimento (m³)

“A” absorção sonora equivalente (m²)

“α_i” coeficiente de absorção sonora do material

“S_i” superfície real do material (m²).

4

TRANSMISSÃO SONORA

4.1 INTRODUÇÃO

A transmissão de energia sonora entre os elementos de construção é um parâmetro de maior relevância na quantificação da qualidade do conforto acústico no interior dos edifícios.

Para que um edifício satisfaça padrões de conforto acústico adequados urge a necessidade da caracterização da redução sonora proporcionada pelos diferentes elementos de construção.

Assim, e no contexto da avaliação da sua conformidade com os critérios legais em vigor importa distinguir os dois tipos de solicitações geradoras de ruído em edifícios. Sendo elas originadas por solicitações mecânicas directamente da fonte sobre os elementos de construção – *ruídos de percussão* – ou por excitações directas do ar por fontes sonoras – *ruídos de condução aérea*.

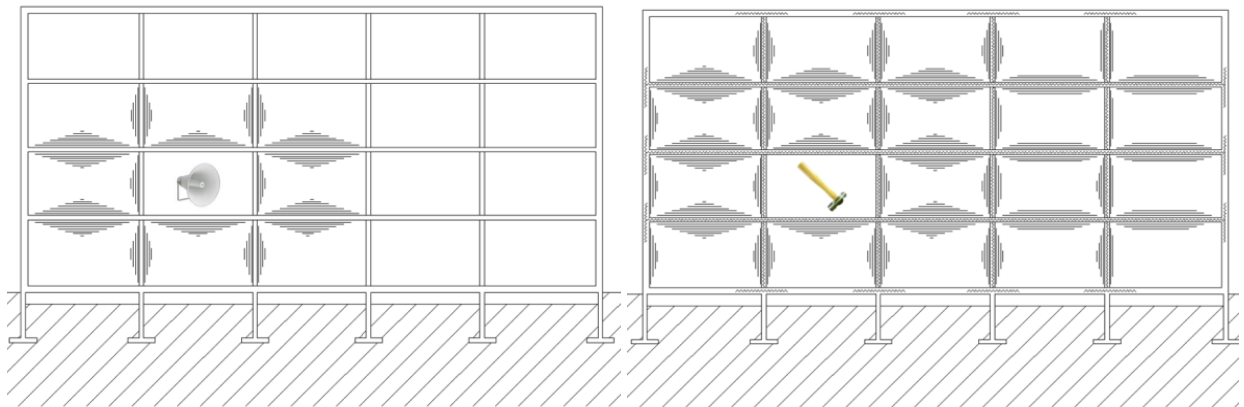


Figura 4.1 – Esquema representativo da transmissão sonora de sons aéreos (esq.) e de sons de percussão (dir).

A transmissão da energia sonora, tenha ela origem em sons aéreos ou em sons de percussão, dá-se por dois caminhos distintos: por via directa, quando o elemento dissipador de energia é o elemento de separação entre a fonte e o receptor, e por via marginal, quando a dissipação da energia sonora se dá pelos elementos envolventes do compartimento no caminho entre a fonte e o receptor.

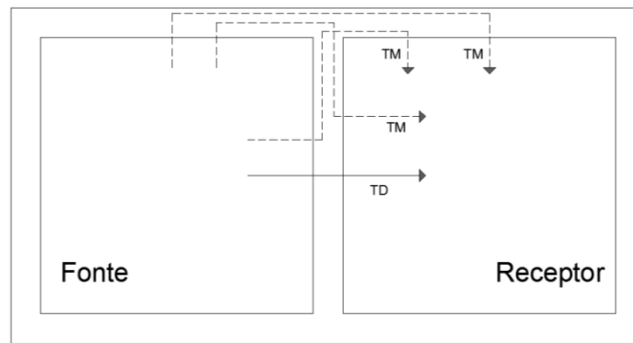


Figura 4.2 – Caminhos de transmissão sonora por via directa (TD) e marginal (TM).

4.2 ISOLAMENTO A SONS AÉREOS

Os sons aéreos são provenientes de excitações directas do ar por fontes sonoras que, aplicando ao caso dos edifícios, se materializam tanto em ruídos exteriores, provenientes de corredores de tráfego e de actividades exteriores ruidosas, como em ruídos interiores, provenientes do funcionamento de equipamentos e da própria actividade humana no interior dos mesmos.

4.2.1 MODELO TEÓRICO DE COMPORTAMENTO

4.2.1.1 Elementos simples

O comportamento acústico de uma parede simples estimulada por ruídos de condução aérea depende da inércia, da massa e das características elásticas (rigidez e amortecimento interno) dos seus elementos definidores.

Considerando uma parede simples e homogénea sujeita a um campo sonoro difuso, o comportamento da transmissão sonora pode ser descrito como um sistema sujeito a um estímulo oscilatório que depende da gama de frequências envolvidas. Assim, pode-se avaliar o comportamento dessa parede distinguindo-se cinco zonas distintas [9]:

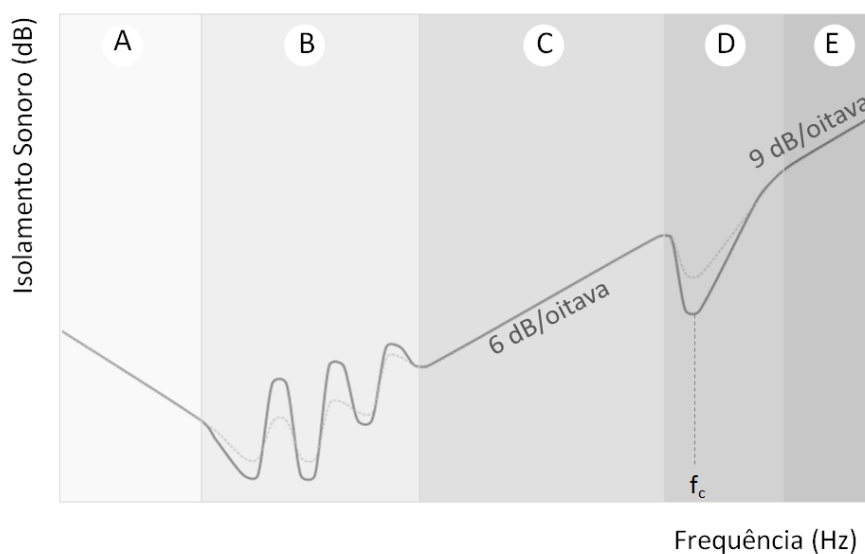


Figura 4.3 – Modelo teórico do comportamento da transmissão sonora num elemento construtivo simples.

A zona A, que podemos ver apresentada na figura anterior, representa a diminuição da redução sonora, controlada pela rigidez da parede, com o aumento da frequência. Esta zona nunca é alvo de análise detalhada pelo facto de se encontrar fora da gama de frequências do audível. [9]

A zona B é governada pela elasticidade do elemento construtivo e controlada pelos modos próprios de vibração transversal. Diz-se que a parede se encontra em ressonância. [9]

Na zona C, para frequências superiores às frequências de ressonância, que normalmente se encontram fora do limiar audível, o sistema vibrante é controlado pela lei da massa. [9]

A zona D corresponde à coincidência entre o estímulo sonoro externo e à vibração própria da parede, designada por frequência crítica ou de coincidência (f_c). [9]

A zona E representa o isolamento sonoro a ruídos aéreos após a ocorrência da frequência crítica.

Para frequências imediatamente inferiores à frequência crítica o isolamento sonoro cresce 6 dB por oitava, e para frequências superiores à frequência crítica, o isolamento sobe 9 dB por oitava.

Assim, deve-se garantir que a ocorrência da frequência crítica seja o mais cedo possível, para que o isolamento sonoro do elemento comece a crescer os 9 dB por oitava e cubra todas as frequências de interesse.

4.2.1.2 Elementos duplos

Os modelos teóricos de funcionamento de elementos duplos permitem diferenciar o comportamento da parede em função da frequência. No caso de elementos duplos importa estudar o comportamento do conjunto (elemento + ar + elemento) quando vibram como elemento único, e a coincidência entre o estímulo sonoro externo e a vibração própria de cada pano constituinte do conjunto. [9]

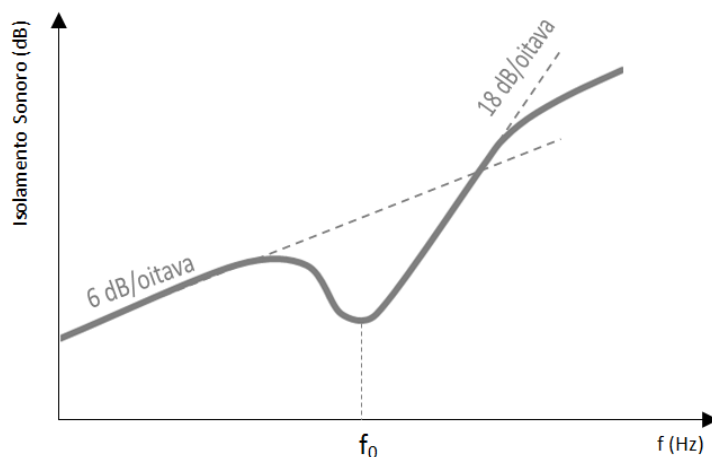


Figura 4.4 – Evolução típica dos valores de isolamento sonoro a sons aéreos em elementos duplos.

Como podemos observar pela figura anterior, o funcionamento do conjunto até à ocorrência da frequência de ressonância (f_0) é semelhante ao obtido para um elemento simples com a mesma massa total dos dois paramentos da parede dupla. [9]

A vantagem da existência de dois paramentos separados por uma caixa-de-ar é o crescimento dos valores do isolamento sonoro para além da zona f_0 . Cresce cerca de 18 dB/oitava, em contraste com os 9 dB/oitava que se conseguia com uma parede simples. [9]

O objectivo em projecto é, então, ter o valor de f_0 o mais baixo possível para que o crescimento do isolamento sonoro se dê o mais cedo possível. Uma das formas de se atingir um maior isolamento sonoro em f_0 é através do aumento da espessura da caixa-de-ar ou pela inclusão de material absorvente na mesma.

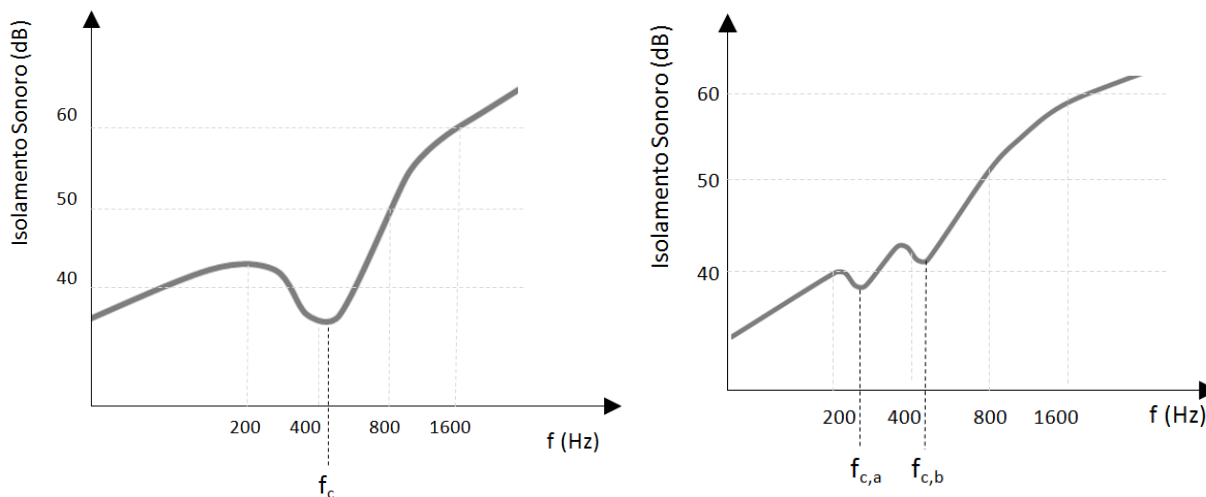


Figura 4.5 – Evolução típica dos valores de isolamento sonoro a sons aéreos em elementos duplos com frequências de coincidência iguais (esq.) e diferentes (dir.).

Outro aspecto importante na análise do estudo teórico do comportamento de paredes duplas é a ocorrência da coincidência entre o estímulo sonoro externo e a vibração própria de cada pano constituinte do conjunto. Assim, e pela análise dos gráficos da figura 4.5, podemos constatar que a sobreposição das frequências de coincidência (f_c), acontecimento que se deve ao uso de panos de parede com espessuras ou materiais iguais, prejudica em cerca de 4 dB o isolamento sonoro do conjunto. [9]

Será então boa norma adoptar panos de parede com espessuras diferentes, em especial elementos com uma espessura total pequena, como é o exemplo dos vidros duplos. [9]

4.2.2 ISOLAMENTO A SONS AÉREOS ENTRE ESPAÇOS

Admitamos a existência de uma fonte sonora num determinado compartimento emissor, que irradia um determinado nível médio de pressão sonora L_1 , que será transmitido a um local receptor pela vibração dos elementos da envolvente, originando um nível de pressão sonora L_2 .

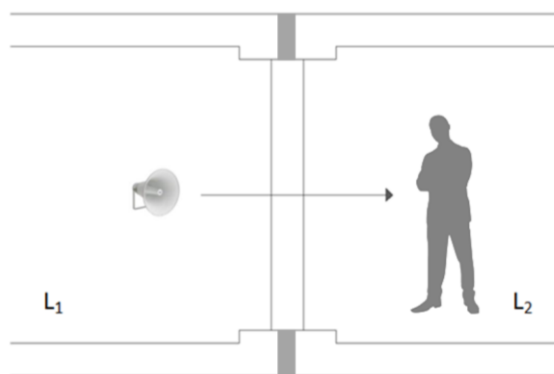


Figura 4.6 – Transmissão sonora entre compartimentos (em laboratório).

A redução sonora proporcionada sem o efeito das transmissões marginais, designa-se como sendo o isolamento sonoro bruto (D). Esta situação apenas acontece em simulações realizadas em laboratório através de câmaras reverberantes.

$$D = L_1 - L_2 \quad (4.1)$$

Garantidos todos os pressupostos preconizados pela norma NP EN 140-3, norma que rege a execução de ensaios em laboratório para determinação do isolamento sonoro entre compartimentos, obtém-se uma relação entre o isolamento sonoro bruto e a redução sonora, influenciada pelas características intrínsecas do elemento de separação (R):

$$D = R + 10 \log \left(\frac{A}{S} \right) \quad (4.2)$$

Sendo:

“A” área de absorção sonora equivalente existente no compartimento receptor (m²)

“S” superfície do elemento de separação (m²).

Pode constatar-se que o isolamento sonoro depende não só da redução sonora (R) proporcionada pelas características do elemento de separação, mas também da absorção sonora e dimensões do compartimento receptor.

Estes conceitos aplicam-se igualmente em medições realizadas *in situ*, com presença das transmissões marginais.

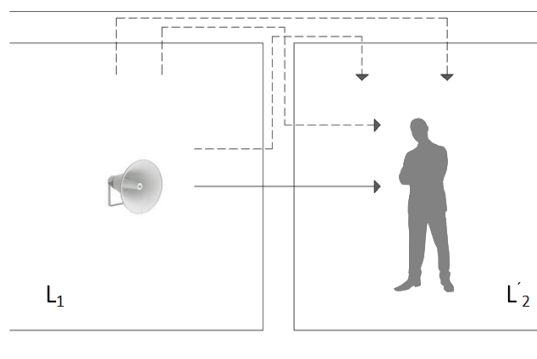


Figura 4.7 – Transmissão sonora entre compartimentos (*in situ*).

De forma análoga obtém-se:

$$D = R' + 10 \log \left(\frac{A}{S} \right) \quad (4.3)$$

Sendo:

“R'” redução sonora, com o efeito das transmissões marginais (dB).

4.2.2.1 Medições *in situ*

A medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos é feita de acordo com os ensaios normalizados especificados na NP EN ISO 140-4, de preferência por bandas de frequência de largura de um terço de oitava entre as frequências centrais de 100 Hz e 3 150 Hz.

O processo de determinação do isolamento sonoro de elementos construtivos consiste na medição dos níveis médios de pressão sonora nos locais emissor e receptor, produzidos por um campo sonoro colocado no compartimento emissor.

O campo sonoro produzido no compartimento emissor deve ser um ruído rosa de elevada intensidade (cerca de 100 dB) e não deve apresentar diferenças de nível superiores a 6 dB entre bandas de terço de oitava adjacentes.

Deve-se garantir que o nível de pressão sonora medido no compartimento receptor excede, no mínimo, 10 dB o nível do ruído de fundo em qualquer banda de frequência.

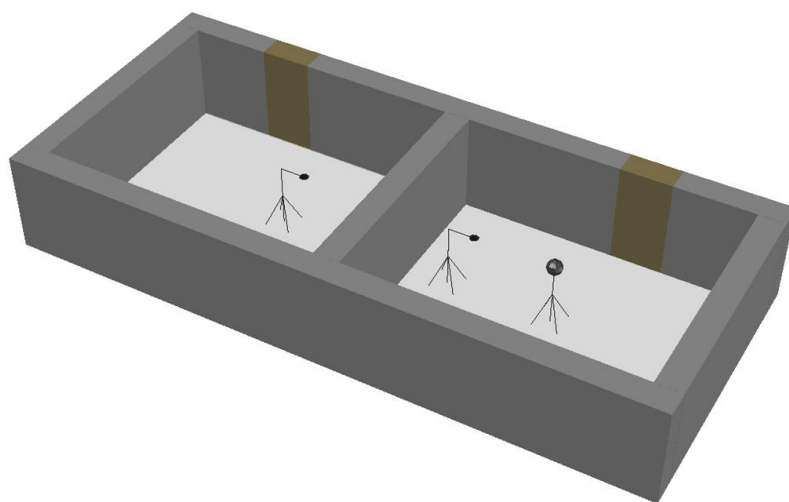


Figura 4.8 – Esquema de medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos.

Desta forma, é possível obter os valores do isolamento sonoro bruto D , por banda de frequência, e corrigi-los para o tempo de reverberação do compartimento receptor, obtendo D_{nT} , isolamento sonoro padronizado para T_0 [20].

$$D_{nT} = D + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (4.4)$$

Sendo:

“ T ” tempo de reverberação no compartimento receptor (s)

“ T_0 ” tempo de reverberação de referência, em edifícios destinados à habitação, $T_0 = 0,5$ s.

A normalização do isolamento sonoro para um tempo de reverberação de 0,5 s tem em conta que, nos edifícios para habitação mobilados, o tempo de reverberação é sensivelmente independente do volume e da frequência. Com esta metodologia de normalização, o valor de D_{nT} depende da direcção de propagação da energia sonora.

A partir dos valores de D_{nT} , para cada banda de frequência, e por ajuste da curva real de D_{nT} à curva de referência (figura 4.9), de acordo com o especificado da NP EN ISO 717-1, obtêm-se um índice único de avaliação, $D_{nT,w}$, índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado.

Quadro 4.1 – Valores das descrições analíticas das curvas de referência referentes a sons aéreos.

Bandas de frequência (Hz)	1/1 oitava	1/3 oitava
100		0
125	0	3
160		6
200		9
250	9	12
315		15
400		18
500	16	19
630		20
800		21
1 000	19	22
1 250		23
1 600		23
2 000	20	23
2 500		23
3 150		23

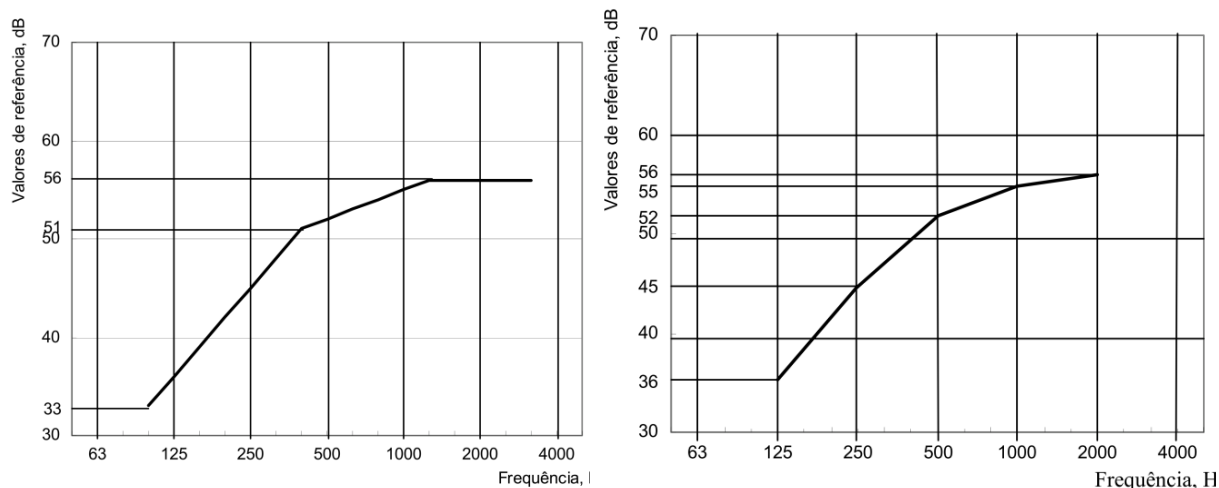


Figura 4.9 – Curvas de referência para sons de condução aérea para as bandas de oitava (dir.) e de terço de oitava (esq.). [21]

4.2.3 ISOLAMENTO A SONS AÉREOS DE ELEMENTOS DE FACHADA

4.2.3.1 Medições *in situ*

A medição do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas é feita de acordo com os ensaios normalizados especificados na norma NP EN ISO 140-5, preferencialmente por bandas de frequência de largura de um terço de oitava entre as frequências centrais de 100 Hz e 3 150 Hz.

O processo de determinação do isolamento sonoro de fachadas consiste na medição dos níveis médios de pressão sonora nos locais emissor e receptor, produzidos por um campo sonoro colocado no local emissor (o exterior).

A fonte sonora deve ser colocada a uma distância (d) da fachada e com ângulo (θ) de incidência das ondas sonoras igual a $45^\circ \pm 5^\circ$ (figura 4.10).

O nível de potência sonora da fonte deve ser suficientemente elevado para estabelecer um nível de pressão sonora no local receptor que exceda, em pelo menos 6 dB, o ruído de fundo em todas as bandas de frequência relevantes.

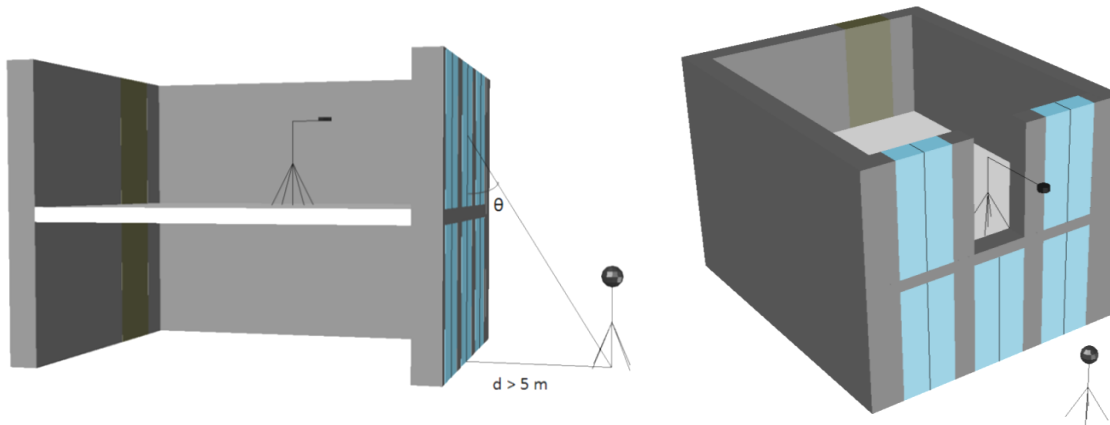


Figura 4.10 - Esquema de medição do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas.

Pela diferença entre o nível médio de pressão sonora no exterior, $L_{1,2m}$, medido a 2 m de distância da fachada, e o nível medido no local receptor, L_2 , obtemos os valores do isolamento sonoro bruto com o exterior, D_{2m} , por banda de frequência [22].

$$D_{2m} = L_{1,2m} - L_2 \quad (4.5)$$

No caso de se tratar de ruído de tráfego como fonte sonora, a notação a utilizar seria $D_{tr,2m}$.

Fazendo a correcção desses valores para o tempo de reverberação no compartimento receptor, obtém-se o valor do isolamento sonoro a ruídos de condução aérea com o exterior, padronizado para T_0 , $D_{2m,nT}$ [22].

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (4.6)$$

Sendo:

“T” tempo de reverberação no compartimento receptor (s)

“ T_0 ” tempo de reverberação de referência, em edifícios destinados à habitação, $T_0 = 0,5$ s.

De forma análoga ao realizado para o isolamento sonoro a ruídos de condução aérea entre compartimentos, a partir dos valores de $D_{2m,nT}$, para cada banda de frequência, e por ajuste da curva real de $D_{2m,nT}$ à curva de referência (figura 4.9), de acordo com o especificado da NP EN ISO 717-1, obtêm-se um índice único de avaliação, $D_{2m,nT,w}$, índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea com o exterior padronizado.

4.3 ISOLAMENTO A SONS DE PERCUSSÃO

Os sons de percussão têm origem directa de solicitações da fonte sobre os elementos da construção, de tal forma que, a sua extensão de propagação, influenciada pela rigidez das ligações existentes ao longo do edifício, é muito superior ao que se verifica para sons aéreos, os sons de percussão podem ter um carácter mais incomodativo, prejudicando o conforto acústico do edifício.

Qualquer acção de choque exercida em determinado elemento construtivo, como o movimento de pessoas, a queda de objectos, até mesmo o funcionamento de equipamentos individuais, como máquinas de lavar, produz uma excitação que se traduz em ondas elásticas, que se propagam ao longo dos elementos e, em função das suas características elásticas, atingem o receptor em forma de energia sonora. [9]

Contrariamente ao que se verifica para sons de condução aérea, o aumento da massa dos elementos não apresenta grande efeito na propagação das ondas sonoras, visto que a transferência das ondas sonoras está intimamente relacionada com a rigidez das ligações dos elementos construtivos. Então, a criação de ligações resilientes entre os revestimentos das superfícies ou até entre elementos, faz com que grande parte da energia sonora produzida seja absorvida, diminuindo a sua propagação a compartimentos vizinhos.

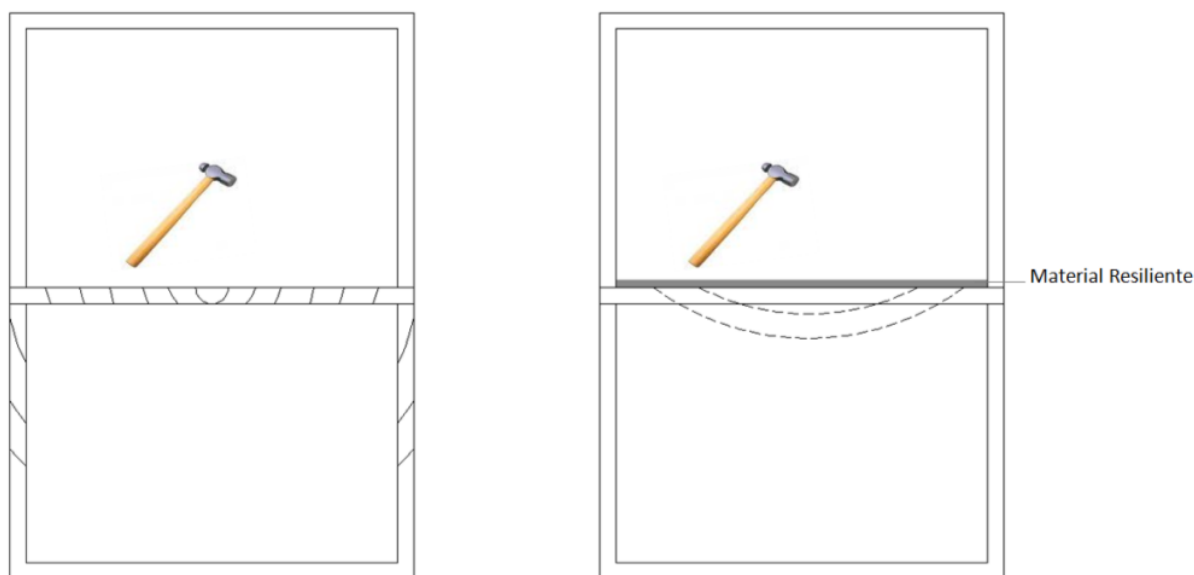


Figura 4.11 – Esquema de funcionamento do isolamento sonoro a sons de percussão.

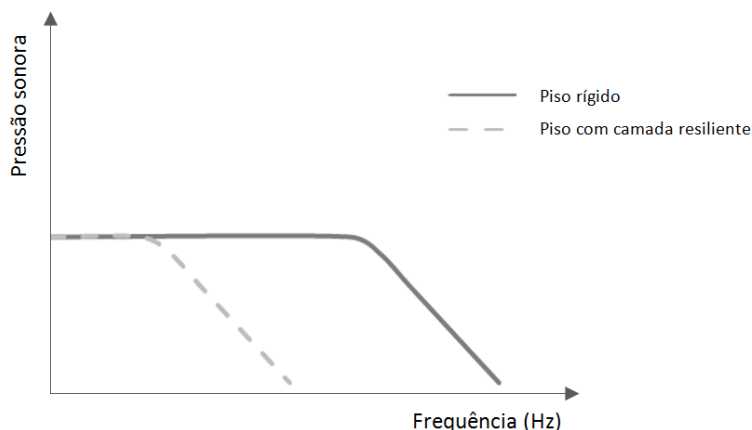


Figura 4.12 – Comportamento, em frequência, da influência de uma camada resiliente sobre piso rígido.

4.3.1 ISOLAMENTO SONORO A SONS DE PERCUSSÃO ENTRE COMPARTIMENTOS

A medição do isolamento sonoro a ruídos de percussão pode ser realizada sem o efeito das transmissões marginais, realizada em laboratório e de acordo com o preconizado na NP EN ISO 140-6, ou com a presença do efeito das transmissões marginais, realizada *in situ* e de acordo com o especificado na NP EN ISO 140-7.

4.3.1.1 Medições *in situ*

A caracterização do isolamento sonoro a sons de percussão realiza-se de acordo as técnicas descritas na norma NP EN ISO 140-7, preferencialmente por bandas de frequência de largura de um terço de oitava entre as frequências centrais de 100 Hz e 3 150 Hz.

Contrariamente ao que sucede no caso dos sons aéreos, não se pode medir o ruído de percussão pela diferença dos níveis de pressão sonora entre os compartimentos emissor e receptor. O ruído percebido no local receptor tem uma relação muito pequena com o produzido no local emissor. [9]

A metodologia de ensaio descrita na referida norma consiste na realização de uma percussão normalizada sobre o pavimento a ensaiar. A máquina de impactos normalizada que percute o pavimento é constituída por cinco martelos de 500g que caem de uma altura de 4 cm e atingem o pavimento com uma velocidade de 0,033 m/s. Deverá garantir-se que os martelos da máquina de percussão se encontrem orientados a 45° da direcção das nervuras das vigas.

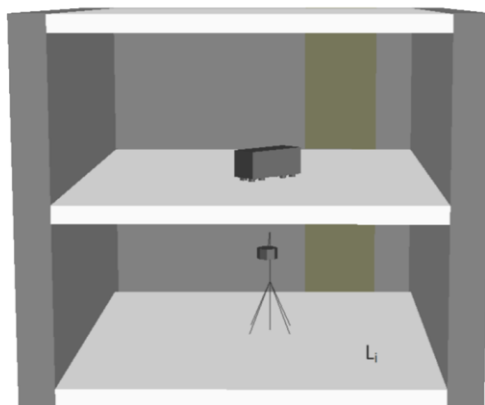


Figura 4.13 – Esquema de medição do isolamento sonoro a sons de percussão.

Deste procedimento resulta um conjunto de pancadas que, sendo normalizadas, permitem avaliar o ruído no compartimento receptor (L_i) e, assim, obter o nível de pressão sonora de percussão padronizado, L'_{nT} , que resulta da correcção do L_i para o tempo de reverberação do compartimento receptor [23].

$$L'_{nT} = L_i + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (4.1)$$

Sendo:

“T” tempo de reverberação no compartimento receptor (s)

“ T_0 ” tempo de reverberação de referência, em edifícios destinados à habitação, $T_0 = 0,5$ s.

A partir dos valores de L'_{nT} para cada banda de frequência, e por ajuste da curva real de L'_{nT} à curva de referência (figura 4.14), de acordo com o especificado da NP EN ISO 717-2, obtém-se um índice único de avaliação, $L'_{nT,w}$, índice de isolamento sonoro a sons de percussão padronizado.

Quadro 4.2 – Valores das descrições analíticas das curvas de referência referentes a sons de percussão.

Bandas de frequência (Hz)	1/1 oitava	1/3 oitava
100		0
125	0	0
160		0
200		0
250	0	0
315		0
400		-1
500	-2	-2
630		-3
800		-4
1 000	-5	-5
1 250		-8
1 600		-11
2 000	-18	-14
2 500		-17
3 150		-20

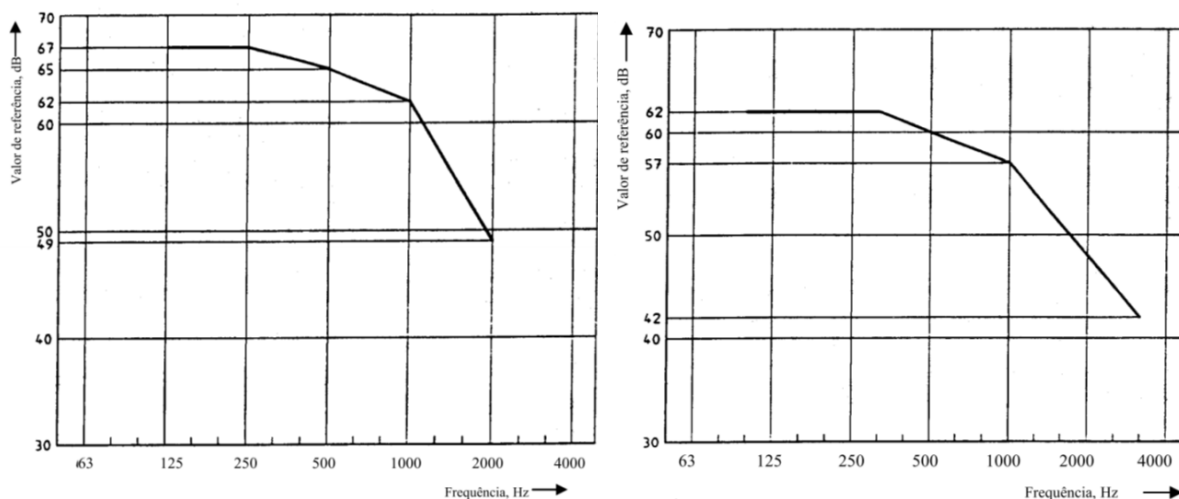


Figura 4.14 – Curvas de referência para sons de percussão para as bandas de oitava (dir.) e de terço de oitava (esq.). [24]

4.4 ISOLAMENTO SONORO DE EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES

Devido à grande diversidade de equipamentos e instalações de que são dotados os edifícios, muitas são as situações em que o funcionamento desses mesmos equipamentos ou instalações acarretam episódios de desconforto acústico para os utilizadores.

Torna-se, então, necessário, um cuidado especial no tratamento destas fontes geradoras de ruído, que passa não só pelo dimensionamento cuidado de envolventes, mas também pela escolha de equipamentos menos ruidosos.

4.4.1 AVALIAÇÃO DO RUÍDO PARTICULAR DE EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES

4.4.1.1 Medições *in situ*

O nível de avaliação do ruído particular de equipamentos e instalações, $L_{Ar,IT}$ é determinado de acordo com as metodologias descritas na norma ISO 16032, por bandas de frequência de largura de um terço de oitava entre as frequências centrais de 50 Hz e 8 000 Hz e avaliado com filtro A.

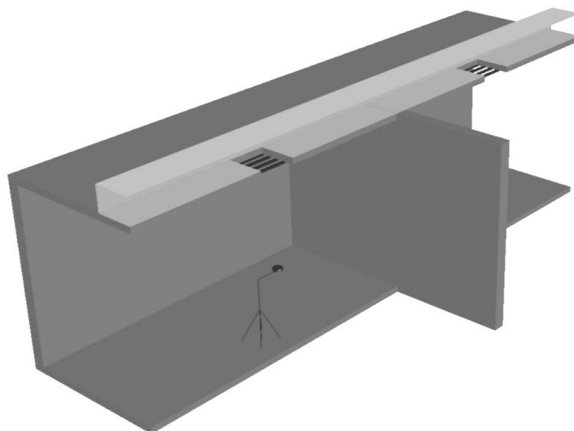


Figura 4.15 – Esquema de medição do nível de avaliação do ruído particular de equipamentos e instalações.

A avaliação do ruído particular é feita pela determinação do nível sonoro contínuo equivalente do equipamento, L_A , no compartimento receptor, durante um intervalo de tempo específico, e corrigido para o tempo de reverberação desse compartimento. Este valor obtido pode ser penalizado ou não por componentes tonais do ruído particular, K_{tonal} , cuja avaliação é efectuada tendo em conta a metodologia descrita no anexo I do DL n.º 9/2007.

$$L_{Ar,nT} = L_A + K_{tonal} + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (4.7)$$

Sendo:

“T” tempo de reverberação no compartimento receptor (s)

“ T_0 ” tempo de reverberação de referência, em edifícios destinados à habitação, $T_0 = 0,5$ s

“ K_{tonal} ” componente que detecta as características tonais do ruído dentro do intervalo de tempo de avaliação. Consiste em verificar, no espectro de um terço de oitava, se o nível sonoro de uma banda da gama do 50 aos 8 000 Hz, excede o das adjacentes em 5 dB(A) ou mais, caso em que o ruído deve ser considerado tonal [dB(A)]

“ L_A ” nível sonoro contínuo equivalente do ruído particular [dB(A)]

5

TIPIIFICAÇÃO DO PARQUE EDIFICADO OBJECTO DE ESTUDO

5.1 INTRODUÇÃO

O Centro Histórico do Porto é a manifestação patente e viva de uma malha urbana medieval que perdurou até ao presente. A riqueza de soluções e modos de construção é o testemunho de uma época cuja autenticidade importa preservar.

Este capítulo tem como objectivo a descrição das soluções típicas do edificado da Baixa portuense na tentativa de uma posterior caracterização do seu comportamento acústico.

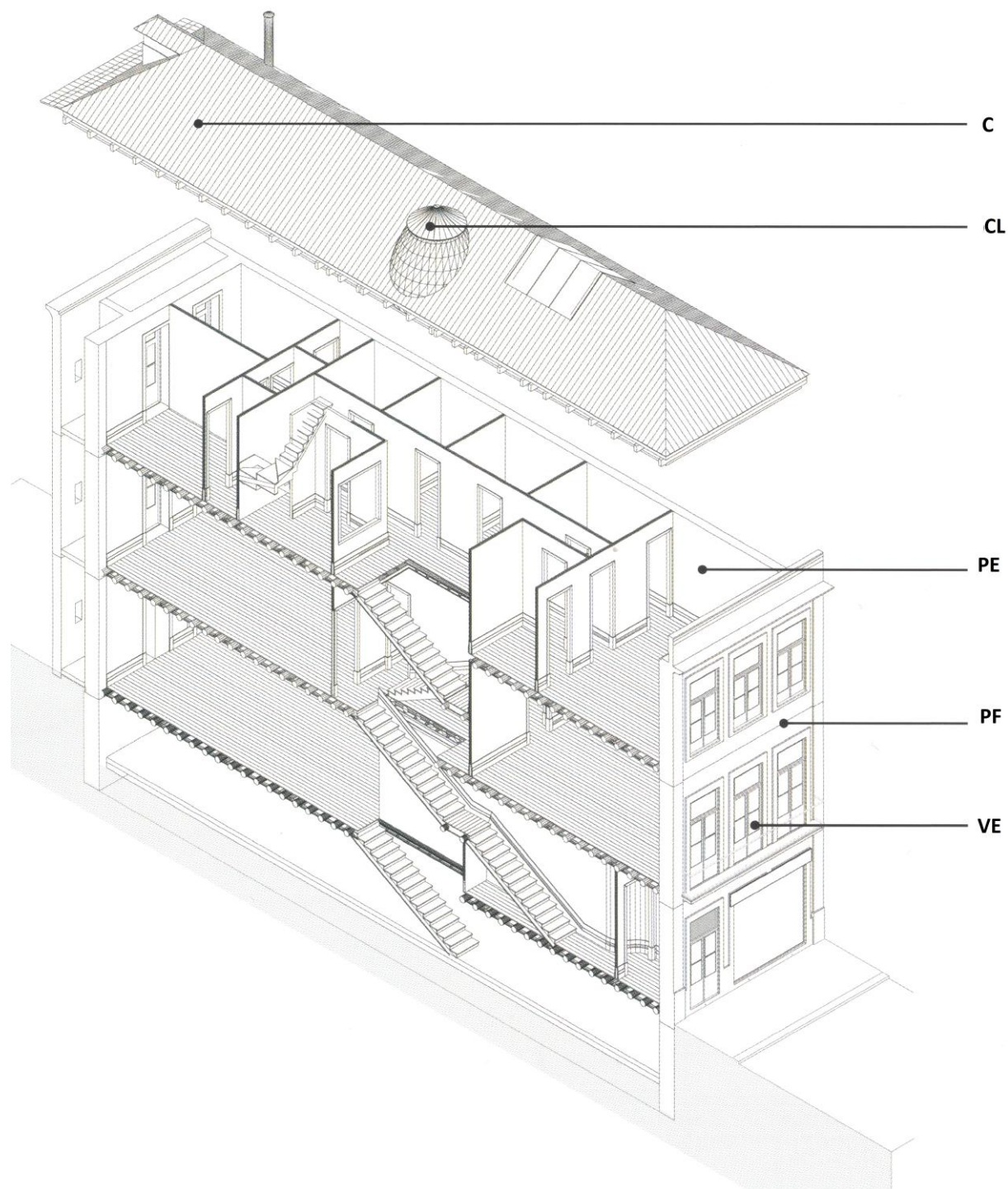
Essa análise vai ser limitada às soluções que actuam directamente na transmissão sonora entre locais, nomeadamente fachadas, paredes de separação entre fogos e pavimentos.

5.2 TIPIIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS CONVIVENTES NA BAIXA DO PORTO

Esta descrição incide sobre o património edificado na cidade do Porto, no período compreendido entre o século XIX e final do século XX.



Figura 5.1 – Representação virtual de diversas formas arquitectónicas conviventes no Centro Histórico do Porto.



- C – Cobertura
- CL – Clarabóia
- PE – Parede de Empena
- PF – Parede de Fachada
- VE – Vão Envidraçado

Figura 5.2 – Esquema representativo das soluções correntes no edificado da Baixa portuense. Adaptado de [25].

5.2.1 ELEMENTOS DE FACHADA

O cariz morfológico das fachadas que constituem a Baixa portuense tem uma importância verdadeiramente cenográfica, são testemunho de épocas características de um modo construtivo muito próprio.

A composição das paredes de fachada é predominantemente em alvenaria de granito aparelhada, podendo encontrar-se revestidas pelo exterior com cerâmicos tradicionais ou apenas rebocadas e pintadas. É comum a ornamentação destas paredes com cantaria a envolver os vãos envidraçados, saliências de varandas, cunhais e cornijas. Estas paredes, pelo facto de serem elementos autoportantes, apresentavam sempre espessuras consideráveis.

Alguns edifícios apresentam soluções mistas, como pedra e tijolo ou madeira e tijolo. As paredes de pedra e tijolo eram constituídas por dois panos, um em pedra, outro em tijolo, justapostos, que podiam encontrar-se rebocados e pintados pelo interior e exterior ou com azulejos pelo exterior. As paredes de tijolo e madeira eram estruturadas por tábuas de madeira que formavam o esqueleto da parede em forma de gaiola, sendo o interior preenchido com tijolo. Estas eram ainda revestidas pelo interior, ou também pelo exterior, pelo fasquiado que recebia os respectivos revestimentos.

Pode ainda ver-se algumas soluções de paredes exteriores em tabique em pisos acrescentados, solução usada correntemente em paredes divisórias. De espessura reduzida, encontram-se estruturadas com tábuas de madeira colocadas verticalmente ou inclinadas que recebem o fasquiado, constituído por pequenas régua de madeira colocadas perpendicularmente, às quais adere o reboco. A aderência do reboco era melhorada pela lascagem da madeira.

É comum encontrarem-se paredes em tabique e paredes mistas de madeira e tijolo revestidas pelo exterior com azulejos, soletos de ardósia ou chapa zincada pregadas ao fasquiado.

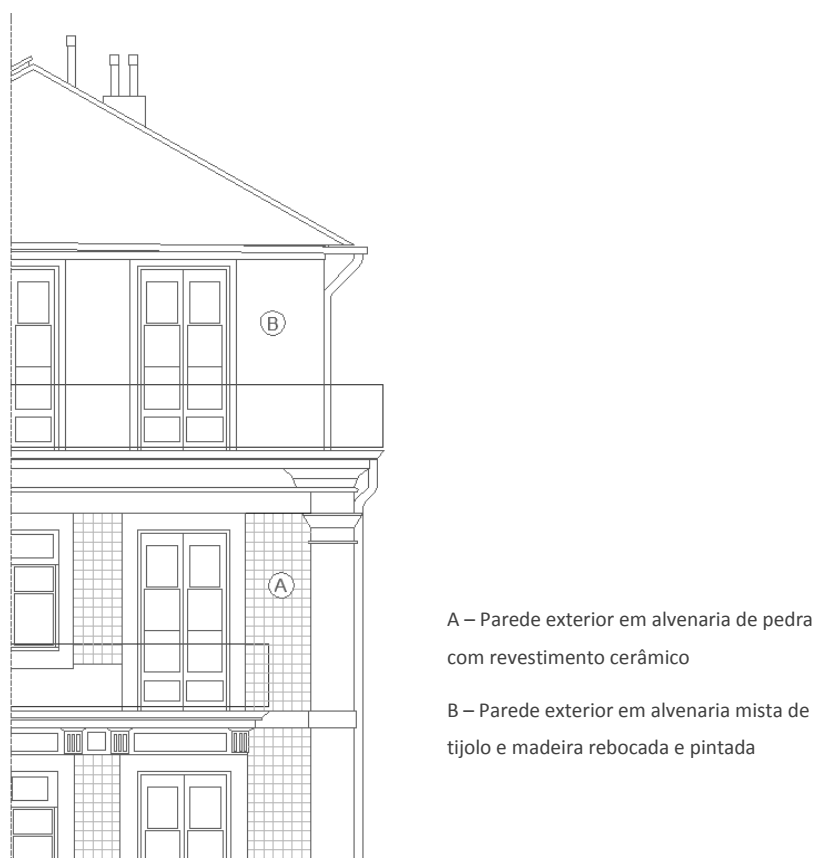
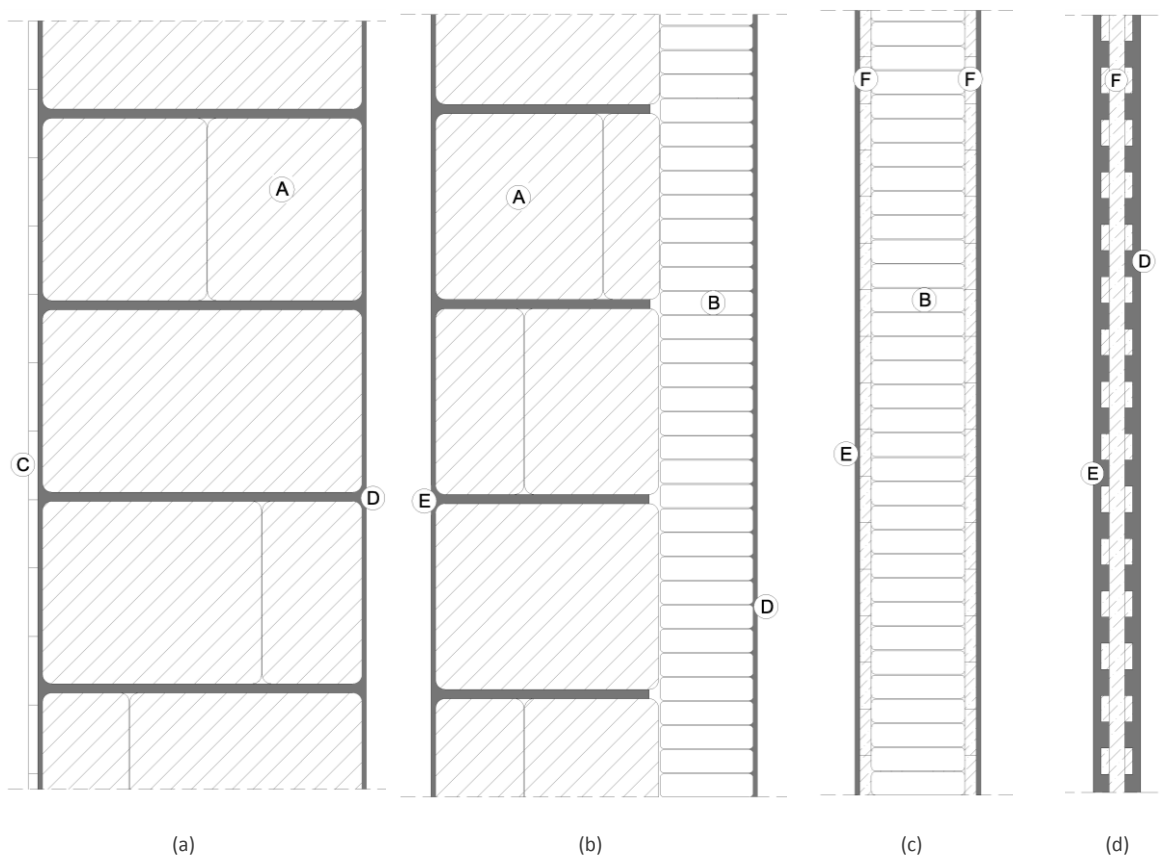


Figura 5.3 – Alçado de uma fachada do Centro Histórico do Porto.



- A – Alvenaria de pedra C – Revestimento exterior cerâmico E – Reboco exterior pintado
B – Alvenaria de tijolo maciço D – Reboco interior pintado F – Madeira estrutural

Figura 5.4 – Corte transversal tipo de paredes exteriores em alvenaria de pedra (a), alvenaria mista de pedra e tijolo (b) e madeira e tijolo (c) e de tabique (d).



Figura 5.5 – Soluções de paredes exteriores em alvenaria de pedra com e sem revestimento cerâmico.



Figura 5.6 – Soluções de paredes exteriores em tabique. [26]

5.2.2 PAREDES DE MEAÇÃO

As paredes de meação da cidade do Porto são, correntemente, em alvenaria de pedra (figura 5.4), podendo encontrar-se algumas soluções em alvenaria mista de madeira e tijolo (figura 5.4), individuais ou comuns a duas habitações contíguas. [27]

Estas paredes eram regularizadas pelo interior com argamassa, sobre a qual assentava o acabamento em gesso pintado. Pelo exterior é usual, nas partes descobertas das empenas, o revestimento com soletos de ardósia ou o uso de um barramento de asfalto, protegido com chapa zincada ondulada. Ambas as soluções eram fixas com pregos ao fasquiado.



Figura 5.7 – Paredes de empena revestidas por asfalto (a), soletos de ardósia (b) e chapa zincada (c).

5.2.3 VÃOS ENVIDRAÇADOS

Os vãos envidraçados são compostos predominantemente por caixilharias em madeira ou metal (ferro), normalmente alinhadas pela face exterior do plano da fachada, associadas a vidro simples com espessuras entre os 3 e os 5 mm. Estas soluções eram acompanhadas por uma protecção solar interior materializada por portadas em madeira, com possibilidade de recolha dentro da espessura da parede disponível.

Distinguem-se duas formas de abertura correntes no edificado desta época: em guilhotina e de batente com duas folhas. Os caixilhos utilizados eram usualmente pintados em tons de branco, excepto os aros e os mata-juntas, que eram pintados com a mesma cor das portas. [27]

Os tipos de madeira mais utilizados nos vãos envidraçados eram o pinho, a casquinha e o castanho em soluções mais abastadas. [27]

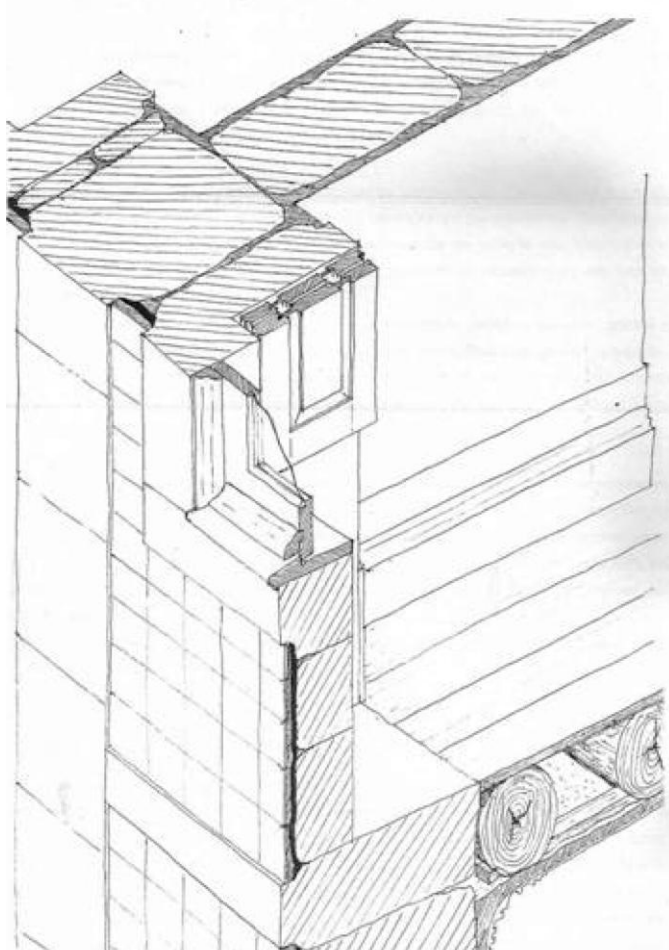


Figura 5.8 – Corte esquemático de uma janela corrente da Baixa do Porto. [28]

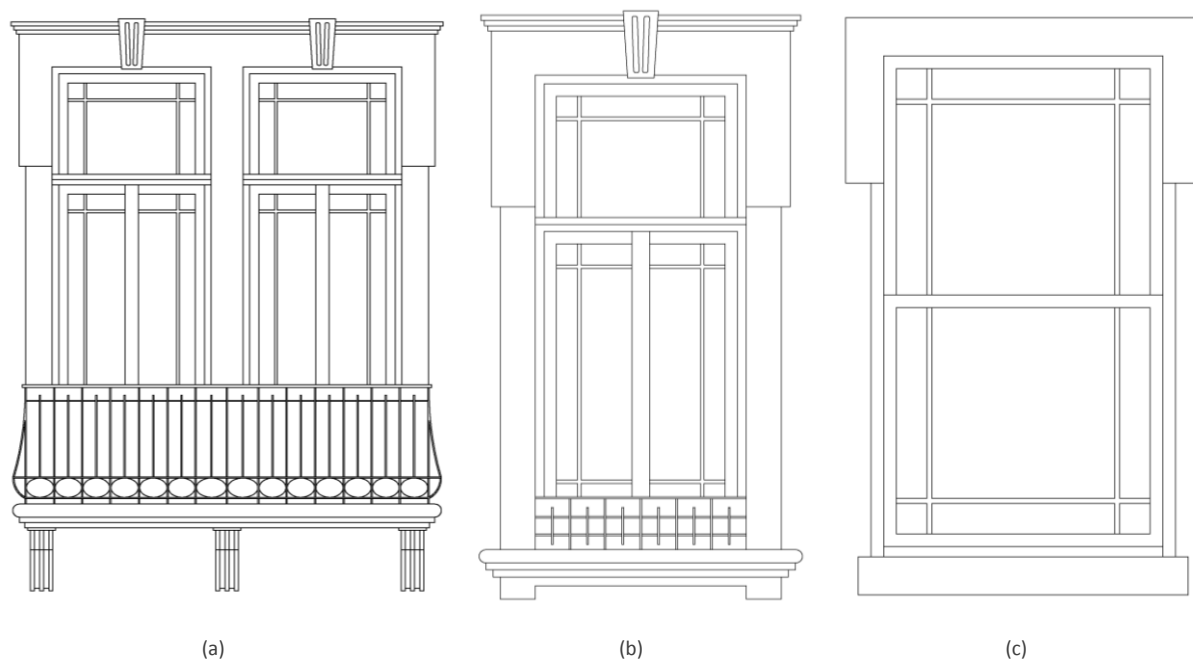


Figura 5.9 – Alçados de janelas de batente de varanda (a), batente de peito (b) e de guilhotina (c).

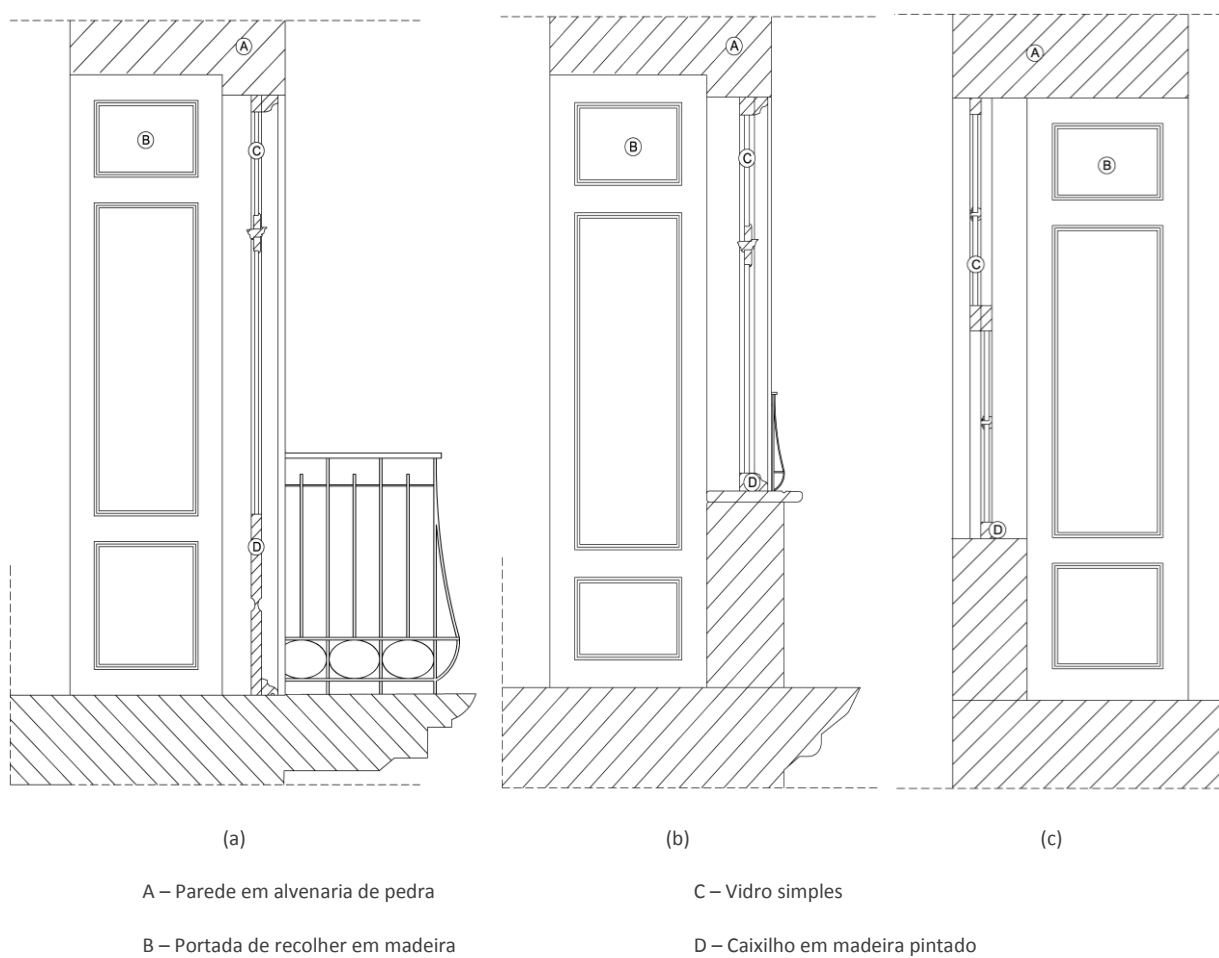


Figura 5.10 – Corte transversal tipo de janelas de batente de varanda (a), batente de peito (b) e de guilhotina (c).



Figura 5.11 – Janela exterior de batente com portadas interiores.



Figura 5.12 – Janela exterior de batente de varanda com portadas interiores.



Figura 5.13 – Janela exterior de guilhotina.

5.2.4 PORTAS

5.2.4.1 Portas exteriores

As portas exteriores que podem ser encontradas em muitas habitações portuenses caracteristicamente esguias e robustas, constituídas por duas folhas totalmente fechadas ou com pequenos postigos, com caixilhos envidraçados e protegidos por uma grade em ferro. É frequente estas portas serem encimadas por uma bandeira, igualmente com caixilho envidraçado e protegido por grade em ferro. Estas aberturas permitem desta forma uma melhor iluminação do espaço que constitui a entrada.

Os elementos que constituem estas portas são fixos, através de dobradiças, aos aros em cantaria que constituíam os vãos.

As madeiras mais utilizadas para a concretização destas soluções eram o pinho ou o castanho, em casas mais abastadas. [27]



A – Bandeira com caixilho e grade em ferro
B – Postigo com caixilho e grade em ferro

Figura 5.14 – Alçado tipo de uma porta exterior de duas folhas.



Figura 5.15 – Portas exteriores características do edifício portuense.

5.2.4.2 Portas interiores

As portas interiores, usualmente em madeira de pinho ou casquinha, constituídas por uma ou duas folhas de abrir, eram encimadas por uma bandeira com caixilho em vidro nos compartimentos principais, permitindo iluminar os espaços interiores através da luz proveniente dos vãos envidraçados da fachada.

Estas portas eram ligadas às paredes em tabique através de dobradiças fixas aos aros, formados por uma esquadria de tábuas com o perfil e cerca de 3 cm de espessura do batente.

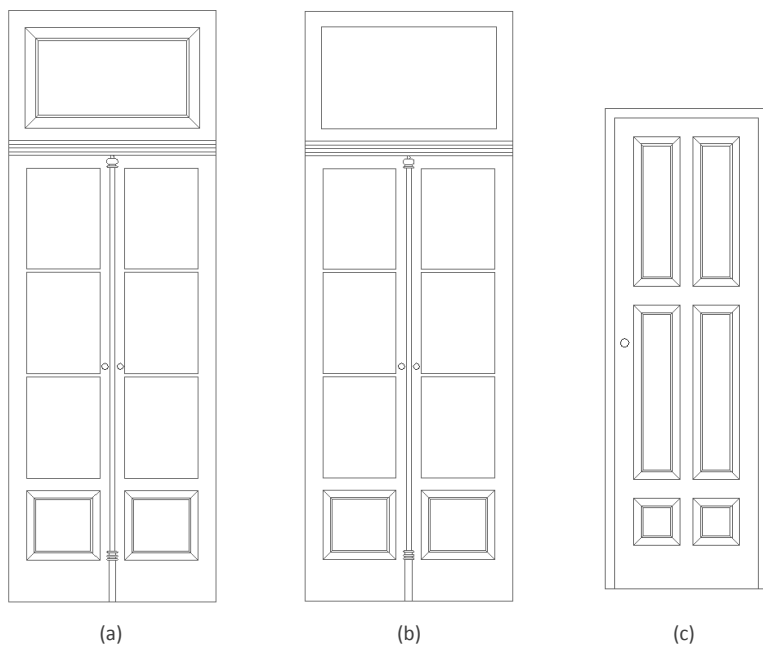


Figura 5.16 – Alçado tipo de portas interiores encimadas por bandeira fechada (a), por bandeira com caixilho em vidro (b) e sem bandeira (c).



Figura 5.17 – Portas interiores típicas do edificado portuense.

5.2.5 PAVIMENTOS

As soluções construtivas usadas nos pavimentos eram realizadas por estruturas de madeira, variando apenas a nobreza do material empregue nestas soluções.

Os pavimentos estruturais em madeira eram constituídos por vigamentos principais dispostos paralelamente entre si. As dimensões das secções empregues dependiam do vão a vencer e consequentemente ditavam os espaçamentos entre vigas. As secções destes vigamentos eram normalmente rectangulares, ou em alguns casos com a forma do tronco de madeira.

Estes vigamentos apoiavam em paredes resistentes e a sua ligação era executada por meio de chapas aparafusadas ou pregadas às vigas e, posteriormente, à parede.

Como revestimento de piso, o uso do soalho era a solução preferencial. Este era executado pela pregagem das tábuas do soalho nos vigamentos principais. Privilegia-se o uso da ligação macho-fêmea entre tábuas, visto permitir ocultar os pregos na ligação das tábuas. [29]

Os tectos eram realizados pela colocação de um forro, constituído por tábuas de madeira pregadas aos vigamentos principais que recebiam o fasquiado, constituído por réguas de madeira de secção trapezoidal. O revestimento dos tectos era executado pelo enchimento e regularização com argamassa e acabamento em estuque. É muito frequente a ornamentação dos tectos em zonas nobres, como salas e vestíbulos, através de molduras colocadas em todo o perímetro e por vezes no centro dos compartimentos.

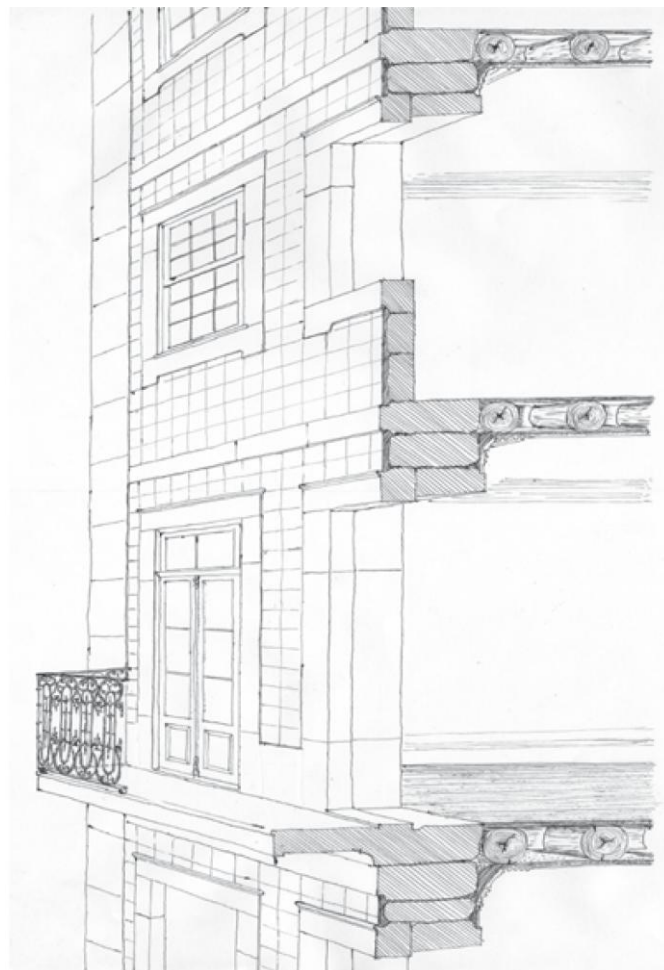
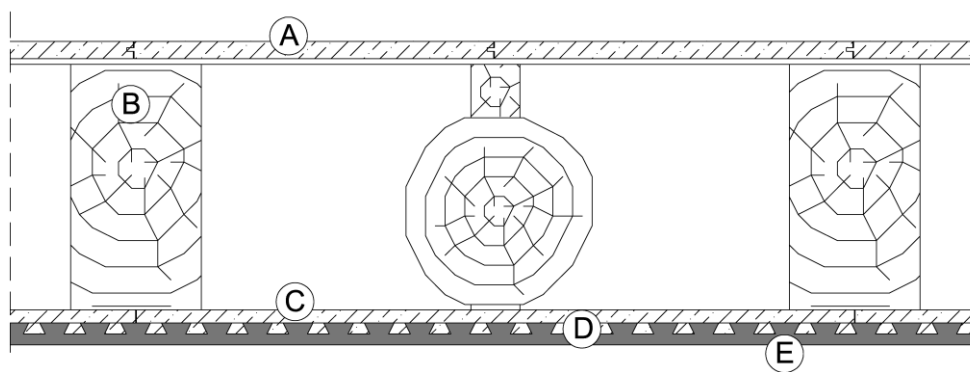


Figura 5.18 – Corte esquemático da solução tipo usada em pavimentos da Baixa portuense. [27]



A – Soalho C – Tabuado em madeira E – Reboco

B – Viga de madeira D – Fasquiado

Figura 5.19 – Corte transversal tipo de pavimento em madeira.



Figura 5.20 – Constituição de pavimento em estrutura de madeira.



(a)

(b)

Figura 5.21 – Pavimento estrutural com revestimento superior em soalho (a) e inferior em estuque (b).

6

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE EDIFÍCIOS ALVO

6.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objectivo o levantamento das soluções definidoras da organização dos espaços, visando a caracterização quantificada das suas propriedades acústicas.

Pretende-se, deste modo, a descrição tecnológica das soluções construtivas com efeito na transmissão sonora, directa e marginal, num conjunto de cinco edifícios localizados, na sua maioria, em pleno Centro Histórico do Porto.



Soluções tradicionais		Soluções modernas		
Edifício A	Edifício B	Edifício C	Edifício D	Edifício E

Figura 6.1 – Localização geográfica de edifícios alvo.

6.2 DESCRIÇÃO TECNOLÓGICA DE SOLUÇÕES

6.2.1 EDIFÍCIO A

O edifício em estudo encontra-se localizado no centro histórico da cidade do Porto, fazendo parte integrante do legado histórico desta cidade.

O projecto de intervenção teve como objectivo o restauro completo das soluções iniciais do edifício A. Desta forma, não foram adoptadas quaisquer medidas no sentido de melhorar as tecnologias construtivas das soluções pré-existentes. Todas as operações realizadas tiveram como finalidade o restauro das soluções primitivas do edifício, pelo que constituem, desta forma, uma prova real do comportamento dessas soluções, hoje, com importância assumida na reabilitação do património edificado.

O local em análise caracteriza-se por ter um ambiente sonoro predominantemente estimulado por ruído rodoviário incessante numa única direcção de tráfego, exponenciado pela constituição dos seus arruamentos em calçada de granito.

Actualmente, o edifício é constituído pelo rés-do-chão, destinado ao uso comercial, e três pisos elevados destinados a escritórios. Na tentativa de confrontar o comportamento das soluções tradicionais do edifício A com as soluções utilizadas nos restantes edifícios, considerou-se que o uso dado ao edifício seria o mesmo dos restantes, logo considera-se que o edifício é constituído por comércio no rés-do-chão e habitação nos pisos elevados.

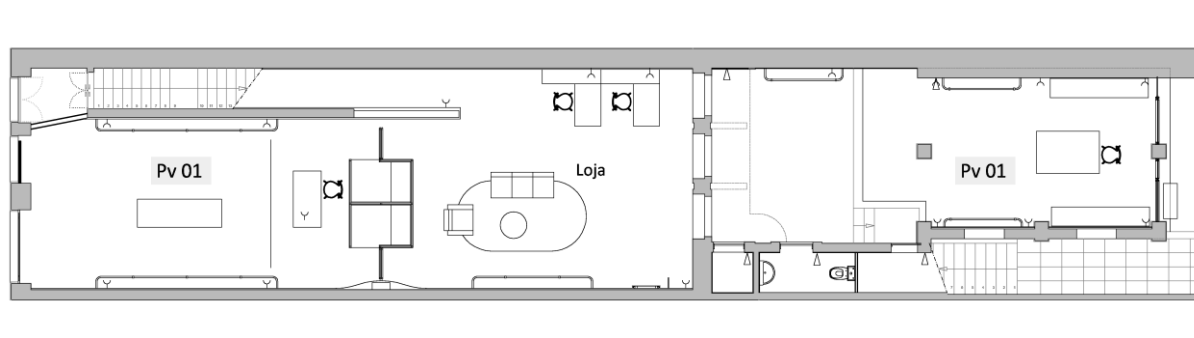
De acordo com a carta de condicionantes do município do Porto o edifício insere-se em zona mista.



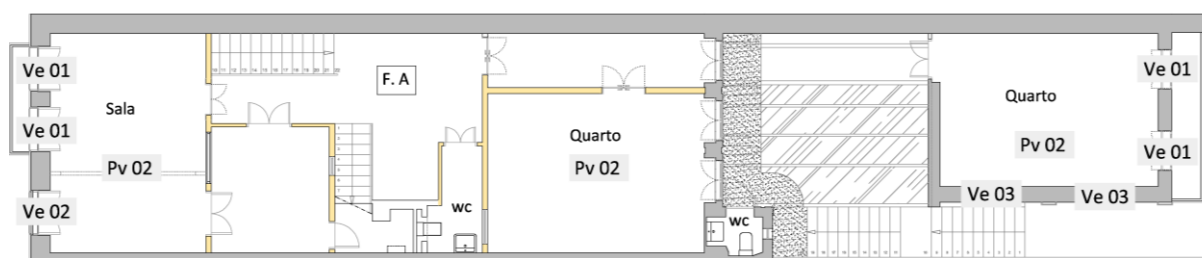
Figura 6.2 – Alçado do edifício A. Adaptado de [26].

6.2.1.1 Pormenorização construtiva

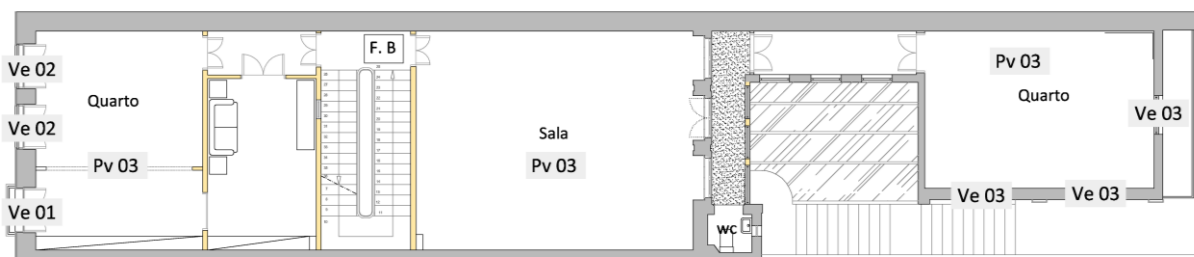
Podem ver-se localizadas na figura que se segue as plantas dos diferentes pisos do edifício A com a indicação, por escala de cores, das diferentes soluções construtivas que detêm um papel decisivo na transmissão sonora, directa e marginal, entre espaços.



(a)



(b)



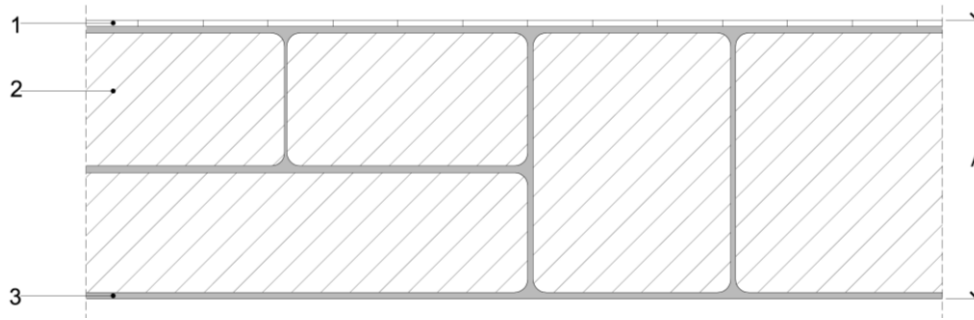
(c)

Legenda:

■ – Pr 01 ■ – Pr 02

Pv – Pavimento Pr – Parede Ve – Vão envidraçado

Figura 6.3 – Identificação das soluções edificantes do rés-do-chão (a), 1º (b) e 2º (c) pisos do edifício A.

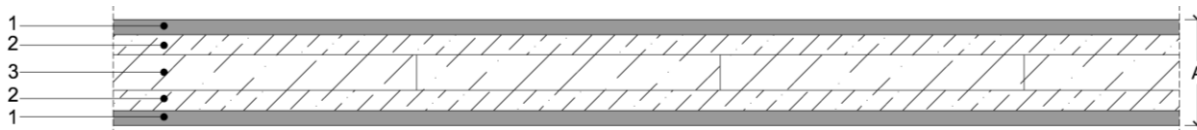


Corte horizontal - Pr 01 -

Legenda técnica:

1. Alvenaria de pedra com 58 cm de espessura
2. Cerâmica tradicional / reboco e pintura
3. Reboco e pintura
- A. Atravancamento total de cerca de 60 cm

Figura 6.4 – Esquema conceptual da parede da envolvente exterior.

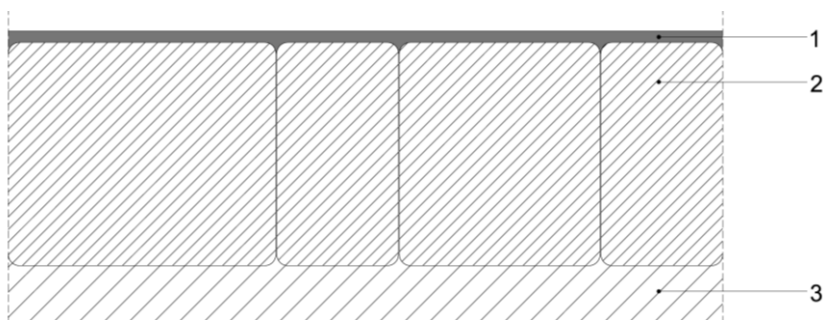


Corte horizontal - Pr 02 -

Legenda técnica:

1. Argamassa de enchimento, rebocado e pintado
2. Fasquio
3. Tábuas de madeira
- A. Atravancamento total de cerca de 12 cm

Figura 6.5 – Esquema conceptual da parede interior de compartimentação (tabique).

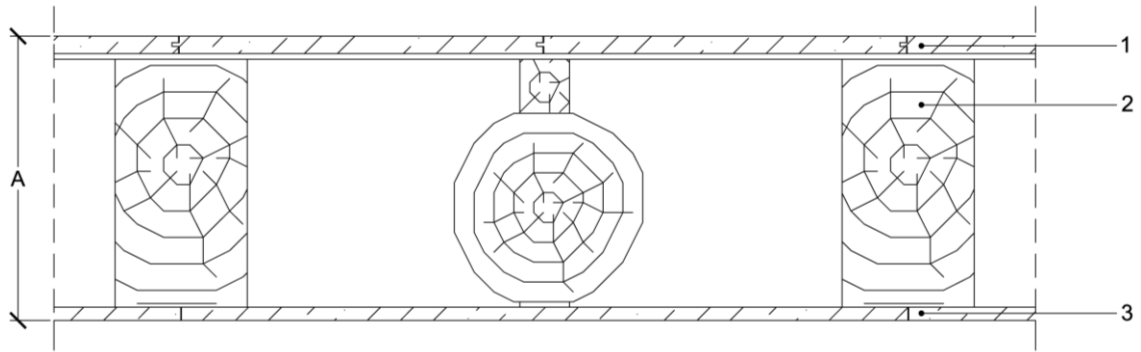


Corte vertical - Pv 01 -

Legenda técnica:

1. Betonilha de regularização
2. Alvenaria de pedra
3. Solo

Figura 6.6 – Esquema conceptual do pavimento do comércio.

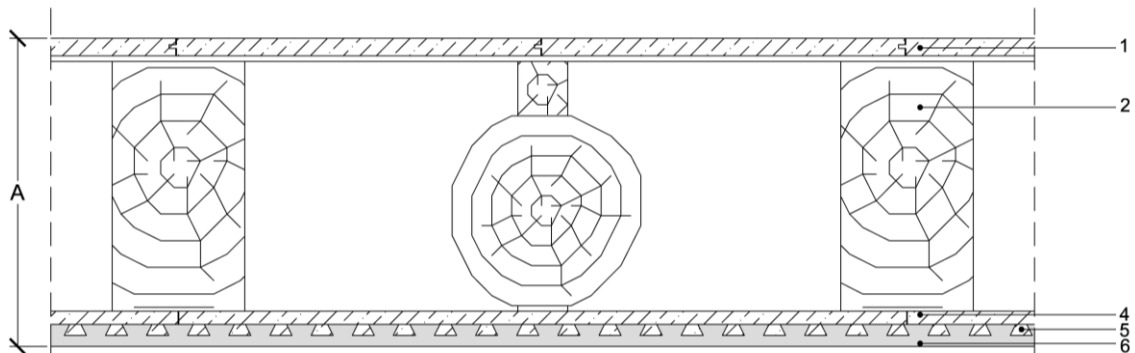


Corte vertical - Pv 02 -

Legenda técnica:

1. Revestimento superficial em madeira
2. Viga estrutural de madeira
3. Tabuado em madeira
- A. Atravancamento total de cerca de 40 cm

Figura 6.7 – Esquema conceptual do pavimento de separação entre o comércio e habitação.

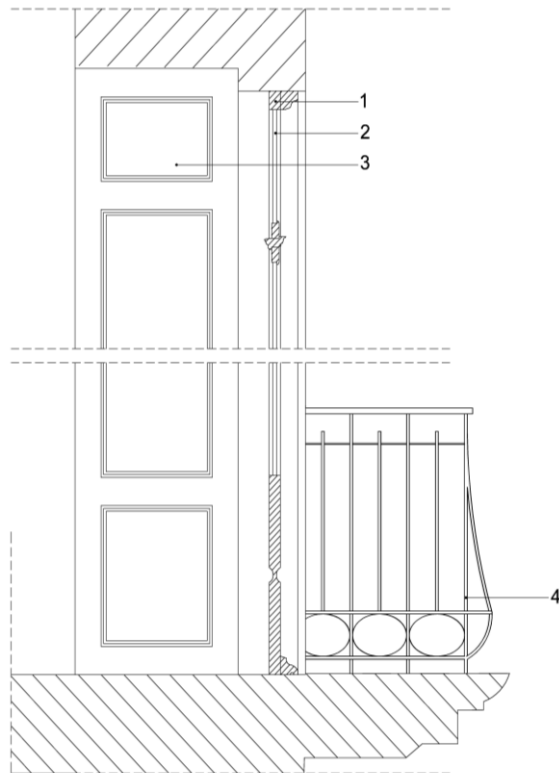


Corte vertical - Pv 03 -

Legenda técnica:

1. Revestimento superficial em madeira
2. Viga estrutural de madeira
3. Tabuado em madeira
4. Fasquio
5. Argamassa de enchimento, estucado e pintado
- A. Atravancamento total de cerca de 40 cm

Figura 6.8 – Esquema conceptual do pavimento de separação entre habitações distintas.



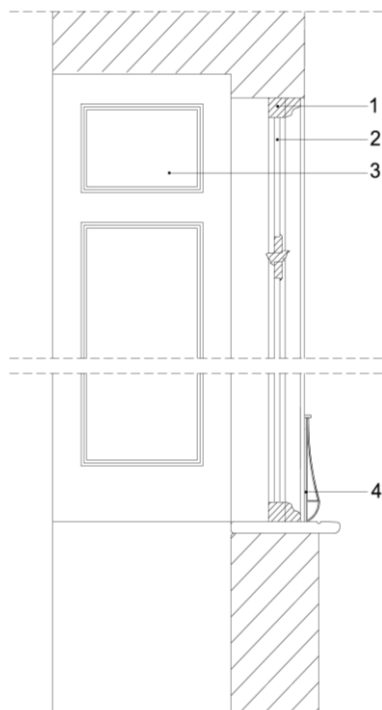
Legenda técnica:

(Janela de batente de varanda com duas folhas)

- 1. Caixilho em madeira
- 2. Vidro simples com cerca de 4 mm de espessura
- 3. Portada de madeira
- 4. Grade em ferro

Corte vertical - Ve 01 -

Figura 6.9 – Esquema conceptual do vão envidraçado.



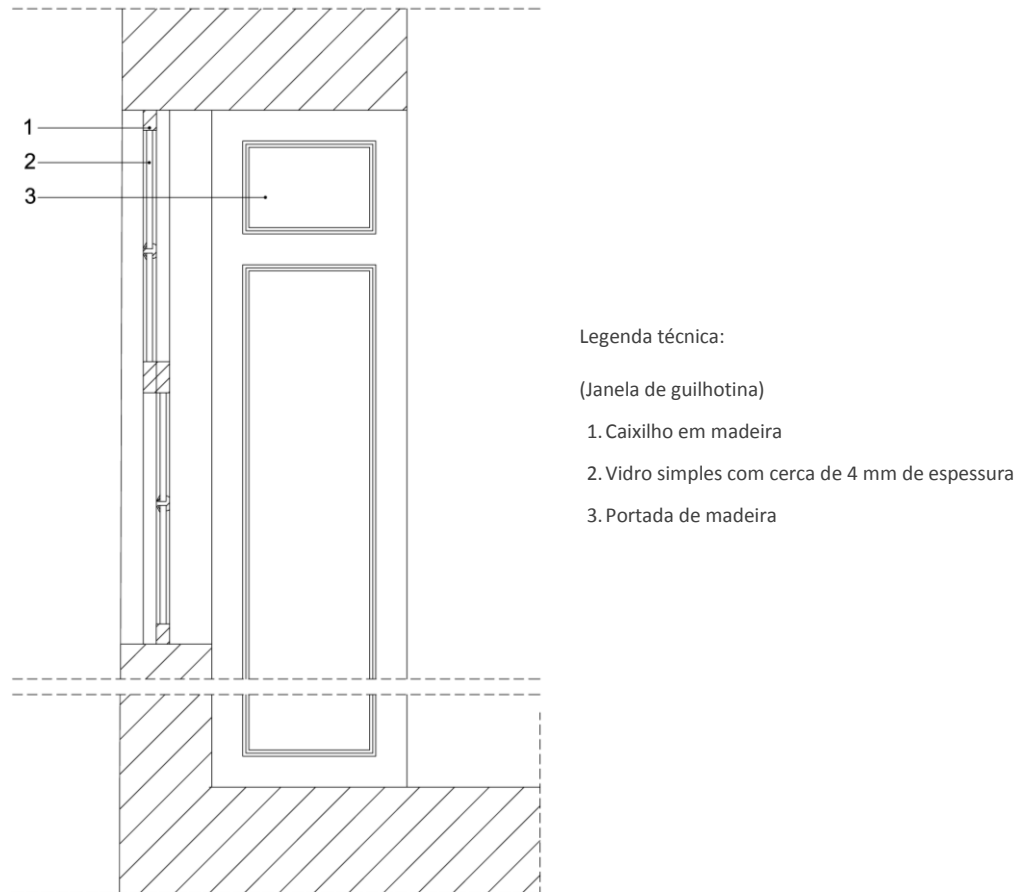
Legenda técnica:

(Janela de batente de peito com duas folhas)

- 1. Caixilho em madeira
- 2. Vidro simples com cerca de 4 mm de espessura
- 3. Portada de madeira
- 4. Grade em ferro

Corte vertical - Ve 02 -

Figura 6.10 – Esquema conceptual do vão envidraçado.



Corte vertical -Ve 03 -

Figura 6.11 – Esquema conceptual do vão envidraçado.

6.2.2 EDIFÍCIO B

O edifício em estudo encontra-se localizado na Baixa do Porto contendo, à semelhança do edifício A, um legado de soluções construtivas identitárias desta cidade.

O edifício B encontra-se desabitado, não tendo sido alvo de qualquer intervenção, mantém todas as suas soluções construtivas originais, algumas delas em ruína. Desta forma, a análise a este edifício é limitada pela falta de continuidade das diferentes soluções tecnológicas e condições de segurança, factores que poderiam por em causa o retrato fiel do comportamento dessas soluções.

O local em análise caracteriza-se pela constituição dos seus arruamentos em asfalto, só com uma direcção de tráfego, sendo o ambiente sonoro predominante estimulado pelo ruído rodoviário.

O edifício é constituído pelo rés-do-chão e três pisos elevados destinados a habitação.

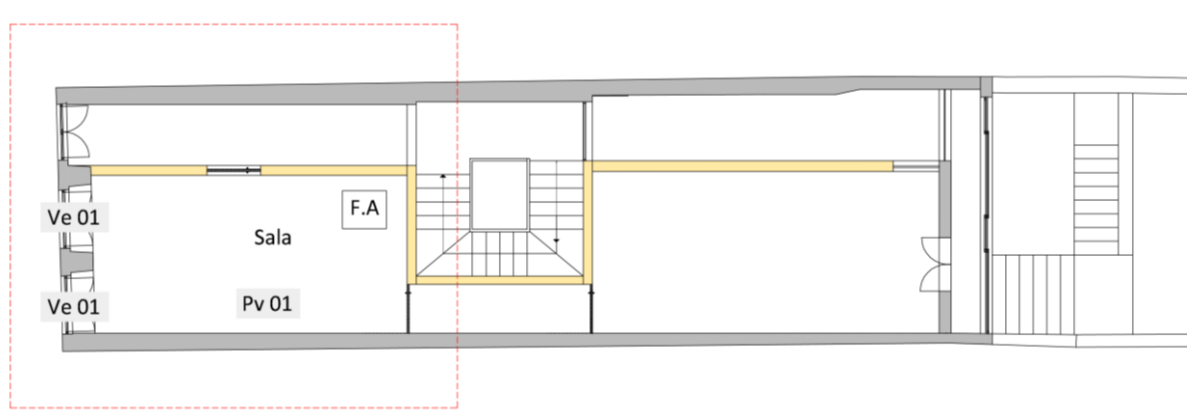
De acordo com a carta de condicionantes do município do Porto o edifício insere-se em zona mista.



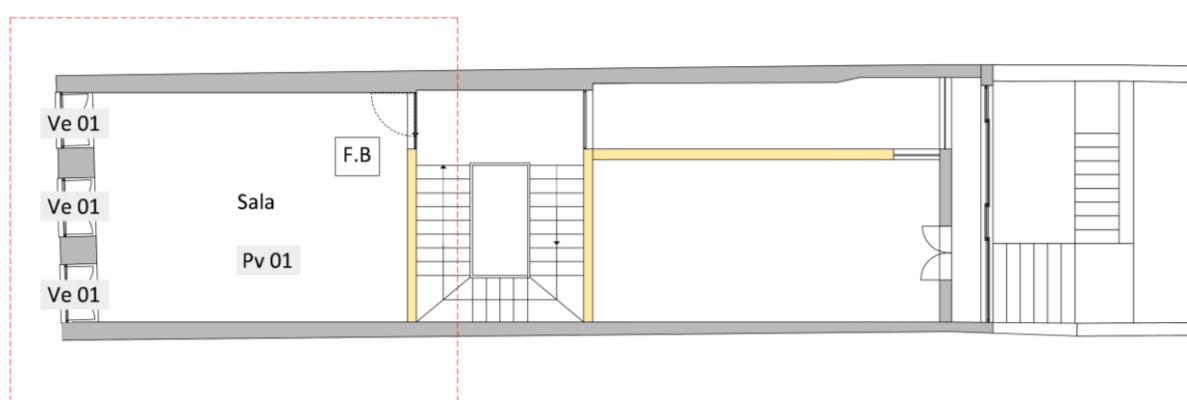
Figura 6.12 – Alçado do edifício B.

6.2.2.1 Pormenorização construtiva

Podem ver-se localizadas na figura que se segue as plantas do rés-do-chão e primeiro piso do edifício B com a indicação, por escala de cores, das diferentes soluções construtivas que detêm um papel decisivo na caracterização acústica dos elementos construtivos do compartimento receptor.



(a)



(b)

Legenda:

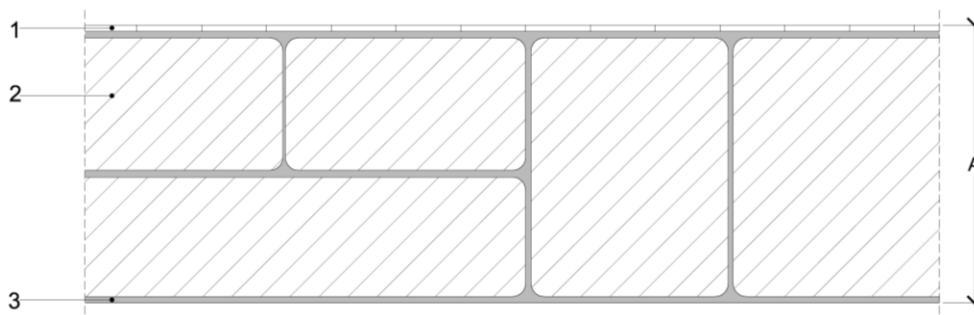
■ - Pr 01 ■ - Pr 02 - - - Área caracterizada

Pv - Pavimento

Pr - Parede

Ve - Vão envidraçado

Figura 6.13 – Identificação das soluções edificantes do rés-do-chão (a) e 1º piso (b) do edifício B.

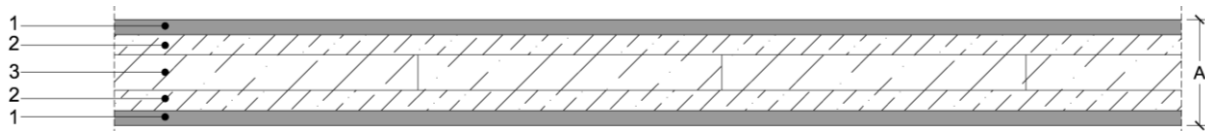


Corte horizontal - Pr 01 -

Legenda técnica:

1. Alvenaria de pedra com 58 cm de espessura
2. Cerâmico tradicional / reboco e pintura
3. Reboco e pintura
- A. Atravancamento total de cerca de 60 cm

Figura 6.14 – Esquema conceptual da parede da envolvente exterior.

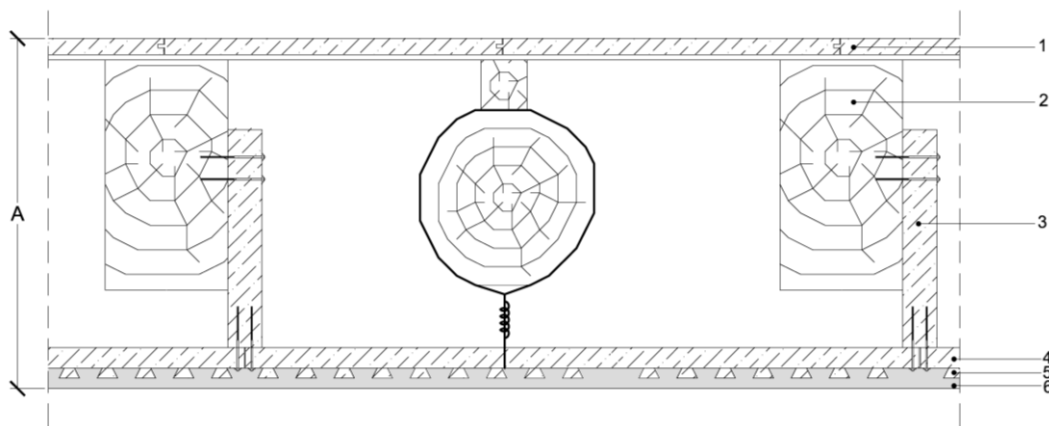


Corte horizontal - Pr 02 -

Legenda técnica:

1. Argamassa de enchimento, estucada e pintada
2. Fasquio
3. Tábuas de madeira
- A. Atravancamento total de cerca de 12 cm

Figura 6.15 – Esquema conceptual da parede de interior de compartimentação (tabique).

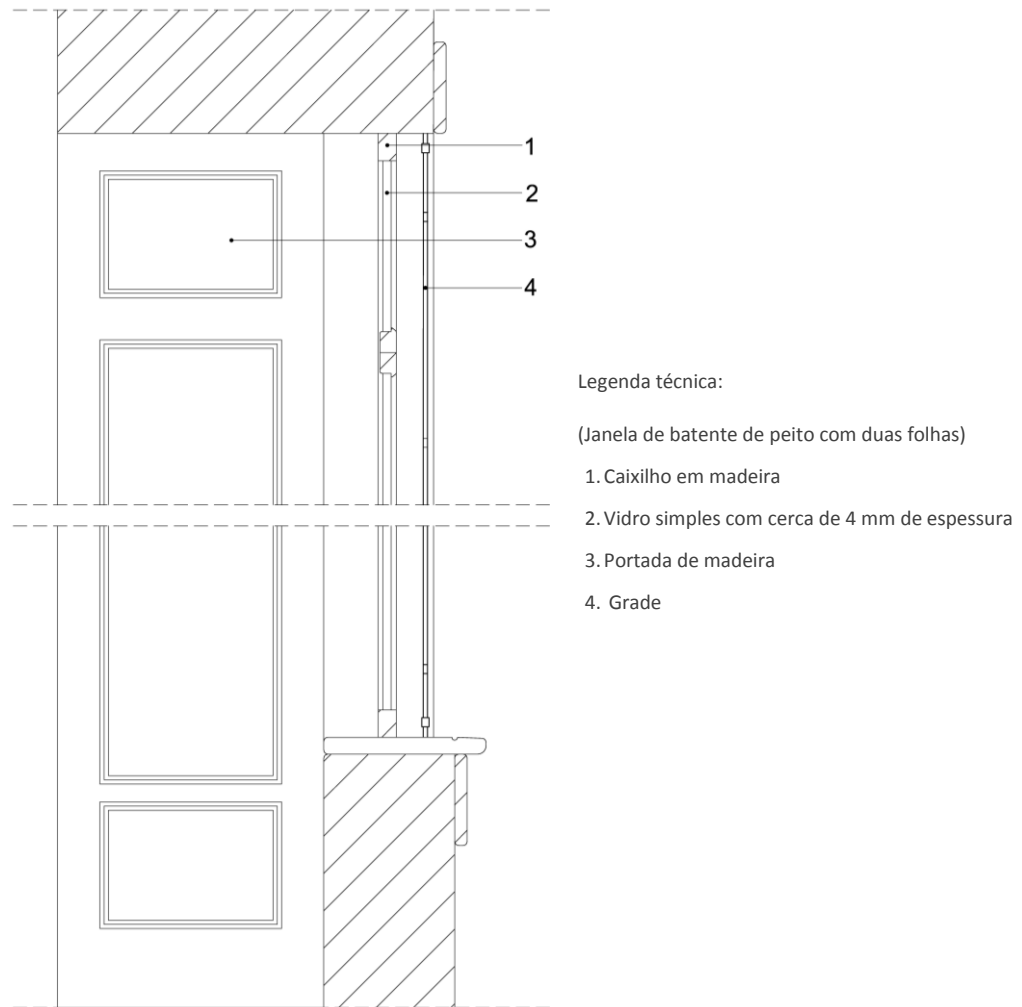


Corte vertical - Pv 01 -

Legenda técnica:

1. Revestimento superficial em madeira
2. Viga estrutural de madeira
3. Suspensor em madeira
4. Tabuado em madeira
5. Fasquio
6. Argamassa de enchimento, estucado e pintado
- A. Atravancamento total de cerca de 50 cm

Figura 6.16 – Esquema conceptual do pavimento de separação entre habitações distintas.



Corte vertical - Ve 01 -

Figura 6.17 – Esquema conceptual do vão envidraçado.

6.2.3 EDIFÍCIO C

O edifício em estudo está localizado numa zona importante do Centro Histórico do Porto, destacada pelo espólio de soluções arquitectónicas que o rodeiam.

As intervenções levadas a cabo tiveram como objectivo a reabilitação integral do edifício C, preservando-se unicamente as soluções de paredes exteriores em alvenaria de pedra. Todo o esqueleto interior foi demolido passando a ser estruturado por pilares e vigas em perfis metálicos ligados por meio de conexões metálicas às paredes e fundações em pedra.

O local em análise caracteriza-se por ter um ambiente sonoro predominantemente estimulado por ruído rodoviário incessante, incluindo a passagem frequente de transportes públicos pesados. Os arruamentos contíguos, em calçada de granito e com dois sentidos de trânsito, agravam esta situação.

O edifício é constituído por quatro pisos elevados destinados a habitação e rés-do-chão destinado a serviços.

De acordo com a carta de condicionantes do município do Porto o edifício está inserido em zona mista.

Todas as soluções preconizadas têm como propósito estabelecer soluções competitivas que, sendo o menos invasivas possível, se adaptem às soluções existentes cujo valor patrimonial importa preservar, e desta forma consigam proporcionar condições de conforto moldadas aos padrões de vida actual.

As medições acústicas realizadas ao edifício em apreço foram elaboradas e gentilmente cedidas pela equipa de projecto de acústica da SOPSEC S.A.

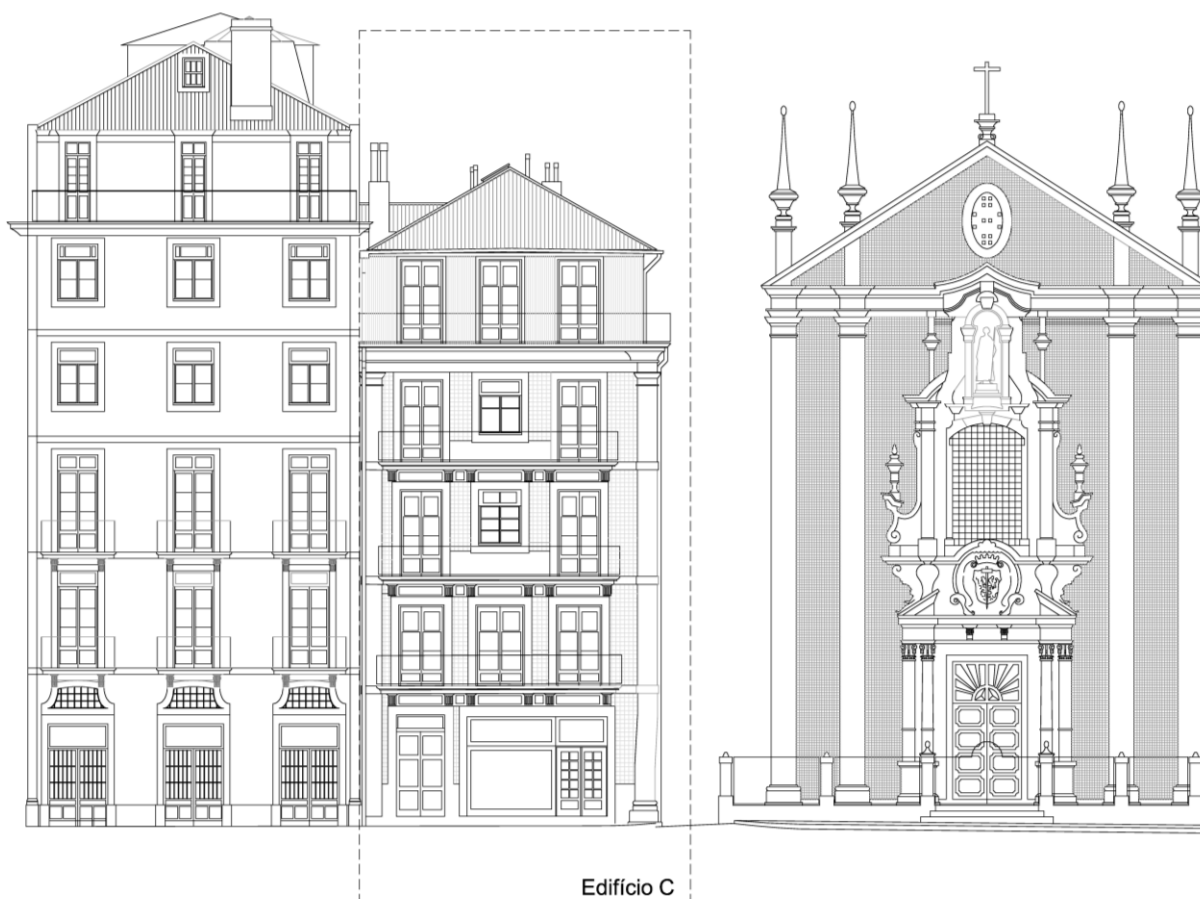
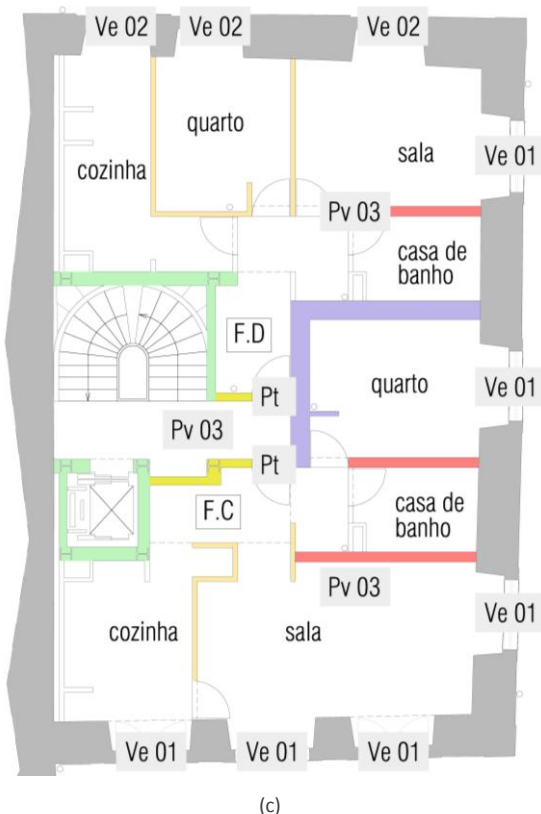
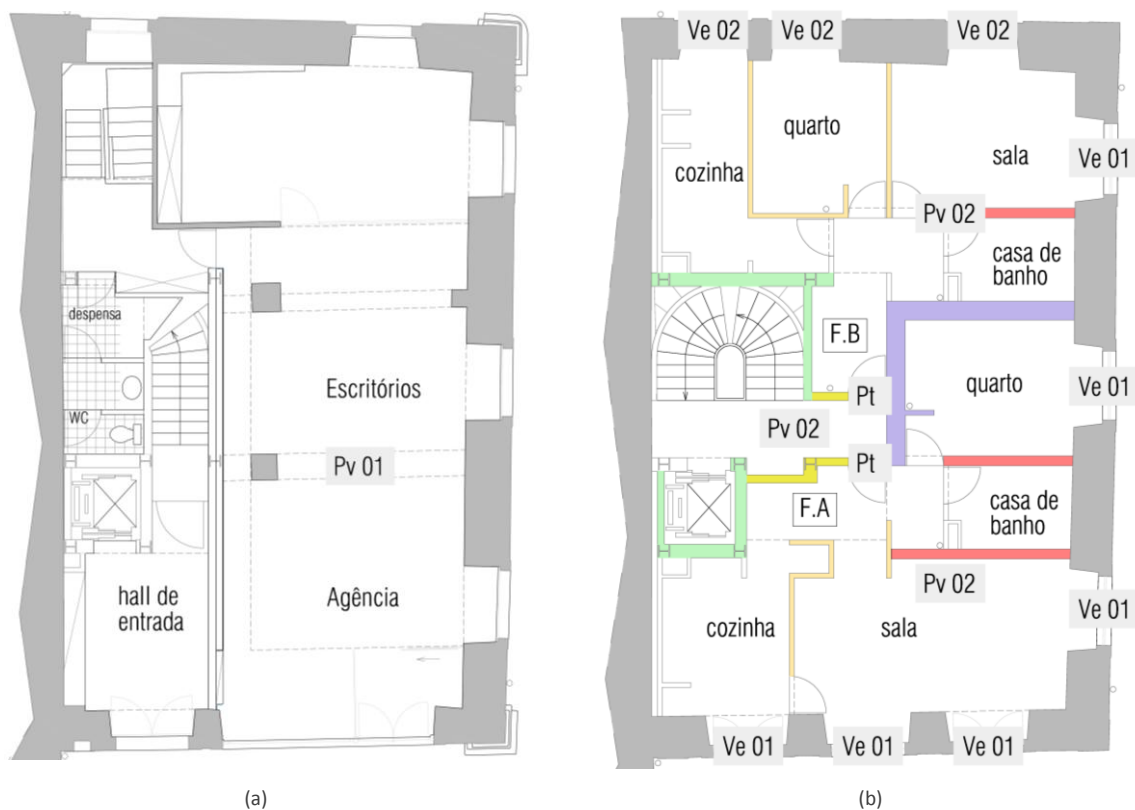


Figura 6.18 – Alçado do edifício C. Adaptado de [30].

6.2.3.1 Pormenorização construtiva

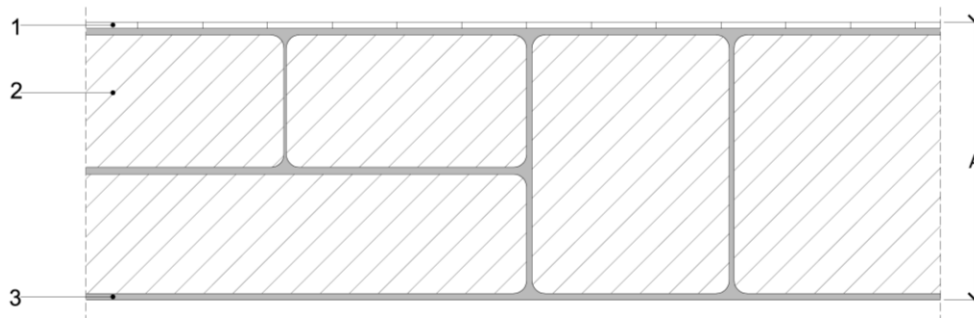
Podem ver-se localizadas nas figuras que se seguem as plantas dos diferentes pisos do edifício C com a indicação, por escala de cores, das diferentes soluções construtivas que detêm um papel decisivo na transmissão sonora, directa e marginal, entre os espaços que foram objecto de medição.



Legenda:

■ - Pr 01	■ - Pr 02	■ - Pr 03	■ - Pr 04	■ - Pr 05	■ - Pr 06
Pt - Porta	Pr - Parede	Pv - Pavimento	Ve - Vão envidraçado		

Figura 6.19 – Identificação das soluções construtivas do rés-do-chão (a) e 1º (b) e 2º (c) pisos do edifício C.

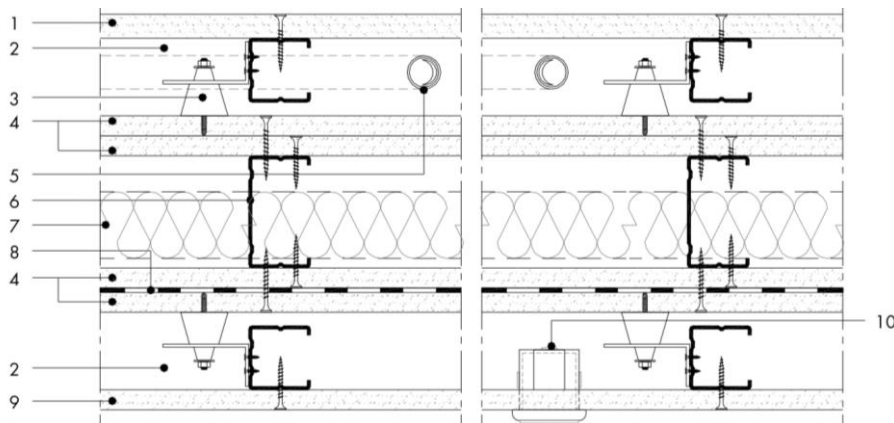


Corte horizontal - Pr 01 -

Legenda técnica:

1. Alvenaria de pedra com 58 cm de espessura
2. Cerâmico tradicional
3. Reboco e pintura
- A. Atravancamento total de cerca de 60 cm

Figura 6.20 - Esquema conceptual da parede exterior do rés-do-chão ao 3º piso.



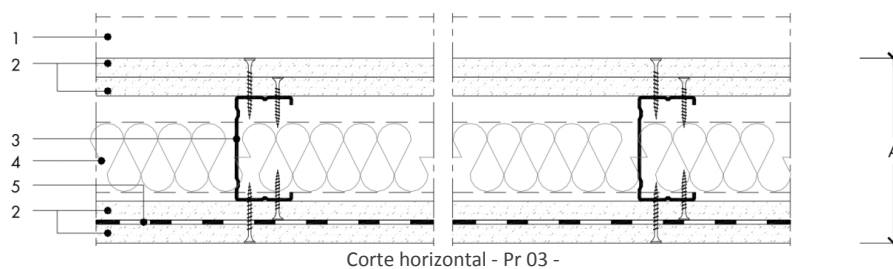
Corte horizontal - Pr 02 -

Legenda técnica:

1. Placa de gesso cartonado hidrófugo com 15 mm de espessura e com montante de apoio de 48 mm independente da parede base
2. Caixa-de-ar livre com cerca de 60 mm
3. Apoio resiliente dos montantes de suporte da parede falsa
4. Dupla placa de gesso cartonado com 12,5 mm de espessura cada
5. Tubagem (diâmetro máximo de 25 mm)
6. Montante de apoio de 70 mm
7. Caixa-de-ar com cerca de 70 mm de espessura parcialmente preenchida por painel de lã mineral com 50 mm de espessura e 70 kg/m³ de densidade
8. Membrana elastómera com massa superficial superior a 5 kg/m² (espessura típica de 4 mm)
9. Placa de gesso cartonado com 12,5 mm de espessura e com montante de apoio de 48 mm independente da parede base
10. Caixa de electricidade

Nota: Os elementos com a legenda 1, 2, 3, 9 e 10 constituem paredes técnicas sendo aplicados em casos de necessidade de inserção de instalações eléctricas ou passagem de tubagens.

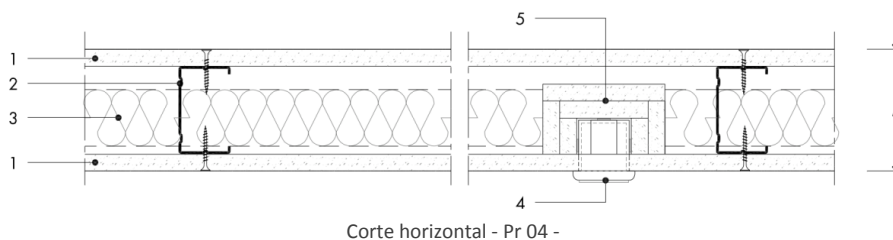
Figura 6.21 – Esquema conceptual da parede de separação entre fogos distintos. Adaptado de [30].



Legenda técnica:

1. Parede técnica a instalar caso seja necessário a inserção de instalações eléctricas
 2. Dupla placa de gesso cartonado com 12,5 mm de espessura cada
 3. Montante de apoio de 70 mm
 4. Caixa-de-ar com cerca de 70 mm de espessura parcialmente preenchida por painel de lã mineral com 50 mm de espessura e 70 kg/m³ de densidade
 5. Membrana elastómera com massa superficial superior a 5 kg/m² (espessura típica de 4 mm)
- A. Atravancamento total de cerca de 12 cm

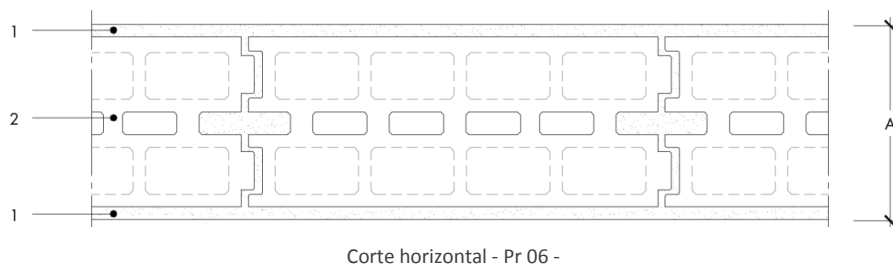
Figura 6.22 – Esquema conceptual da parede de separação entre fogos e circulações comuns. Adaptado de [30].



Legenda técnica:

1. Placa de gesso cartonado com 15 mm de espessura
 2. Montante de apoio de 70 mm
 3. Caixa-de-ar com cerca de 70 mm de espessura parcialmente preenchida por painel de lã mineral com 50 mm de espessura e 70 kg/m³ de densidade
 4. Caixa de electricidade
 5. Dupla placa de gesso cartonado com 12,5 mm de espessura cada
- A. Atravancamento total de cerca de 10 cm

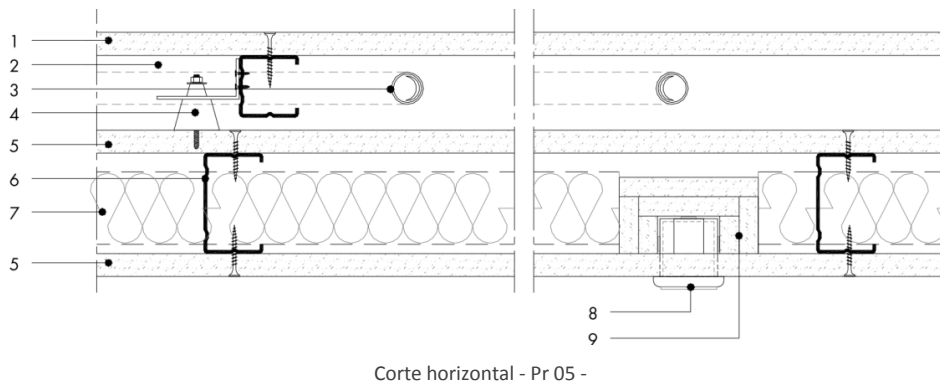
Figura 6.23 – Esquema conceptual da parede de compartimentação. Adaptado de [30].



Legenda técnica:

1. Reboco de cimento e areia de densidade não inferior a 2000 kg/m³ e com uma espessura mínima de 1,5 cm
 2. Alvenaria de bloco de betão vazado de 50x20x20 com massa média superior a 17,0 kg/un.
- A. Atravancamento total de cerca de 23 cm

Figura 6.24 – Esquema conceptual da parede envolvente da caixa de escadas e elevador. Adaptado de [30].

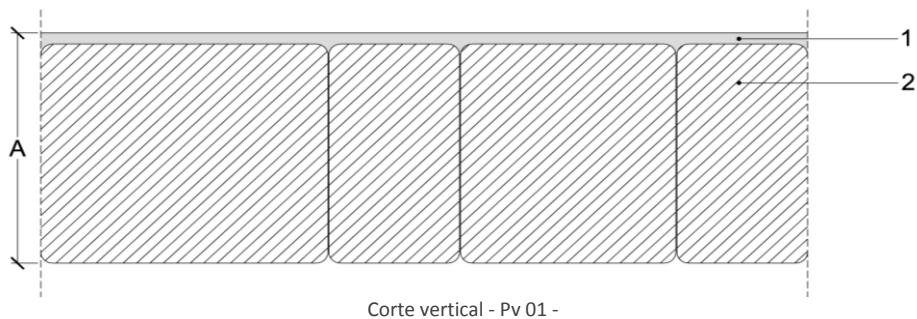


Corte horizontal - Pr 05 -

Legenda técnica:

1. Placa de gesso cartonado hidrófugo com 15 mm de espessura e com montante de apoio de 48 mm independente da parede base
2. Caixa-de-ar livre com cerca de 60 mm
3. Tubagem
4. Apoio resiliente dos montantes de suporte da parede falsa
5. Placa de gesso cartonado com 15 mm de espessura
6. Montante de apoio de 70 mm
7. Caixa-de-ar com cerca de 70 mm de espessura parcialmente preenchida por painel de lã mineral com 50 mm de espessura e 70 kg/m^3 de densidade
8. Caixa de electricidade
9. Dupla placa de gesso cartonado com 12,5 mm de espessura cada

Figura 6.25 – Esquema conceptual da parede de separação entre compartimentos principais. Adaptado de [30].

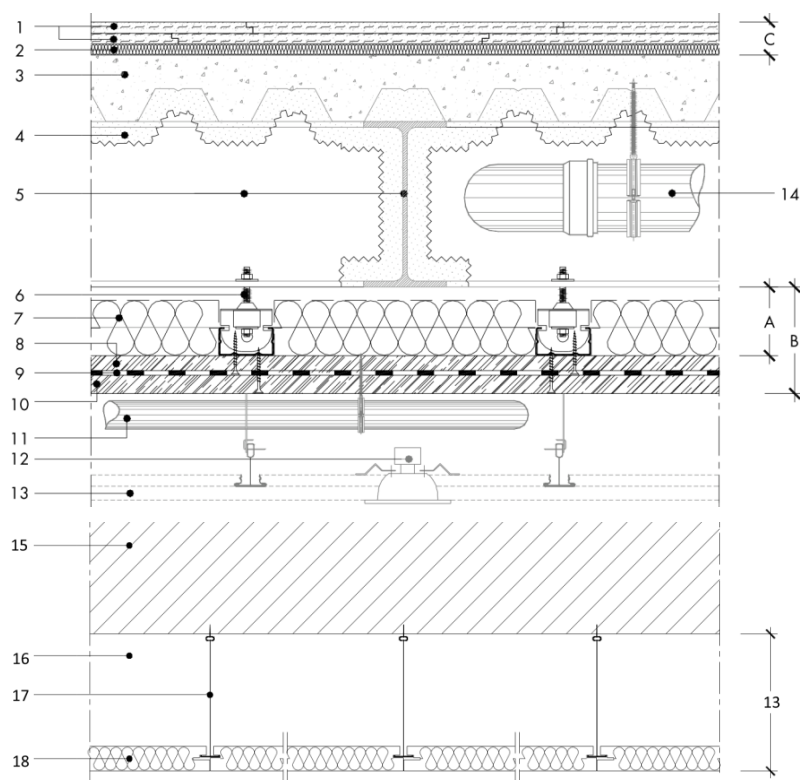


Corte vertical - Pv 01 -

Legenda técnica:

1. Betonilha de regularização
 2. Alvenaria de pedra
- A. Atravancamento total superior 25 cm

Figura 6.26 – Esquema conceptual do pavimento do comércio/serviços do piso 0.

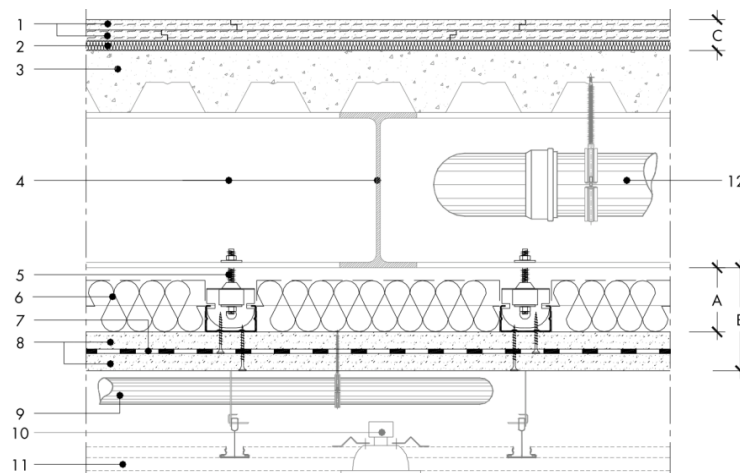


Corte vertical - Pv 02 -

Legenda técnica:

1. Dupla placa de gesso cartonado armado com fibras de vidro e celulósicas, com uma espessura de 10 mm cada
 2. Painel de lã mineral com 1 cm de espessura e densidade de 150 kg/m^3
 3. Laje estrutural prevista com cofragem colaborante com uma espessura mínima de betão armado de 12 cm
 4. Projecção de fibras de absorção absoluta, celulósicas ou de lã mineral, com um índice NRC superior a 0,60
 5. Estrutura metálica
 6. Suspensor elástico
 7. Painel de lã mineral com 5 cm de espessura e densidade de 70 kg/m^3
 8. Painel compósito de madeira e cimento com 10 mm de espessura e 1400 kg/m^3 de densidade
 9. Membrana elastómera com massa superficial superior a 3 kg/m^2 (espessura típica de 2 mm)
 10. Painel compósito de madeira e cimento com 12 mm de espessura e 1400 kg/m^3 de densidade
 11. Tubagem de abastecimento de água/ instalações eléctricas/ gás
 12. Iluminação
 13. Tecto falso de elevada absorção sonora
 14. Tubagem de recolha de águas residuais
 15. Estrutura horizontal prevista
 16. Caixa-de-ar ventilada (com possibilidade de inclusão de dispositivos de iluminação e/ ou instalações
 17. Estrutura de suporte rígida
 18. Painel de lã mineral com revestimento decorativo
- A. Atravancamento de cerca de 7 cm
 B. Atravancamento de cerca de 10 cm
 C. Atravancamento de cerca de 3 cm

Figura 6.27 – Esquema conceptual do pavimento de separação entre a habitação e os locais de comércio e serviços. Adaptado de [30].



Corte vertical - Pv 03 -

Legenda técnica:

1. Dupla placa de gesso cartonado armado com fibras de vidro e celulósicas, com uma espessura de 10 mm cada
 2. Pannel de lâ mineral com 1 cm de espessura e densidade de 150 kg/m^3
 3. Laje estrutural prevista com cofragem colaborante com uma espessura mínima de betão armado de 12 cm
 4. Estrutura metálica
 5. Suspensor elástico
 6. Pannel de lâ mineral com 5 cm de espessura e densidade de 70 kg/m^3
 7. Membrana elastómera com massa superficial superior a 3 kg/m^2 (espessura típica de 2 mm)
 8. Dupla placa de gesso cartonado com 12,5 mm de espessura
 9. Tubagem de abastecimento de água/ instalações eléctricas/ gás
 10. Iluminação
 11. Tecto falso decorativo a definir pela Arquitectura
 12. Tubagem de recolha de águas residuais
- A. Atravancamento de cerca de 7 cm
 B. Atravancamento de cerca de 10 cm
 C. Atravancamento de cerca de 3 cm

Figura 6.28 – Esquema conceptual do pavimento de separação entre fogos distintos. Adaptado de [30].



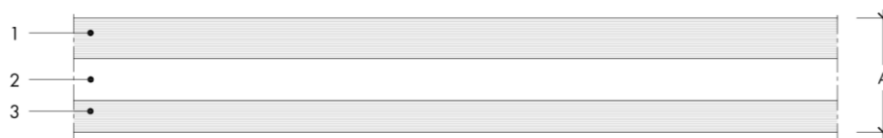
Corte horizontal - Ve 01 -

Legenda técnica:

1. Vidro laminado com cerca de 6 mm de espessura (constituído por dois vidros de 3 mm cada, solidarizados entre si através de um filme de butiral de polivinil)
 2. Caixa-de-ar estanque com 6 mm de espessura
 3. Vidro simples com 8 mm de espessura
- A. Espessura total de cerca de 20 mm

Nota: Solução com caixilharia de classe de estanquidade mínima A2.

Figura 6.29 – Esquema conceptual do vão envidraçado das fachadas frontal e lateral. Adaptado de [30].



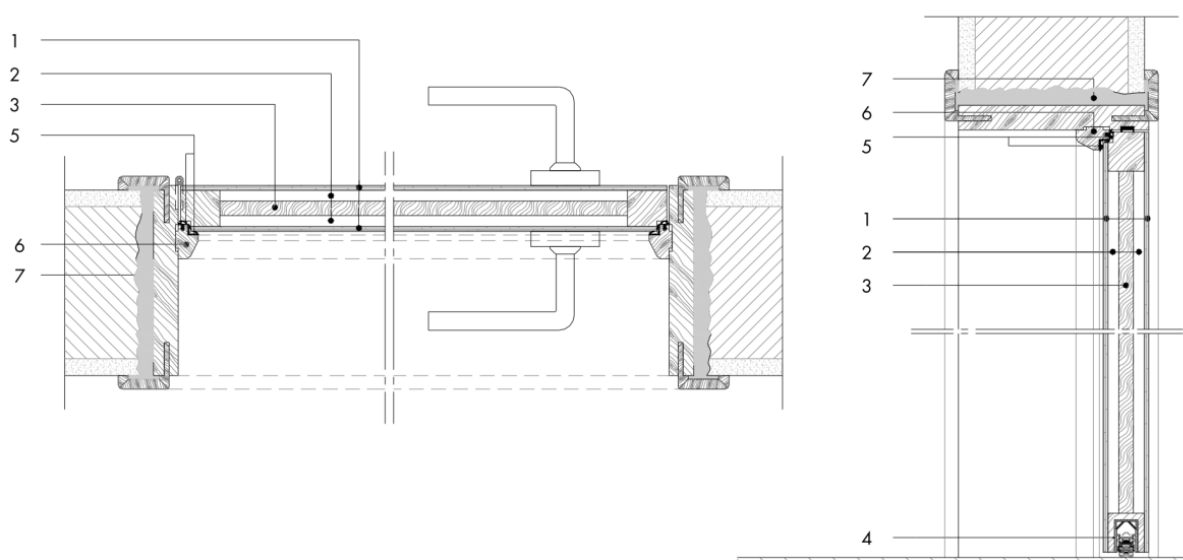
Corte horizontal - Ve 02 -

Legenda técnica:

1. Vidro simples com 8 mm de espessura
2. Caixa-de-ar estanque com 6 mm de espessura
3. Vidro simples com 4 mm de espessura
- A. Espessura total de cerca de 18 mm

Nota: Solução com caixilharia de classe de estanquidade mínima A2.

Figura 6.30 – Esquema conceptual do vão envidraçado da fachada posterior. Adaptado de [30].



Corte horizontal e vertical - Pt 01 -

Legenda técnica:

1. Faces de acabamento superficial
 2. Placa de fibra de madeira
 3. Interior em painel de partículas de madeira de alta densidade ou lã mineral de 70 kg/m^3
 4. Junta automática de calafetagem embutida na face inferior da porta
 5. Duplo batente em todo o contorno do aro da porta
 6. Empanque de esmagamento em todo o contorno do duplo batente, constituído por perfil de borracha embutido na madeira ou metal, de forma a vedar completamente
- (Espessura total mínima de 40 mm)

Figura 6.31 – Esquema conceptual da porta de entrada de fogos. Adaptado de [30].

6.2.4 EDIFÍCIO D

O edifício em análise está situado no Centro Histórico do Porto, encontrando-se na mesma área de estudo do edifício C.

As intervenções realizadas tiveram como objectivo a reabilitação integral do edifício D, preservando-se as soluções de paredes exteriores em alvenaria de pedra e todas as soluções pré-existentes ao nível do rés-do-chão. Todo o esqueleto interior, desde o primeiro até ao sexto piso, foi demolido passando a ser estruturado por pilares e vigas em perfis metálicos ligados por meio de conexões metálicas às paredes em pedra.

O local em análise caracteriza-se por ter um ambiente sonoro predominantemente estimulado por ruído rodoviário incessante, incluindo a passagem frequente de transportes públicos pesados. Os arruamentos contíguos, em calçada de granito e com dois sentidos de trânsito, agravam esta situação.

Visto, à data da realização dos ensaios, o edifício não se encontrar concluído esta análise é limitada pela falta de continuidade das diferentes soluções que intervêm na transmissão sonora entre os espaços que importa avaliar, factor que poderia distorcer o comportamento destas soluções.

O edifício é constituído por cinco pisos elevados destinados a habitação e rés-do-chão e primeiro piso destinado a comércio e serviços.

De acordo com a carta de condicionantes do município do Porto o edifício insere-se em zona mista.

Todas as soluções preconizadas têm como propósito estabelecer soluções competitivas que, sendo o menos invasivas possível, se adaptem às soluções existentes cujo valor patrimonial importa preservar, e desta forma consigam proporcionar condições de conforto moldadas aos padrões de vida actual.

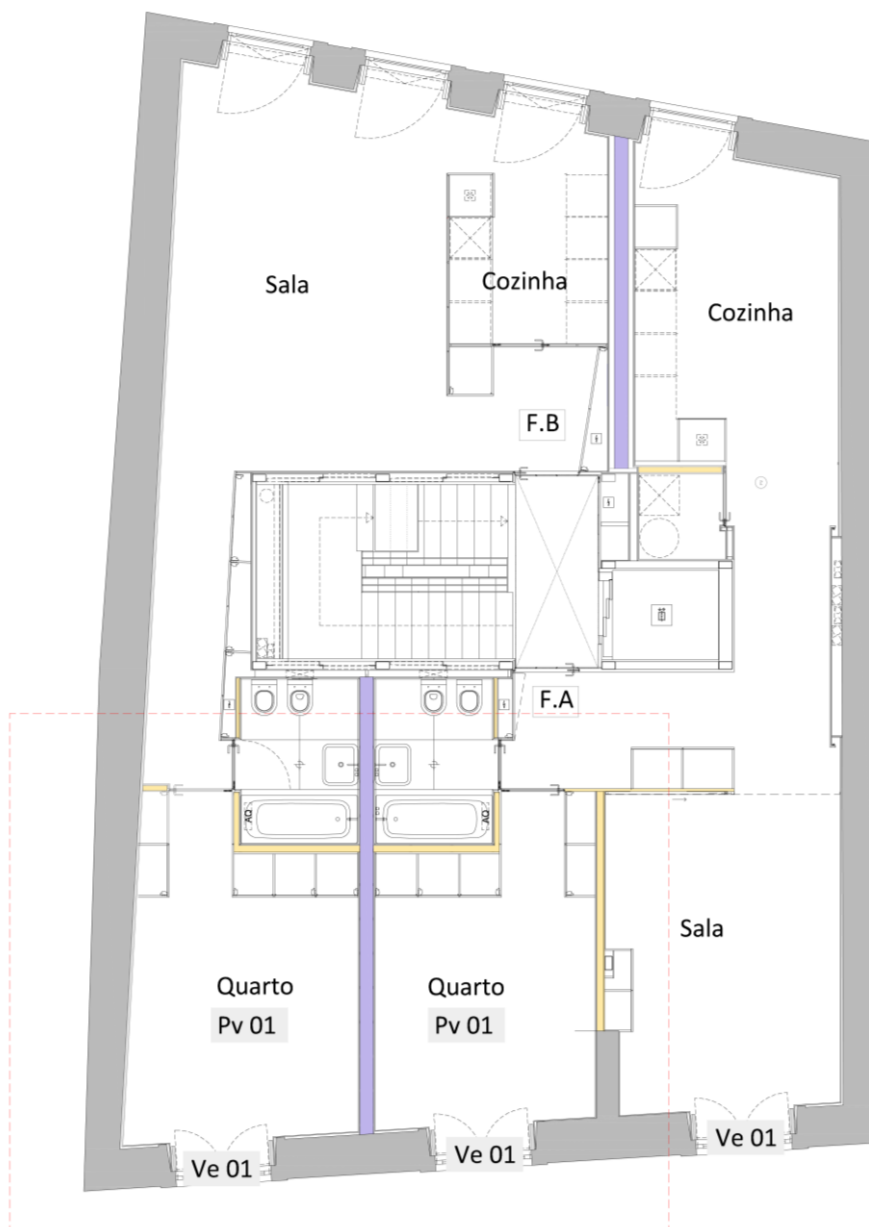


Figura 6.32 – Alçado do edifício D. Adaptado de [30].

6.2.4.1 Pormenorização construtiva

Podem ver-se localizadas na figura que se segue a planta do andar modelo do edifício D com a indicação, por escala de cores, das diferentes soluções construtivas que influenciam a transmissão, directa e marginal, do som entre espaços.

As soluções a ensaiar são ao nível do terceiro piso, nomeadamente o isolamento sonoro entre fogos de habitações contíguas e o isolamento sonoro do elemento de fachada.



Legenda:

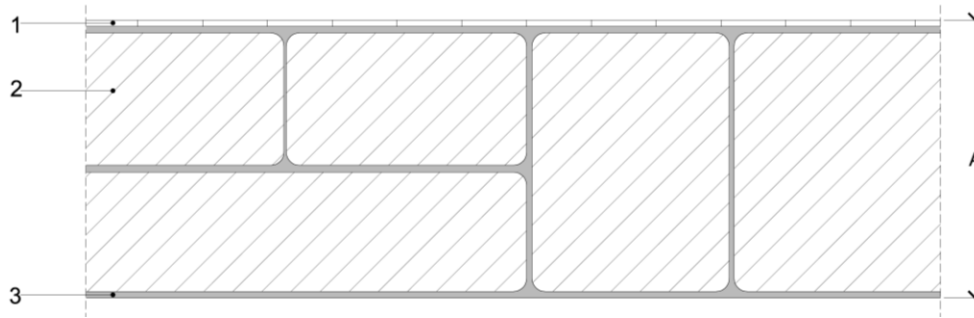
■ - Pr 01 ■ - Pr 02 ■ - Pr 03 - - - Área caracterizada

Pr - Parede

Pv - Pavimento

Ve - Vão envidraçado

Figura 6.33 - Identificação das soluções edificantes do 3º piso do edifício D.

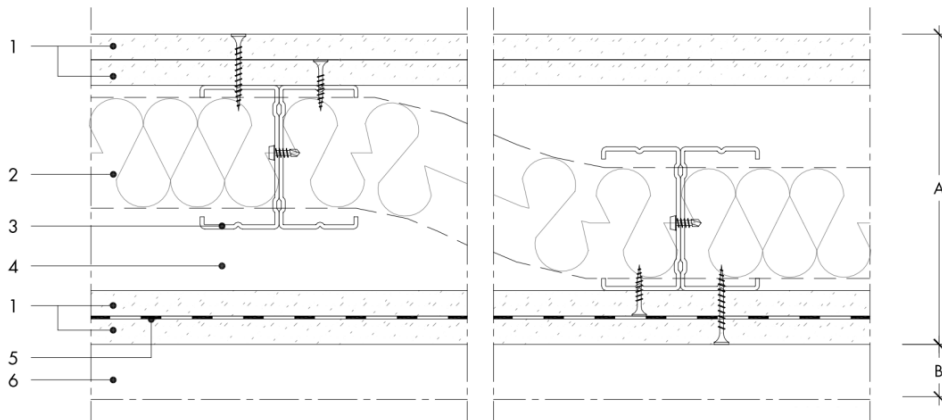


Corte horizontal - Pr 01 -

Legenda técnica:

1. Alvenaria de pedra com 58 cm de espessura
 2. Cerâmico tradicional
 3. Reboco e pintura
- A. Atravancamento total de cerca de 60 cm

Figura 6.34 – Esquema conceptual da parede exterior correspondente ao 3º piso.

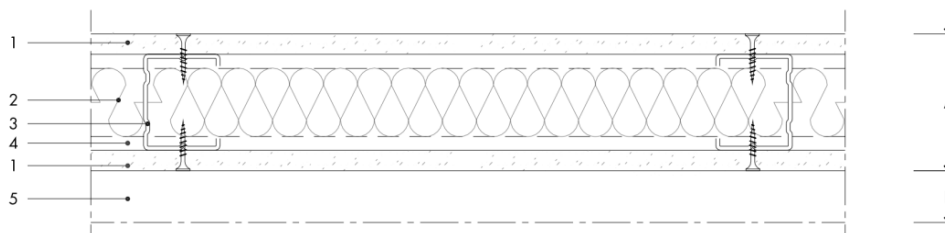


Corte horizontal - Pr 02 -

Legenda técnica:

1. Placa de gesso cartonado com espessura total de 12,5 mm e 10 kg/m² de massa superficial mínima
 2. Painel de lã mineral com 50 mm de espessura e 70 kg/m³ de densidade
 3. Montante de apoio de 70 mm independente para cada pano de parede
 4. Caixa-de-ar livre de cerca de 40 mm
 5. Membrana elastómera com massa superficial superior a 5 kg/m² e espessura de 4 mm
 6. Parede técnica a aplicar nas zonas com necessidade de passagem de instalações
- A. Atravancamento total de cerca de 14,4 cm
B. Atravancamento total de cerca de 9,5 cm

Figura 6.35 – Esquema conceptual da parede de separação entre fogos distintos. Adaptado de [30].



Corte horizontal - Pr 03 -

Legenda técnica:

1. Placa de gesso cartonado com 15 mm de espessura e 12 kg/m^2 de massa superficial mínima
 2. Painel de lã mineral com 50 mm de espessura e 70 kg/m^3 de densidade
 3. Montante de apoio de 70 mm
 4. Caixa-de-ar livre de cerca de 20 mm
 5. Parede técnica a aplicar nas zonas com necessidade de passagem de instalações
- A. Travancamento total de cerca de 100 mm
B. Travancamento total de cerca de 95 mm

Figura 6.36 – Esquema conceptual da parede interior de compartimentação. Adaptado de [30].



Corte horizontal - Ve 01 -

Legenda técnica:

1. Vidro laminado com cerca de 8 mm de espessura (constituído por dois vidros de 4 mm cada, solidarizados entre si através de um filme de butiral de polivinil)
 2. Caixa-de-ar estanque com 6 mm de espessura
 3. Vidro simples com 8 mm de espessura
- A. Travancamento total de cerca de 22 mm
- Nota: Solução com caixilharia de classe de estanquidade mínima A2.

Figura 6.37 – Esquema conceptual do vão envidraçado. Adaptado de [30].

6.2.5 EDIFÍCIO E

O edifício em análise encontra-se localizado no núcleo histórico da cidade do Porto, próximo de construções de valor patrimonial e arquitectónico reconhecido.

A intervenção levada a cabo teve como objectivo a requalificação integral de todo um quarteirão, convertendo várias construções aí existentes num só edifício, constituído por duas parcelas com ligação interior através de um logradouro.

As acções de reabilitação das parcelas do edifício E tiveram como objectivo a preservação de todas as soluções de paredes exteriores em alvenaria de pedra pré-existentes, sendo que todo o interior foi demolido, passando a ser estruturado por vigas e pilares em betão armado.

O local em análise caracteriza-se por ter um ambiente sonoro predominantemente estimulado pela presença de pessoas e por algum ruído rodoviário, exponenciado pela constituição dos arruamentos contíguos em calçada de granito.

O edifício é constituído por duas parcelas distintas destinadas a habitação multifamiliar com ocupação de comércio ao nível do rés-do-chão.

De acordo com a carta de condicionantes do município do Porto o edifício insere-se em zona mista.

Todas as soluções preconizadas têm como propósito estabelecer soluções competitivas que, sendo o menos invasivas possível, se adaptem às soluções existentes cujo valor patrimonial importa preservar, e desta forma consigam proporcionar condições de conforto moldadas aos padrões de vida actual.

As medições acústicas realizadas ao edifício em apressa foram elaboradas e gentilmente cedidas pela equipa de projecto de acústica da SOPSEC S.A.



Figura 6.38 – Alçado da primeira parcela do edifício E. Adaptado de [31].



Figura 6.39 – Alçado da segunda parcela do edifício E. Adaptado de [31].

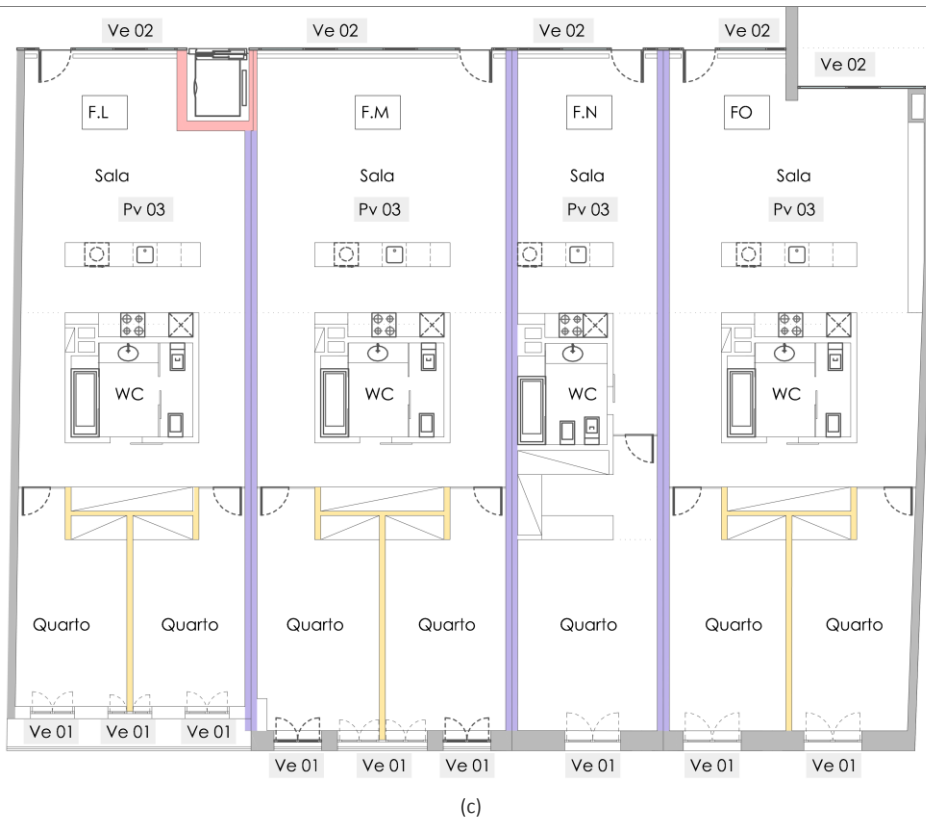
6.2.5.1 Pormenorização construtiva

Podem ver-se localizadas nas figuras que se seguem as plantas dos diferentes pisos do edifício E com a indicação, por escala de cores, das diferentes soluções construtivas que intervêm na transmissão sonora, directa e marginal, entre os espaços que foram objecto de medição.

Indicação das soluções construtivas da primeira parcela do edifício E:



Figura 6.40 – Identificação das soluções construtivas do rés-do-chão (a) da primeira parcela do edifício E.

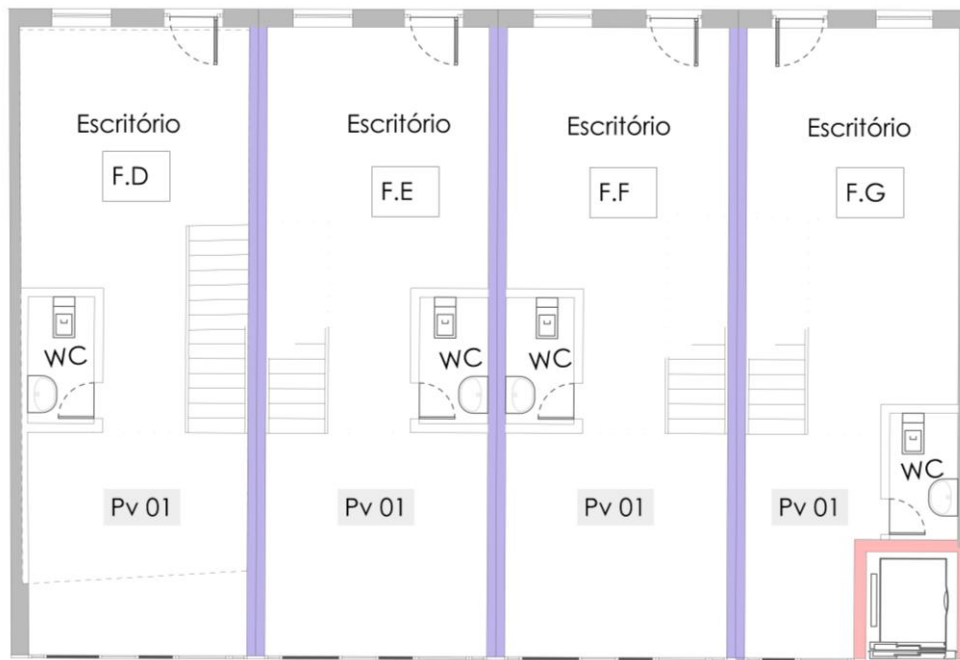


Legenda:

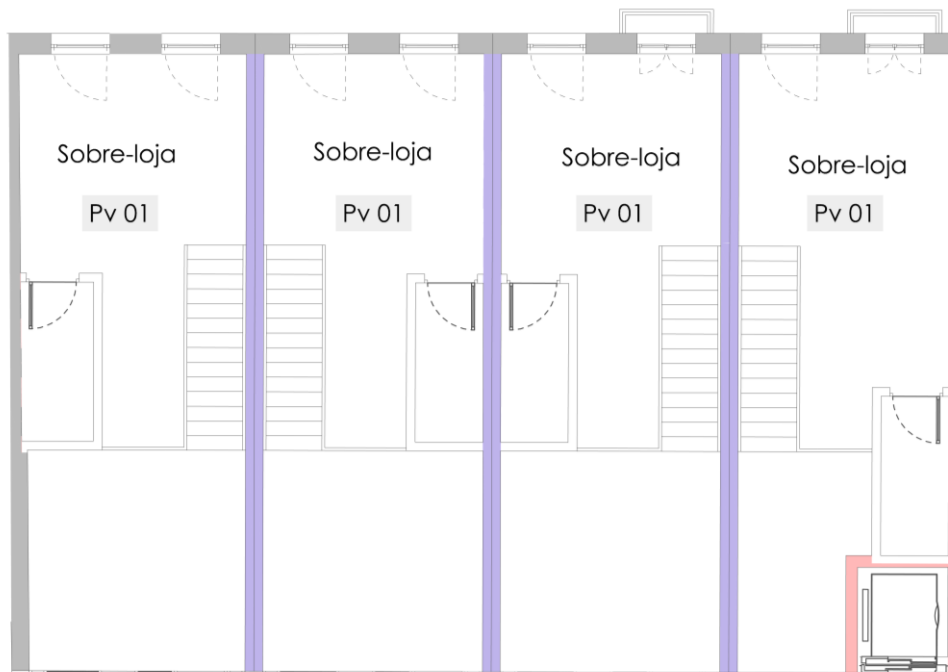
- Pr 01
 - Pr 02
 - Pr 03
 - Pr 04
 Pr - Parede Pv - Pavimento Ve - Vão envidraçado

Figura 6.41 – Identificação das soluções edificantes do 1º(b), 2º, 3º e 4º(c) pisos da primeira parcela do edifício E.

Indicação das soluções construtivas da segunda parcela do edifício E:



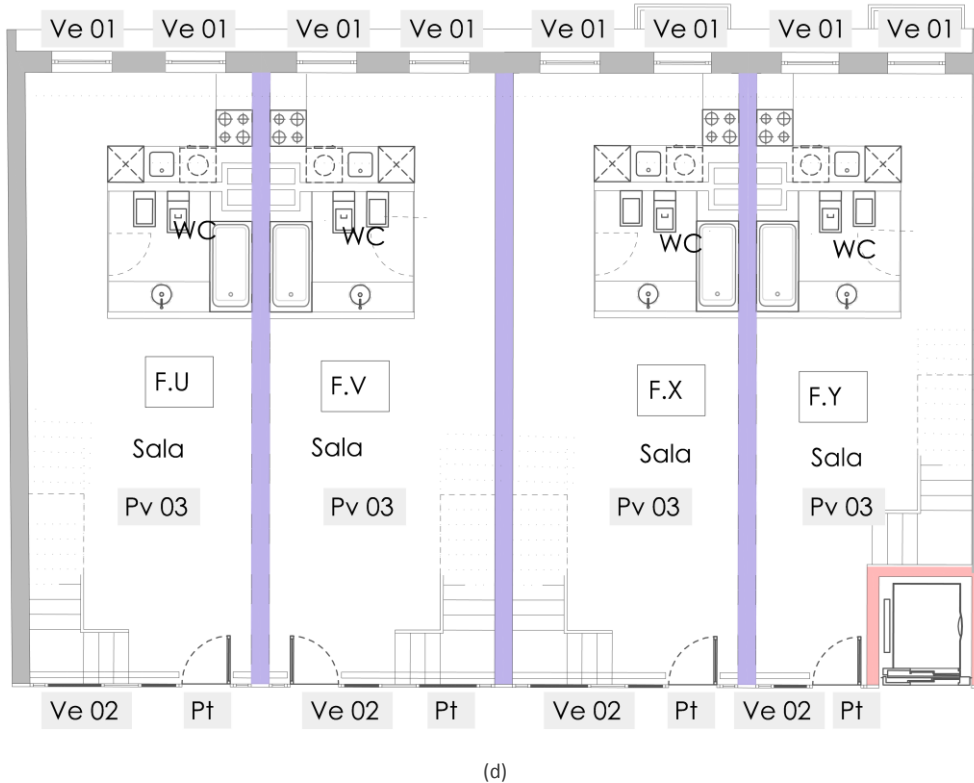
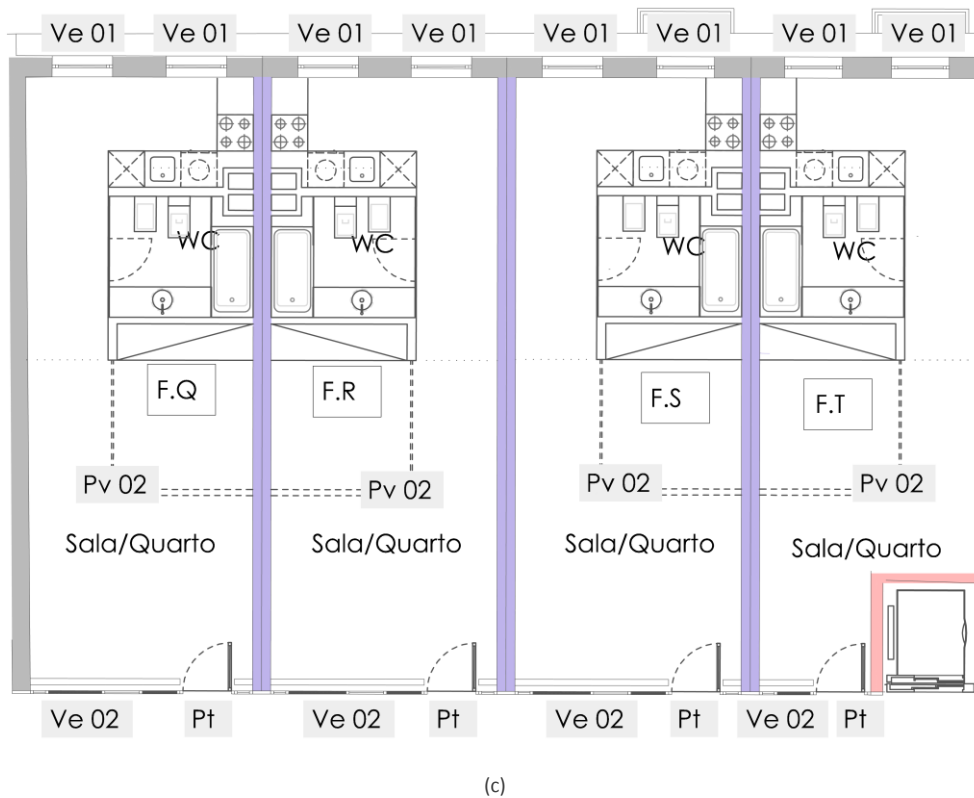
(a)



(b)

Legenda:		
■ - Pr 01	■ - Pr 02	■ - Pr 04
Pr - Parede	Pv - Pavimento	Ve - Vão envidraçado

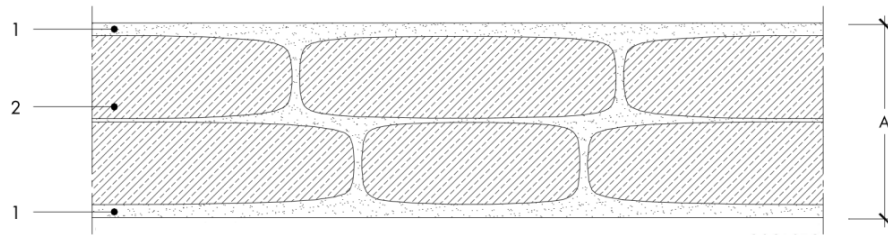
Figura 6.42 – Identificação das soluções construtivas do rés-do-chão (a) e 1º piso (b) da segunda parcela do edifício E.



Legenda:

■ - Pr 01	■ - Pr 02	■ - Pr 03	■ - Pr 04
Pr - Parede	Pv - Pavimento	Ve - Vão envidraçado	Pt - Porta

Figura 6.43 – Identificação das soluções edificantes do 2º (c), 3º e 4º (d) pisos da segunda parcela do edifício E.

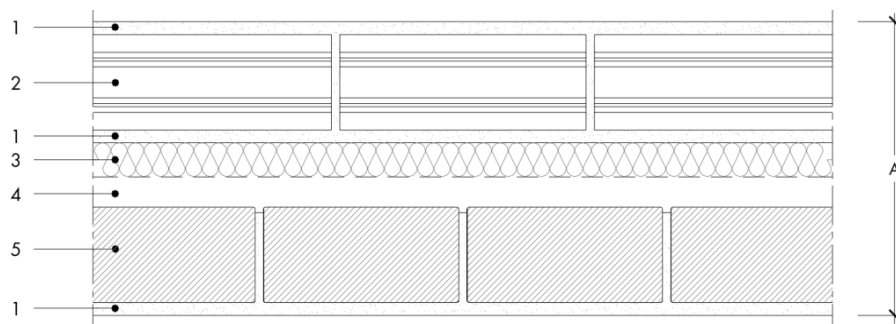


Corte horizontal - Pr 01 -

Legenda técnica:

1. Reboco de cimento e areia de densidade não inferior a 2000 kg/m^3 e com espessura mínima de 1,5 cm
2. Alvenaria de pedra espessura superior a 20 cm
- A. Atravancamento total superior a 23 cm

Figura 6.44 – Esquema conceptual da parede que constitui a envolvente exterior. Adaptado de [30].

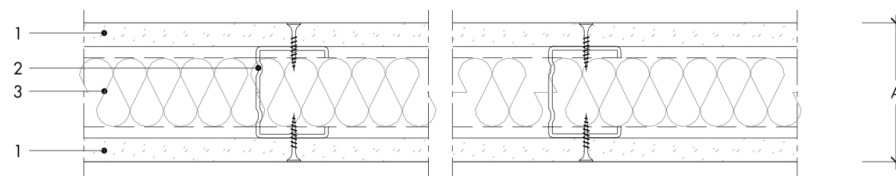


Corte horizontal - Pr 02 -

Legenda técnica:

1. Reboco de cimento e areia de densidade não inferior a 2000 kg/m^3 e com uma espessura mínima de 1,5 cm
2. Alvenaria de tijolo cerâmico furado de $30 \times 20 \times 11 \text{ cm}$ com massa média superior a 5 kg/un.
3. Painéis rígidos de lã mineral feltrada com 4 cm de espessura e 70 kg/m^3 de densidade
4. Caixa-de-ar livre de 1 cm de espessura
5. Alvenaria de tijolo cerâmico maciço de $22 \times 7 \times 11 \text{ cm}$ com massa média superior a 3,5 kg/un.
- A. Atravancamento total de 31,5 cm

Figura 6.45 – Esquema conceptual da parede de separação entre fogos distintos. Adaptado de [30].

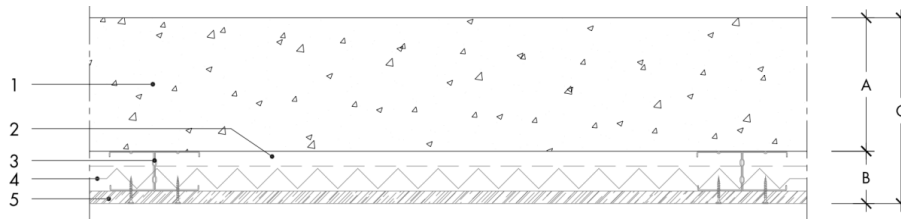


Corte horizontal - Pr 03 -

Legenda técnica:

1. Placa de gesso cartonado de 1,5 cm de espessura e 12 kg/m^2 de massa superficial
2. Montantes metálicos de apoio de 70 mm
3. Painéis rígidos de lã mineral feltrada com 5 cm de espessura e 70 kg/m^3 de densidade
- A. Atravancamento total de 10 cm

Figura 6.46 – Esquema conceptual da parede interior de compartimentação. Adaptado de [30].



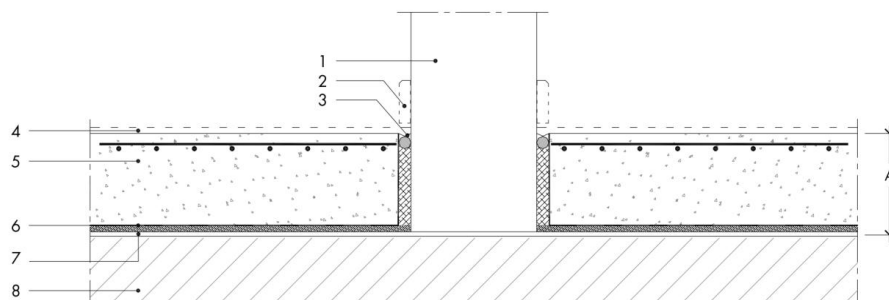
Corte horizontal - Pr 04 -

Legenda técnica:

4. Parede de betão armado de 25 cm de espessura
 5. Caixa-de-ar de 1,2 cm
 6. Montantes metálicos de apoio de 48 mm, aplicados directamente sobre a parede base de betão
 7. Isolamento térmico
 8. Placa de gesso cartonado de 1,5 cm de espessura e 12 kg/m^2 de massa superficial
- B. Atravancamento de 20 cm
 C. Atravancamento de 6,3 cm
 D. Atravancamento total de 26,3 cm

Nota: Prevê-se a instalação de envolvente de redução da transmissão do ruído do elevador por vibração estrutural.

Figura 6.47 – Esquema conceptual da parede de separação entre habitação e o elevador. Adaptado de [30].

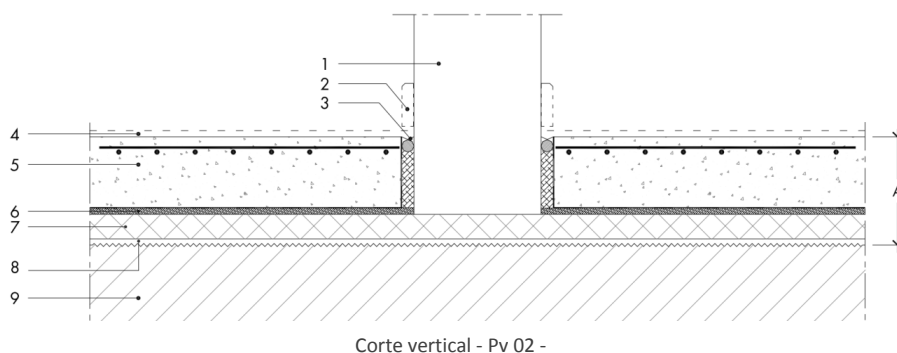


Corte vertical - Pv 01 -

Legenda técnica:

1. Elemento vertical previsto
 2. Rodapé
 3. Cordão de empanque e tomação superficial em mástique ou silicone
 4. Revestimento superficial
 5. Lajeta de inércia flutuante em betonilha armada de densidade superior a 2200 kg/m^3 e espessura de cerca de 10 cm
 6. Complexo resiliente à base de granulado de borracha aglomerado com resina PUR com 4,5 mm de espessura, massa volúmica de 780 kg/m^3 e ΔL_w igual a 22 dB
 7. Regularização
 8. Laje estrutural prevista (betão armado de 25 cm de espessura)
- A. Atravancamento total de cerca de 16 cm

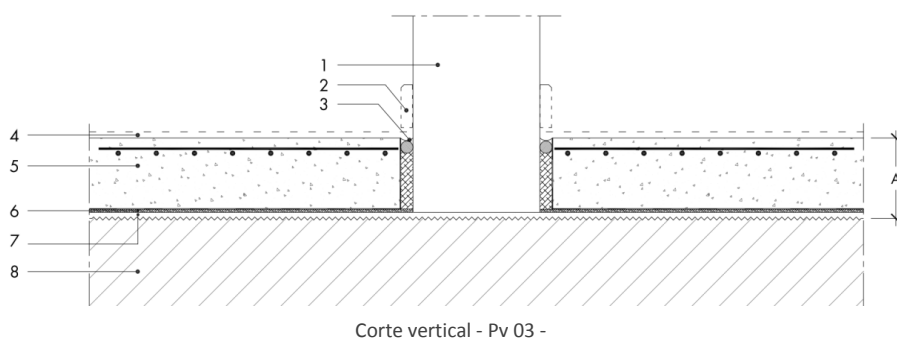
Figura 6.48 – Esquema conceptual do pavimento do rés-do-chão. Adaptado de [30].



Legenda técnica:

1. Elemento vertical previsto
 2. Rodapé
 3. Cordão de empanque e tomação superficial em mástique ou silicone
 4. Revestimento superficial à base de madeira colada
 5. Lajeta de inércia flutuante em betonilha armada de densidade superior a 2200 kg/m^3 e espessura de cerca de 10 cm
 6. Complexo resiliente à base de granulado de borracha aglomerado com resina PUR com 4,5 mm de espessura, massa volúmica de 780 kg/m^3 e ΔL_w igual a 25 dB
 7. Isolamento térmico
 8. Regularização
 9. Laje estrutural prevista (betão armado de 25 cm de espessura)
- A. Atravancamento total de cerca de 16 cm

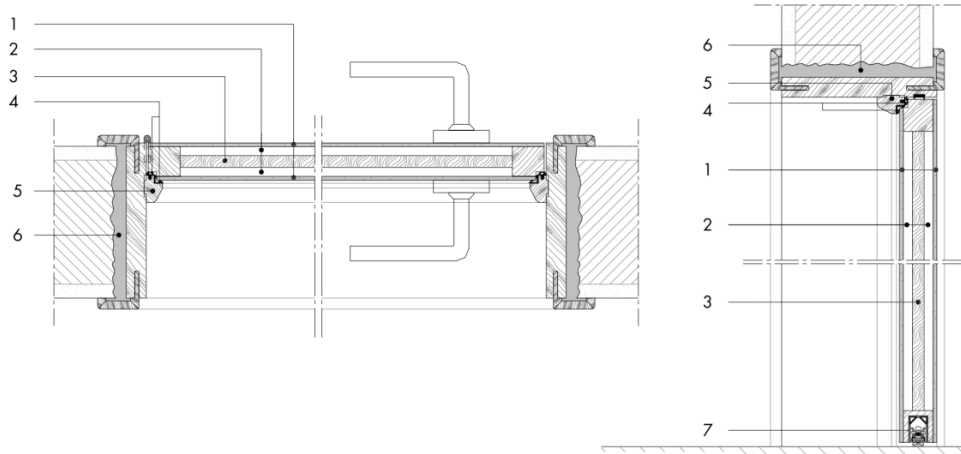
Figura 6.49 – Esquema conceptual do pavimento de separação entre fogos de habitação e comércio/serviços. Adaptado de [30].



Legenda técnica:

1. Elemento vertical previsto
 2. Rodapé
 3. Cordão de empanque e tomação superficial em mástique ou silicone
 4. Revestimento superficial à base de madeira colada
 5. Lajeta de inércia flutuante em betonilha armada de densidade superior a 2200 kg/m^3 e espessura de cerca de 10 cm
 6. Complexo resiliente à base de granulado de borracha aglomerado com resina PUR com 4,5 mm de espessura, massa volúmica de 780 kg/m^3 e ΔL_w igual a 22 dB
 7. Regularização
 8. Laje estrutural prevista (betão armado de 25 cm de espessura)
- A. Atravancamento total de cerca de 16 cm

Figura 6.50 – Esquema conceptual do pavimento de separação entre fogos distintos. Adaptado de [30].

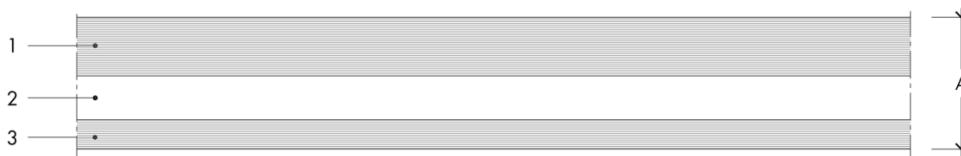


Corte horizontal e vertical - Pt 01 -

Legenda técnica:

1. Faces revestidas a madeira natural
2. Porta de 55 mm de espessura mínima constituída por um núcleo pesado de aço e duas câmaras totalmente preenchidas com material absorvente
3. Núcleo pesado
4. Duplo empanque de esmagamento em todo o contorno do aro, constituído por perfil de borracha embutido na madeira ou metal, de forma a vedar completamente quando a porta está fechada
5. Duplo batente
6. Remate de poliuretano injectado entre o aro da porta e a parede confinante
7. Junta de calafetagem automática embutida no aro interior da porta de modo a cobrir uma folga máxima de 3 mm

Figura 6.51 – Esquema conceptual da porta de entrada de fogos. Adaptado de [30].



Corte horizontal - Ve 01 -

Legenda técnica:

1. Vidro simples com 8 mm de espessura
2. Caixa-de-ar estanque com 6 mm de espessura
3. Vidro simples com 4 mm de espessura

A. Atravancamento total de cerca de 18 mm

Nota: Solução com caixilharia de classe de estanquidade mínima A4.

Figura 6.52 – Esquema conceptual do vão envidraçado da fachada frontal. Adaptado de [30].



Corte horizontal - Ve 02 -

Legenda técnica:

1. Vidro simples com 6 mm de espessura

2. Caixa-de-ar estanque com 12 mm de espessura

3. Vidro simples laminado com cerca de 8 mm de espessura, constituído por vidros de 4 mm cada, solidarizados entre si através de um filme de butiral de polivinil.

A. Atravancamento total de cerca de 26 mm

Nota: Solução com caixilharia de classe de estanquidade mínima A4.

Figura 6.53 - Esquema conceptual do vão envidraçado da fachada posterior. Adaptado de [30].

7

AVALIAÇÃO POR ENSAIOS ACÚSTICOS**7.1 INTRODUÇÃO**

Este capítulo tem como objectivos a identificação das condições exigenciais avaliadas, a justificação da metodologia de cálculo adoptada e a apresentação dos índices únicos de avaliação obtidos.

7.2 CONDIÇÕES EXIGENCIAIS

Atendendo à particularidade de cada edifício ensaiado e ao respectivo enquadramento legal no âmbito do condicionamento acústico de edifícios as situações exigenciais medidas foram as seguintes:

- Avaliação do isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior, como local emissor, e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, $D_{2m,nT,w}$;
- Avaliação do isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos de um fogo, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar de outro fogo, como locais receptores, $D_{nT,w}$;
- Avaliação do isolamento sonoro a sons de condução aérea entre locais de circulação comum do edifício, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar de outro fogo, como locais receptores, $D_{nT,w}$;
- Avaliação do isolamento sonoro a sons de condução aérea entre locais do edifício destinados a comércio ou serviços, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, $D_{nT,w}$;
- Avaliação do isolamento sonoro a sons de percussão no interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, provenientes de outros fogos, como locais emissores, $L'_{nT,w}$;
- Avaliação do isolamento sonoro a sons de percussão no interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, provenientes de locais destinados a comércio ou serviços, como locais emissores, $L'_{nT,w}$;
- Avaliação do nível do ruído particular de equipamentos colectivos do edifício, como emissão, e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, $L_{Ar,nT}$.

No âmbito de aplicação do RRAE a edifícios habitacionais e mistos teve-se em consideração os critérios gerais de amostragem, definidos pelo LNEC em complemento ao RRAE, no processo de avaliação acústica. Assim, para a medição do isolamento sonoro a sons aéreos e de percussão, para edifícios multifamiliares, foram verificados todos os parâmetros regulamentares aplicáveis às soluções construtivas que possuam diferente constituição e composição.

Quadro 7.1 – Mapa de ensaios realizados.

	Edifícios ensaiados					
	A	B	C	D	E.1	E.2
$D_{2m,nT,w}$	x	x	x	x	x	x
$D_{nT,w}$ (entre habitações distintas de pisos consecutivos)	x	x	x		x	x
$D_{nT,w}$ (entre habitações distintas do mesmo piso)			x	x	x	x
$D_{nT,w}$ (entre zonas comuns e habitações do mesmo piso)			x			
$D_{nT,w}$ (entre comércio/serviços e habitações de pisos consecutivos)	x		x		x	x
$L'_{nT,w}$ (entre habitações distintas de pisos consecutivos)	x	x	x		x	x
$L'_{nT,w}$ (entre comércio/serviços e habitações de pisos consecutivos)	x		x		x	x
$L_{Ar,nT}$ (sistemas de ventilação/elevador)			x		x	x

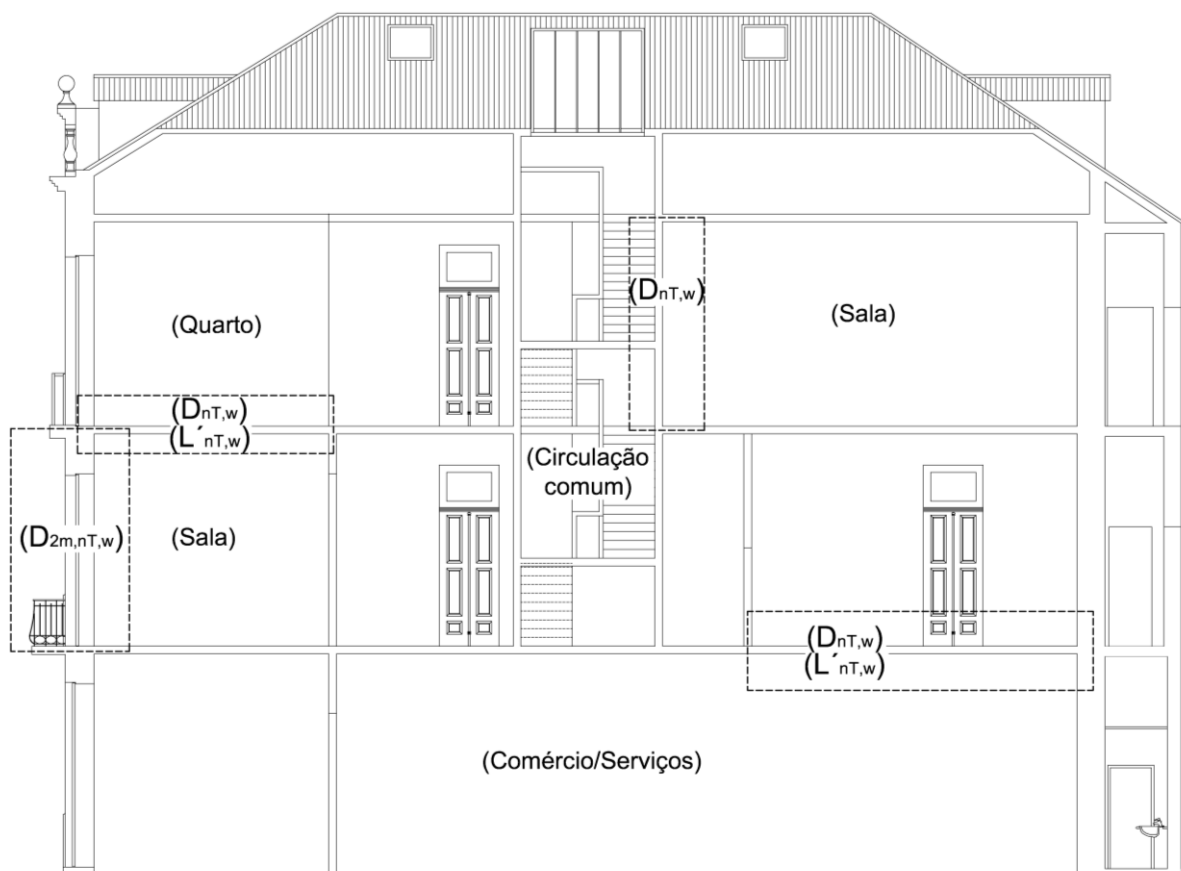


Figura 7.1 – Identificação de zonas exigenciais avaliadas.



Figura 7.2 – Classificação das áreas de intervenção em zonas mistas e sensíveis de acordo com a carta de condicionantes do PDM do Porto. [32]

7.3 TRATAMENTO DE DADOS – EDIFÍCIO B

Como exemplo apresenta-se neste ponto todo o cálculo efectuado para o edifício B, no anexo em CD ficam os dados dos restantes edifícios ensaiados.

7.3.1 PROCESSAMENTO DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DO ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉREOS DO ELEMENTO DE FACHADA, $D_{2m,nT,w}$

Os seguintes resultados dizem respeito à determinação do isolamento sonoro a sons de condução aérea do elemento de fachada do edifício B.

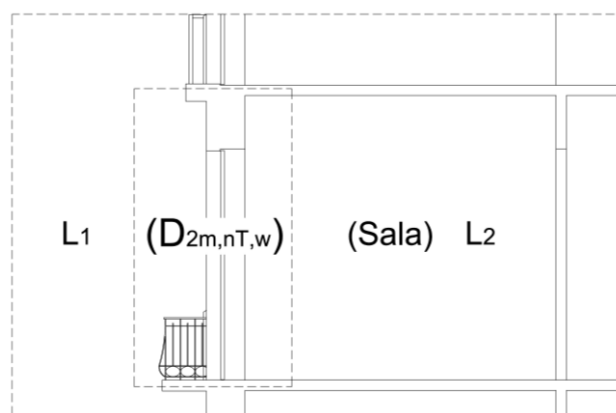


Figura 7.3 – Esquema de medição.

Os resultados da medição do isolamento sonoro associado ao ruído de tráfego rodoviário foram obtidos por bandas de 1/3 oitava, de acordo com o especificado na NP ISO 140-5.

A medição do nível médio de pressão sonora no local emissor (L_1) obteve-se pela instalação do microfone, numa única posição, a 2 m do plano da fachada e sensivelmente a 1,5 m acima da cota do pavimento receptor.

Quadro 7.2 – Níveis de pressão sonora obtidos no local emissor por banda de 1/3 de oitava.

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
$L_{1,2m}$	62,5	55,2	48,8	45,7	49,3	51,4	54,4	53,4	58,2	55,8	57,4	58,1	58,3	59,0	59,4	58,0

O nível médio de pressão sonora no local receptor (L_2) obteve-se pela colocação do microfone em seis posições distintas, distribuídas uniformemente pelo espaço máximo do local receptor.

O valor único do nível médio de pressão sonora por banda de frequência obtém-se pela ponderação da média energética das n posições do microfone de acordo com a seguinte equação:

$$L_2 = 10 \log(10^{L_1} + 10^{L_2} + \dots + 10^{L_n}) - 10 \log(n) \quad (7.1)$$

Sendo:

“ L_n ” níveis de pressão sonora nas n posições do microfone (dB).

Quadro 7.3 – Níveis médios de pressão sonora obtidos no local receptor por banda de 1/3 de oitava.

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
L_1	45,7	40,1	35,5	35,9	30,7	29,0	31,4	33,3	31,9	34,3	35,1	34,7	32,9	30,8	31,9	30,9
L_2	48,0	39,0	32,9	32,6	32,3	28,0	30,0	29,3	29,9	34,2	33,7	33,8	32,2	30,9	32,2	30,4
L_3	52,0	40,9	39,9	38,2	39,4	35,3	33,1	31,1	33,6	35,3	34,3	35,9	34,6	32,1	31,7	30,5
L_4	49,8	42,2	35,1	34,2	30,1	28,3	31,3	32,2	32,2	35,4	35,0	34,6	32,5	30,7	31,4	30,9
L_5	55,9	39,9	37,5	35,2	29,9	28,1	31,9	32,0	31,4	34,7	34,8	35,7	33,9	32,1	33,0	32,2
L_6	51,5	38,9	30,4	27,6	29,5	26,2	29,2	30,8	30,8	32,3	32,3	32,1	29,8	28,2	29,4	27,7
L_2	51,7	40,3	36,2	35,0	33,8	30,4	31,3	31,6	31,8	34,5	34,3	34,6	32,9	31,0	31,7	30,6

7.3.1.1 Correções relativas ao ruído de fundo

As medições efectuadas ao ruído de fundo servem para garantir que os resultados obtidos no local receptor não sejam afectados por ruídos perturbadores, exteriores ao local de ensaio.

Deve ser garantido que o nível do ruído de fundo esteja, no mínimo, 6 dB abaixo do nível do sinal de ensaio combinado com o ruído de fundo. Se a diferença entre estes níveis for menor ou igual a 6 dB, usa-se uma correcção de 1,3 dB em qualquer banda de frequência. Se essa diferença for maior que 6 dB, mas inferior a 10 dB, as correcções aplicar devem ser calculadas pela seguinte expressão:

$$L = 10 \log \left(10^{\frac{L_{sb}}{10}} - 10^{\frac{L_b}{10}} \right) \quad (7.2)$$

Sendo:

“L” níveis do sinal corrigido, dB

“L_{sb}” nível do sinal e do ruído de fundo combinados, dB

“L_b” nível do ruído de fundo, dB.

Quadro 7.4 – Níveis de pressão sonora no local receptor corrigidos, por banda de 1/3 de oitava.

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
L _{sb}	51,7	40,3	36,2	35,0	33,8	30,4	31,3	31,6	31,8	34,5	34,3	34,6	32,9	31,0	31,7	30,6
L _b	45,0	40,8	38,7	34,4	32,9	30,0	26,9	28,1	29,3	27,9	29,7	28,4	26,1	23,4	21,4	18,9
L _{sb} - L _b	6,7	-0,5	-2,5	0,6	1,0	0,4	4,4	3,5	2,5	6,6	4,6	6,2	6,8	7,6	10,3	11,8
L ₂	50,6	39,0	34,9	33,7	32,5	29,1	30,0	30,3	30,5	33,4	33,0	33,5	31,9	30,1	31,7	30,6

7.3.1.2 Determinação do tempo de reverberação

O processo de determinação do tempo de reverberação é realizado em conformidade com o especificado na norma ISO 3382-2.

A determinação do tempo de reverberação faz-se pela excitação do campo sonoro através de uma fonte sonora (balão) com energia suficientemente potente em todo o espectro frequencial de interesse que garanta um decaimento, no mínimo, de 30 dB (T₃₀) até atingir o nível do ruído de fundo.

Quadro 7.5 – Valores do tempo de reverberação obtidos no compartimento receptor.

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
T ₃₀	1,03	0,83	0,84	0,66	0,72	0,73	0,76	0,75	0,70	0,72	0,74	0,71	0,77	0,82	0,79	0,79

7.3.1.3 Determinação do índice único de avaliação, D_{2m,nT,w}

Através da diferença dos valores obtidos na fonte (L₁) pelos valores medidos no local receptor (L₂), obtêm-se o isolamento sonoro bruto (D_{2m}) que é corrigido para o tempo de reverberação do compartimento receptor, padronizado para T₀, obtendo-se o valor de D_{2m,nT} através da expressão (4.6).

Quadro 7.6 – Valores obtidos para isolamento sonoro padronizado, D_{2m,nT}, por banda de 1/3 de oitava.

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
L _{1,2m}	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5
L ₂	50,6	39,0	34,9	33,7	32,5	29,1	30,0	30,3	30,5	33,4	33,0	33,5	31,9	30,1	31,7	30,6
T ₃₀	1,03	0,83	0,84	0,66	0,72	0,73	0,76	0,75	0,70	0,72	0,74	0,71	0,77	0,82	0,79	0,79
D _{2m,nT}	15,0	18,4	16,1	13,2	18,3	24,0	26,2	24,9	29,2	24,0	26,1	26,2	28,3	31,0	29,6	29,3

A partir dos valores de $D_{2m,nT}$ para cada banda de frequência, e por ajuste da curva real de $D_{2m,nT}$ à curva de referência, de acordo com o especificado da NP EN ISO 717-1, obtêm-se um índice único de avaliação, $D_{2m,nT,w}$, índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea com o exterior padronizado.

O ajuste da curva real é obtido por iterações sucessivas desta com a curva de referência (CR) de forma a que soma dos afastamentos positivos ($\Delta_1 = CR_1 - D_{2m,nT}$) a dividir pelo número de bandas de frequência utilizadas seja o maior possível sem ultrapassar 2,0.

O valor de $D_{2m,nT,w}$ corresponde à ordenada da curva ajustada para a frequência de 500 Hz.

O valor de $D_{2m,nT,w}$ para o elemento de fachada do edifício B obtido é então 27 dB, como se pode verificar pelo cálculo do ajuste efectuado no quadro 7.7.

O mesmo procedimento é efectuado pelo método gráfico de acordo com o especificado na NP ISO 140-5, como se pode observar na figura 7.4.

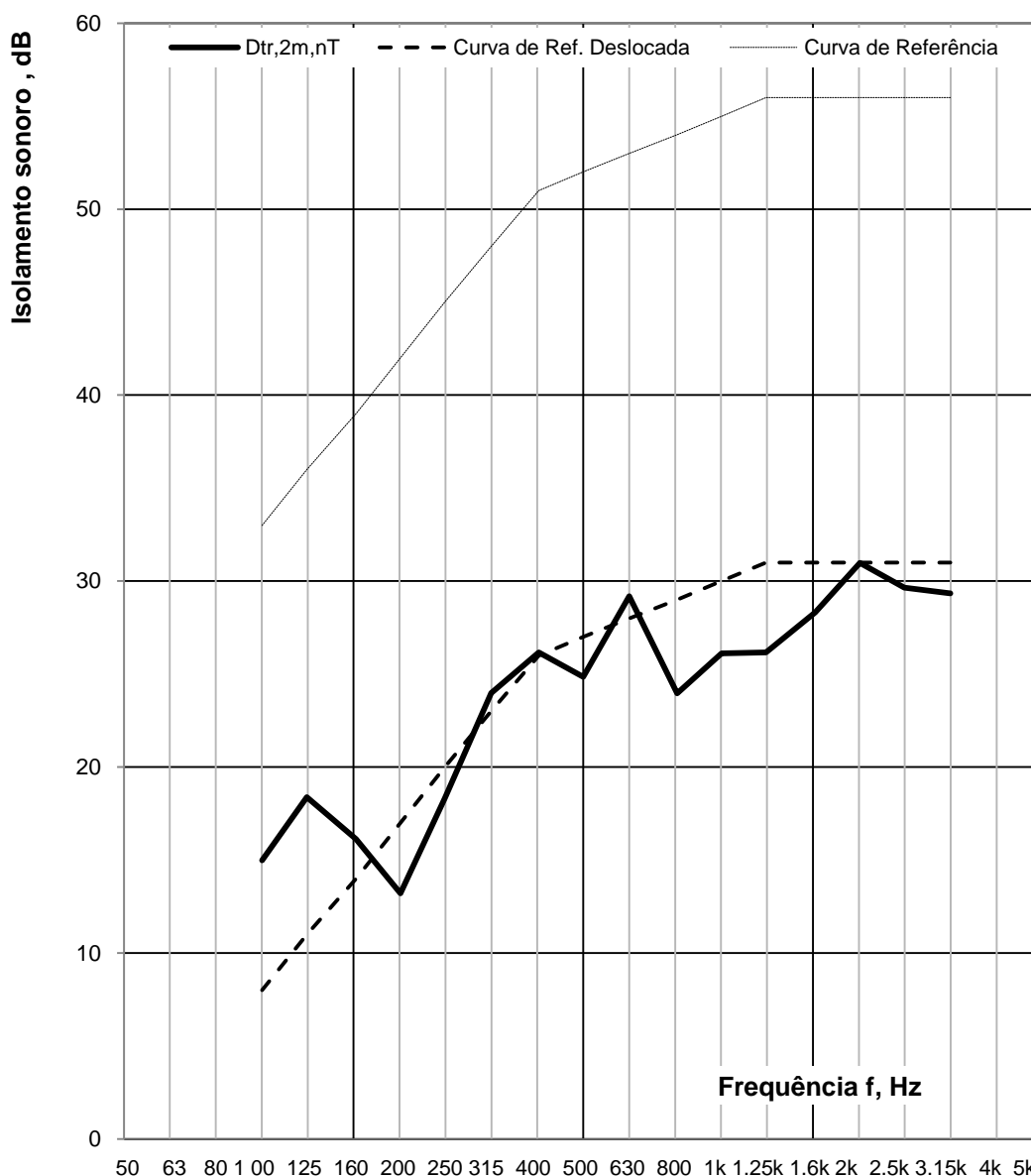


Figura 7.4 – Método gráfico de ajuste da curva real, $D_{2m,nT}$ à curva de referência.

Quadro 7.7 – Procedimento de ajuste da curva real, $D_{2m,nT}$ à curva de referência.

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
$D_{2m,nT}$	15,0	18,4	16,1	13,2	18,3	24,0	26,2	24,9	29,2	24,0	26,1	26,2	28,3	31,0	29,6	29,3
CR	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
ΔCR	0	3	6	9	12	15	18	19	20	21	22	23	23	23	23	23
CR_1	8	11	14	17	20	23	26	27	28	29	30	31	31	31	31	31
Δ_1	-	-	-	3,8	1,7	-	-	2,1	-	5,0	3,9	4,8	2,7	-	1,4	1,7
$\left \frac{\sum \Delta_1}{5} \right $	(3,8 + 1,7 + 2,1 + 5,0 + 3,9 + 4,8 + 2,7 + 1,4 + 1,7) / 5 = 1,7 (< 2,0)															

7.3.1.4 Termo de adaptação espectral, C e C_{tr}

O termo de adaptação espectral é uma correcção definida em função das características espectrais do ruído na emissão e deve ser adicionado ao índice $D_{2m,nT,w}$. O termo C indica que o ensaio foi realizado pela emissão de um ruído rosa, espectro n.º 1 e C_{tr} quando a fonte emissora é o ruído de tráfego urbano, espectro n.º 2.

O cálculo do termo de adaptação é obtido em conformidade com a NP EN ISSO 717-1 a partir da seguinte expressão:

$$C_j = X_{Aj} - X_w \quad (7.3)$$

$$X_{Aj} = -10 \log \sum 10^{\left(\frac{L_{ij} - X_i}{10}\right)} \quad (7.4)$$

Sendo:

“j” o índice de identificação do espectro em causa, n.º 1 ou n.º 2

“ X_w ” o índice de isolamento sonoro calculado, $D_{2m,nT,w}$

“i” o índice para as bandas de frequência de um terço de oitava

“ L_{ij} ” os níveis de pressão sonora para a banda de frequência i e espectro j

“ X_i ” é a diferença de níveis padronizada, $D_{2m,nT}$ para a banda de frequência i.

Quadro 7.8 – Espectros para cálculo dos termos de adaptação.

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
n.º 1	-29	-26	-23	-21	-19	-17	-15	-13	-12	-11	-10	-9	-9	-9	-9	-9
n.º 2	-20	-20	-18	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-9	-8	-9	-10	-11	-13	-15

Logo, para o espectro n.º 1 temos:

$$C = 26 - 27 = -1 \text{ dB}$$

e para o espectro n.º 2 temos:

$$C_{tr} = 23 - 27 = -4 \text{ dB}$$

Resultado obtido: $D_{2m,nT,w} (C;C_{tr}) = 27 (-1;-4) \text{ dB}$

7.3.2 PROCESSAMENTO DOS RESULTADO DAS MEDIÇÕES DO ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉREOS ENTRE COMPARTIMENTOS, $D_{nT,w}$

Os seguintes resultados dizem respeito à determinação do isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos principais de pisos consecutivos do edifício B.

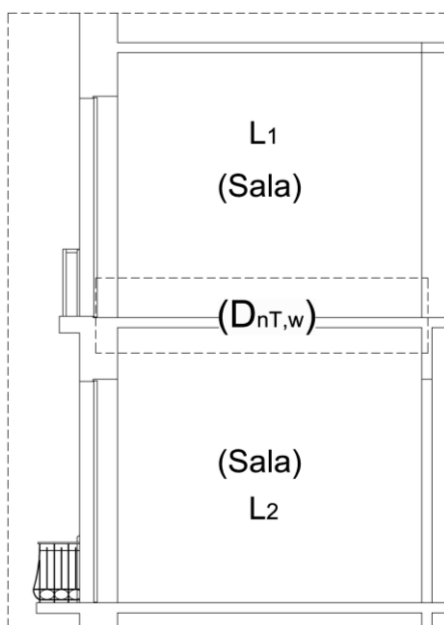


Figura 7.5 – Esquema de medição.

Os resultados da medição do isolamento sonoro entre compartimentos foram obtidos pela emissão de um ruído rosa de elevada intensidade no compartimento emissor e determinado por bandas de 1/3 oitava, de acordo com o especificado na NP ISO 140-4.

A medição do nível médio de pressão sonora no local emissor (L_1) obteve-se pela colocação do microfone em cinco posições, uniformemente distribuídas pelo espaço máximo do local receptor.

Através da média energética das n posições do microfone de acordo com a expressão (7.1) obtém-se um valor único para L_1 por banda de frequência.

Quadro 7.9 – Níveis de pressão sonora obtidos no local emissor por banda de 1/3 de oitava.

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
L ₁	77,8	78,5	81,8	82,1	79,3	81,8	84,6	83,6	83,3	82,7	81,6	80,9	81,7	81,5	79,0	84,1
L ₂	75,0	77,0	76,2	78,3	82,0	83,7	83,8	85,4	85,2	83,2	81,8	80,4	81,9	82,0	80,5	84,3
L ₃	81,2	81,0	83,5	80,0	82,6	83,6	85,4	86,0	86,3	83,9	82,9	81,8	81,2	82,6	80,1	84,7
L ₄	78,8	76,0	80,7	80,7	82,4	85,5	84,9	85,6	85,3	85,2	81,4	80,7	82,4	81,1	79,5	84,1
L ₅	79,7	76,7	78,9	81,5	81,6	81,1	83,2	84,3	85,2	84,7	82,8	79,7	81,0	82,0	79,1	83,5
L ₁	79,0	78,2	80,9	80,7	81,7	83,4	84,4	85,1	85,2	84,0	82,1	80,8	81,7	81,9	79,7	84,2

O nível médio de pressão sonora no local receptor (L₂) obteve-se pela leitura de dez posições distintas do microfone, distribuídas uniformemente pelo espaço máximo do local receptor, cinco por cada posição de fonte.

Pela média energética das n posições do microfone, expressão (7.1) calcula-se um valor único para L₂ por banda de frequência.

Quadro 7.10 – Níveis de pressão sonora obtidos no local receptor por banda de 1/3 de oitava.

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
L ₁	53,3	54,6	57,5	48,7	47,2	45,0	43,2	40,2	37,6	35,1	33,1	31,3	32,8	32,4	30,5	34,2
L ₂	54,6	57,8	49,9	48,8	47,2	43,8	42,5	40,3	38,5	37,0	34,3	32,9	32,5	31,7	32,4	34,9
L ₃	57,2	52,4	55,4	50,3	47,3	45,4	44,1	41,6	39,2	37,3	35,9	35,4	33,6	31,8	30,5	32,8
L ₄	58,9	55,4	54,4	49,8	48,0	46,3	44,5	42,8	41,3	39,0	39,7	38,9	36,6	33,7	31,9	33,9
L ₅	57,6	54,1	58,3	49,6	47,0	45,5	43,6	41,7	40,2	39,5	38,0	37,4	36,7	33,2	31,8	33,7
L ₆	51,3	52,1	51,5	48,4	40,5	41,0	39,9	38,1	33,3	31,9	29,2	26,5	28,1	27,7	24,2	27,6
L ₇	48,7	50,1	48,7	45,8	42,8	40,3	39,9	38,5	38,2	35,0	36,4	33,7	30,1	26,9	25,9	28,6
L ₈	53,1	48,6	50,8	48,8	43,6	41,0	39,7	35,6	34,0	30,8	28,5	26,9	26,5	24,2	24,5	27,3
L ₉	52,3	50,8	55,9	46,1	44,3	43,9	41,5	38,5	37,5	37,6	38,4	36,5	33,5	30,6	29,2	29,2
L ₁₀	51,0	49,8	52,7	46,7	43,1	42,3	40,2	39,3	36,3	33,0	32,2	29,7	29,0	26,6	25,5	26,7
L ₂	54,9	53,5	54,6	48,5	45,7	43,9	42,3	40,1	38,2	36,4	35,9	34,6	33,1	30,8	29,6	31,9

7.3.2.1 Correções relativas ao ruído de fundo

As medições efectuadas ao ruído de fundo servem para garantir que os resultados obtidos no local receptor não sejam afectados por ruídos perturbadores, exteriores ao local de ensaio.

A determinação das correções do ruído de fundo faz-se de acordo com o discriminado em 7.3.1.1 através da expressão (7.2).

Quadro 7.11 – Níveis de pressão sonora no local receptor corrigidos, por banda de 1/3 de oitava.

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
L_{sb}	54,9	53,5	54,6	48,5	45,7	43,9	42,3	40,1	38,2	36,4	35,9	34,6	33,1	30,8	29,6	31,9
L_b	45,0	40,8	38,7	34,4	32,9	30,0	26,9	28,1	29,3	27,9	29,7	28,4	26,1	23,4	21,4	18,9
$L_{sb} - L_b$	9,9	12,7	15,9	14,2	12,9	13,9	15,3	12,0	8,9	8,6	6,1	6,2	7,0	7,4	8,2	13,1
L_2	54,4	53,5	54,6	48,5	45,7	43,9	42,3	40,1	37,6	35,8	34,7	33,4	32,1	30,0	28,9	31,9

7.3.2.2 Determinação do índice único de avaliação, $D_{nT,w}$

Através da diferença dos valores obtidos na fonte (L_1) pelos valores medidos no local receptor (L_2), obtêm-se o isolamento sonoro bruto (D_n) que é corrigido para o tempo de reverberação do compartimento receptor, padronizado para T_0 , obtendo-se o valor de D_{nT} através expressão (4.4).

Quadro 7.12 – Valores obtidos para isolamento sonoro padronizado, D_{nT} , por banda de 1/3 de oitava.

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
L_1	79,0	78,2	80,9	80,7	81,7	83,4	84,4	85,1	85,2	84,0	82,1	80,8	81,7	81,9	79,7	84,2
L_2	54,9	53,5	54,6	48,5	45,7	43,9	42,3	40,1	38,2	36,4	35,9	34,6	33,1	30,8	29,6	31,9
T_{30}	1,03	0,83	0,84	0,66	0,72	0,73	0,76	0,75	0,70	0,72	0,74	0,71	0,77	0,82	0,79	0,79
D_{nT}	27,7	44,0	46,8	49,0	49,8	49,2	48,9	51,4	54,0	52,7	54,2	27,7	44,0	46,8	49,0	49,8

A partir dos valores de D_{nT} para cada banda de frequência, e por ajuste da curva real de D_{nT} à curva de referência, de acordo com o especificado da NP EN ISO 717-1, obtêm-se um índice único de avaliação, $D_{nT,w}$, índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado.

O ajuste da curva real é obtido por iterações sucessivas desta com a curva de referência (CR) de forma a que a soma dos afastamentos positivos ($\Delta_1 = CR_1 - D_{nT}$) a dividir pelo número de bandas de frequência utilizadas seja o maior possível sem ultrapassar 2,0. O valor de $D_{nT,w}$ corresponde à ordenada da curva ajustada para a frequência de 500 Hz.

O valor de $D_{nT,w}$ para o pavimento de separação entre pisos consecutivos do edifício B obtido é então 46 dB, como se pode verificar pelo cálculo do ajuste efectuado no quadro 7.13.

O mesmo procedimento é efectuado pelo método gráfico de acordo com o especificado na NP ISO 140-5, como se pode observar na figura 7.6.

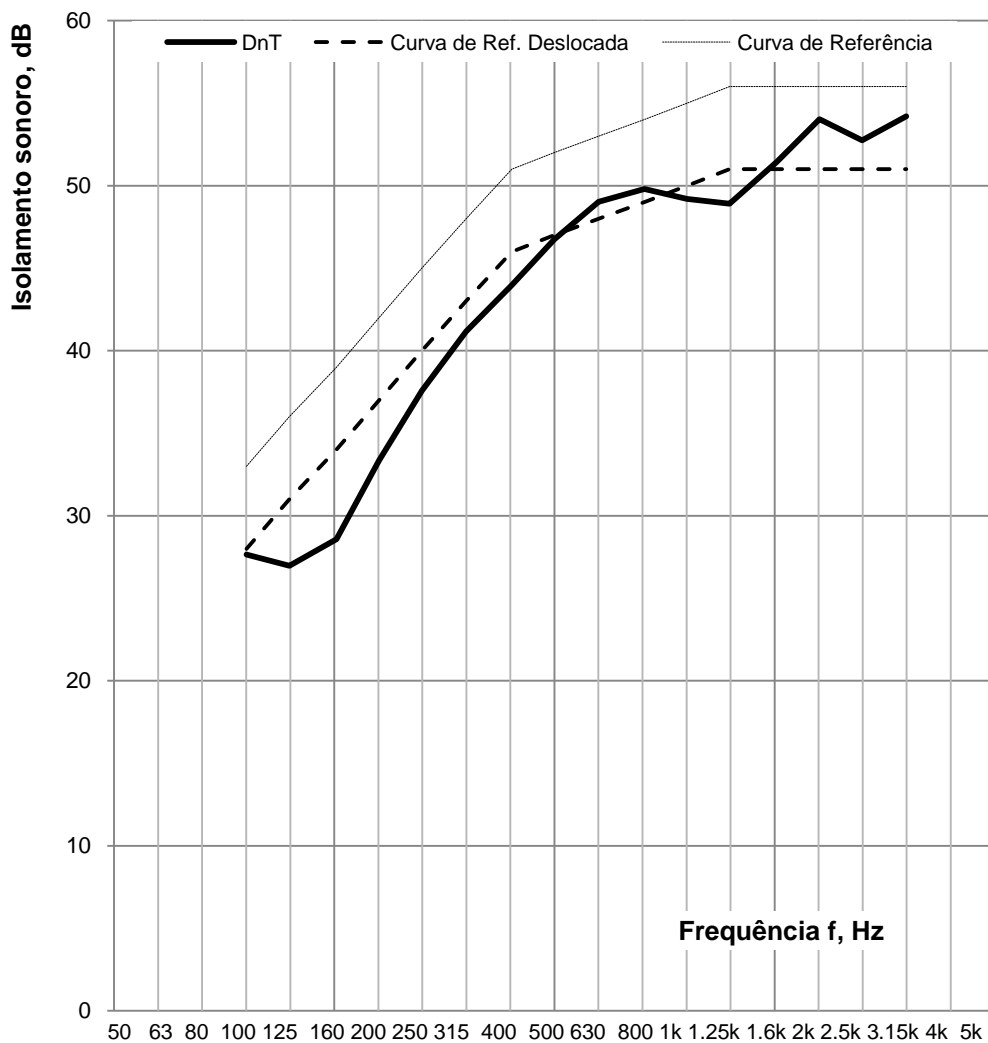


Figura 7.6 – Método gráfico de ajuste da curva real, $D_{nT,w}$ à curva de referência.

Quadro 7.13 – Procedimento de ajuste da curva real, D_{nT} à curva de referência.

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
D_{nT}	27,7	44,0	46,8	49,0	49,8	49,2	48,9	51,4	54,0	52,7	54,2	27,7	44,0	46,8	49,0	49,8
CR	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
ΔCR	0	3	6	9	12	15	18	19	20	21	22	23	23	23	23	23
CR_1	28	31	34	37	40	43	46	47	48	49	50	51	51	51	51	51
Δ_1	0,3	4,0	5,4	3,6	2,4	1,8	2,0	0,2	-	-	0,8	2,1	-	-	-	-
$\left \frac{\sum \Delta_1}{5} \right $	$(0,3 + 4,0 + 5,4 + 3,6 + 2,4 + 1,8 + 2,0 + 0,2 + 0,8 + 2,1) / 5 = 1,4 (< 2,0)$															

Resultado obtido: $D_{nT,w} = 47$ dB

7.3.3 PROCESSAMENTO DOS RESULTADO DAS MEDIÇÕES DO ISOLAMENTO SONORO A SONS DE PERCUSSÃO ENTRE COMPARTIMENTOS, $L'_{nT,w}$

Os seguintes resultados dizem respeito à determinação do isolamento sonoro a sons de percussão entre compartimentos principais de pisos consecutivos do edifício B.

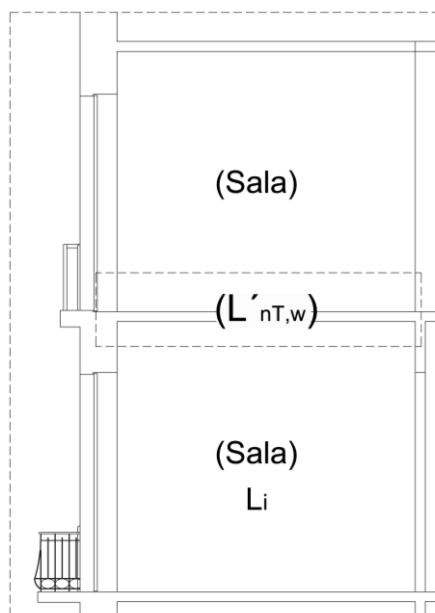


Figura 7.7 – Esquema de medição.

Os resultados da medição do isolamento sonoro entre compartimentos foram obtidos pela realização de uma percussão normalizada no compartimento emissor e determinado por bandas de 1/3 oitava, de acordo com o especificado na NP ISO 140-7.

O nível médio de pressão sonora no local receptor (L_i) obteve-se pela leitura de dez posições distintas do microfone, distribuídas uniformemente pelo espaço máximo do local receptor, cinco por cada posição da máquina de percussão.

Pela média energética das n posições do microfone determinada pela expressão (7.1) calcula-se um valor único para L_i por banda de frequência.

Quadro 7.14 – Níveis de pressão sonora obtidos no local receptor por banda de 1/3 de oitava.

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
L_1	70,1	75,5	71,9	63,5	68,5	70,0	60,7	63,3	62,7	60,3	57,5	52,5	47,9	41,1	37,0	30,9
L_2	73,6	75,5	73,0	63,7	69,7	70,9	61,8	63,8	63,4	58,1	58,0	52,5	48,0	41,6	38,7	31,4
L_3	70,0	72,0	72,4	66,5	69,0	69,0	61,1	62,5	61,9	59,1	58,3	52,5	49,0	42,2	39,7	33,0
L_4	72,3	73,7	72,7	62,6	66,5	66,0	60,3	62,3	62,9	58,1	58,4	52,8	49,2	42,7	39,9	33,6
L_5	71,5	74,4	76,3	63,5	66,2	68,6	60,4	64,0	64,8	60,3	58,3	53,4	49,0	43,1	39,8	34,1
L_6	71,5	72,2	68,5	61,3	62,1	62,0	59,5	59,5	56,9	55,5	54,2	48,9	43,5	39,3	33,9	29,8

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
L ₇	72,4	68,4	66,3	61,5	63,4	61,2	58,1	59,5	56,0	54,8	54,2	49,3	42,6	39,0	34,1	29,3
L ₈	71,4	71,3	69,2	61,8	63,9	61,7	59,0	59,3	56,6	54,8	53,2	48,4	42,5	38,1	33,0	26,0
L ₉	68,7	67,9	67,9	61,7	65,1	62,2	61,3	59,1	58,0	54,4	53,7	47,9	42,6	39,1	33,0	27,2
L ₁₀	72,2	68,7	67,0	61,4	63,2	62,4	57,7	60,0	55,9	54,9	53,9	48,1	43,6	38,6	33,0	26,3
L _i	71,6	72,8	71,6	63,1	66,5	66,9	60,2	61,8	61,1	57,6	56,5	51,1	46,7	40,8	37,2	31,0

7.3.3.1 Correções relativas ao ruído de fundo

As medições efectuadas ao ruído de fundo servem para garantir que os resultados obtidos no local receptor não sejam afectados por ruídos perturbadores, exteriores ao local de ensaio.

A determinação das correções do ruído de fundo faz-se de acordo com o discriminado em 7.3.1.1 através da expressão (7.2).

Quadro 7.15 – Níveis de pressão sonora no local receptor, por banda de 1/3 de oitava.

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
L _{sb}	71,6	72,8	71,6	63,1	66,5	66,9	60,2	61,8	61,1	57,6	56,5	51,1	46,7	40,8	37,2	31,0
L _b	45,0	40,8	38,7	34,4	32,9	30,0	26,9	28,1	29,3	27,9	29,7	28,4	26,1	23,4	21,4	18,9
L _{sb} - L _b	26,6	31,9	32,9	28,7	33,6	36,9	33,2	33,7	31,8	29,7	26,7	22,7	20,6	17,4	15,8	12,1
L _i	71,6	72,8	71,6	63,1	66,5	66,9	60,2	61,8	61,1	57,6	56,5	51,1	46,7	40,8	37,2	31,0

O valor do ruído de fundo encontra-se em mais de 10 dB abaixo do nível do sinal combinado com o ruído de fundo não sendo, deste modo, necessários ajustes.

7.3.3.2 Determinação do índice único de avaliação, L' _{nT,w}

Através dos valores medidos no local receptor (L_i), corrigido para o tempo de reverberação do compartimento receptor, padronizado para T₀, obtendo-se o valor de L' _{nT} de acordo com o enunciado na expressão (4.1).

Quadro 7.16 – Valores obtidos para isolamento sonoro padronizado, L' _{nT}, por banda de 1/3 de oitava.

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
L _i	71,6	72,8	71,6	63,1	66,5	66,9	60,2	61,8	61,1	57,6	56,5	51,1	46,7	40,8	37,2	31,0
T ₃₀	1,03	0,83	0,84	0,66	0,72	0,73	0,76	0,75	0,70	0,72	0,74	0,71	0,77	0,82	0,79	0,79
L' _{nT}	74,7	75,0	73,9	64,2	68,1	68,6	62,0	63,5	62,6	59,2	58,2	52,7	48,6	43,0	39,1	33,0

A partir dos valores de L'_{nT} para cada banda de frequência, e por ajuste da curva real de L'_{nT} à curva de referência, de acordo com o especificado da NP EN ISO 717-2, obtêm-se um índice único de avaliação, $L'_{nT,w}$, índice de isolamento sonoro a sons de percussão padronizado.

O ajuste da curva real é obtido por iterações sucessivas desta com a curva de referência (CR) de forma a que a soma dos afastamentos positivos ($\Delta_1 = CR_1 - L'_{nT}$) a dividir pelo número de bandas de frequência utilizadas seja o maior possível sem ultrapassar 2,0. O valor de $L'_{nT,w}$ corresponde à ordenada da curva ajustada para a frequência de 500 Hz.

O valor de $L'_{nT,w}$ para o pavimento de separação entre pisos consecutivos do edifício B obtido é então 44 dB, como se pode verificar pelo cálculo do ajuste efectuado no quadro 7.17.

O mesmo procedimento é efectuado pelo método gráfico de acordo com o especificado na NP ISO 140-5, como se pode observar na figura 7.8.

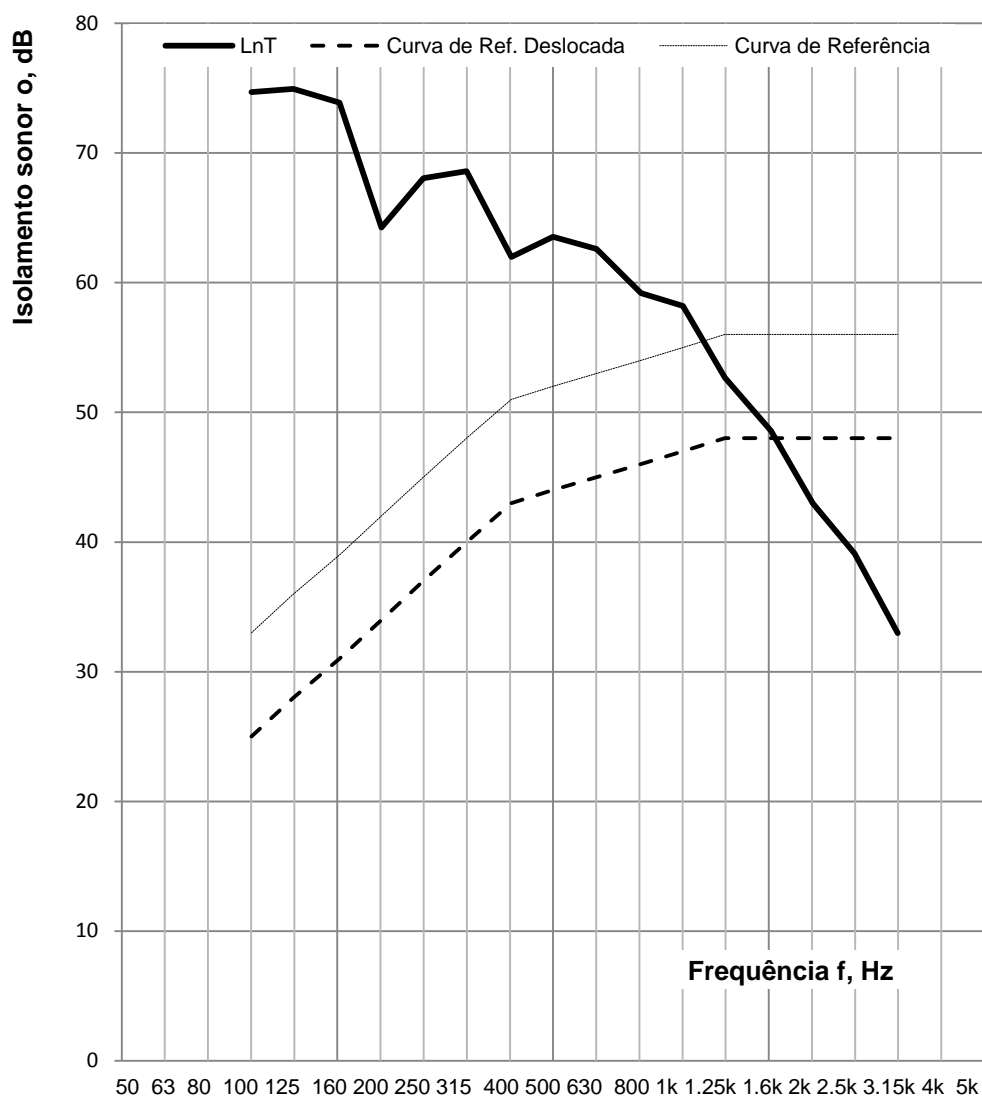


Figura 7.8 – Método gráfico de ajuste da curva real, $L'_{nT,w}$ à curva de referência.

Quadro 7.17 – Procedimento de ajuste da curva real, L'_{nT} à curva de referência.

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k
L'_{nT}	74,7	75,0	73,9	64,2	68,1	68,6	62,0	63,5	62,6	59,2	58,2	52,7	48,6	43,0	39,1	33,0
CR	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
ΔCR	0	3	6	9	12	15	18	19	20	21	22	23	23	23	23	23
CR_1	25	28	31	34	37	40	43	44	45	46	47	48	48	48	48	48
Δ_1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	8,9	15,0
$\left \frac{\sum \Delta_1}{5} \right $	(5,0 + 8,9 + 15,0) / 5 = 1,8 (< 2,0)															

Resultado obtido: $L'_{nT,w} = 44$ dB

7.4 SÍNTESE DE RESULTADOS

7.4.1 NÍVEL DE AVALIAÇÃO DO RÚIDO PARTICULAR DE EQUIPAMENTOS COLECTIVOS DO EDIFÍCIO, $L_{Ar,nT,w}$

O nível de avaliação do ruído particular de equipamentos colectivos dos edifícios em análise está enunciado no seguinte quadro:

Quadro 7.18 - Valores obtidos de $L_{Ar,nT,w}$ para o ruído particular de equipamentos.

	Critério Regulamentar	Situação Medida	Valor Medido
Soluções tradicionais	Edifício A		
	Edifício B		
Soluções modernas	$L_{Ar,nT,w} \leq 32$ dB (A)	Edifício C	Emissão: sistema de ventilação Recepção: quarto do piso 2 (fracção C) $L_{Ar,nT,w} - I^1 = 35$ dB(A)
		Edifício D	
	Edifício E.1	Emissão: caixa de elevador Recepção: sala do piso 2 (fracção L) $L_{Ar,nT,w} = 26,4$ dB(A)	
	Edifício E.2	Emissão: caixa de elevador Recepção: sala do piso 2 (fracção J) $L_{Ar,nT,w} - I^1 = 33,4$ dB(A)	

¹ Factor de Incerteza de 3 dB associado à determinação das grandezas em causa.

7.4.2 AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO A RUIDOS DE CONDUÇÃO AÉREA ENTRE O EXTERIOR E QUARTOS OU ZONAS DE ESTAR DOS FOGOS, $D_{2m,nT,w}$



Emissão



Recepção

Figura 7.9 – Medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre o exterior e quartos ou zonas de estar dos fogos.

Quadro 7.19 – Valores obtidos para o isolamento de paredes de fachada, $D_{2m,nT,w}$.

	Critério Regulamentar	Situação Medida	Valor Medido
Soluções tradicionais	$D_{2m,nT,w}^* \geq 33$ dB	Edifício A Emissão: exterior Recepção: sala do piso 1 (fracção A)	$D_{2m,nT,w} + I^1 = 24$ dB
		Emissão: exterior Recepção: quarto do piso 1 (fracção A)	$D_{2m,nT,w} + I^1 = 27$ dB
		Edifício B Emissão: exterior Recepção: sala do piso 0 (fracção A)	$D_{2m,nT,w} + I^1 = 30$ dB
Soluções modernas	$D_{2m,nT,w} \geq 33$ dB	Edifício C Emissão: exterior Recepção: sala do piso 1 (fracção A)	$D_{2m,nT,w} + I^1 = 31$ dB
		Edifício D Emissão: exterior Recepção: quarto do piso 3 (fracção A)	$D_{2m,nT,w} + I^1 = 32$ dB
	$D_{2m,nT,w} \geq 33$ dB	Edifício E.1 Emissão: exterior Recepção: quarto do piso 1 (fracção C)	$D_{2m,nT,w} + I^1 = 35$ dB
		Edifício E.2 Emissão: exterior Recepção: sala/quarto do piso 2 (fracção F)	$D_{2m,nT,w} + I^1 = 34$ dB

¹ Factor de Incerteza de 3 dB associado à determinação das grandezas em causa.

* Valor de referência, não é exigível.

7.4.3 AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS DE CONDUÇÃO AÉREA ENTRE COMPARTIMENTOS DE UM FOGO E QUARTOS OU ZONAS DE ESTAR DE OUTRO FOGO, $D_{nT,w}$

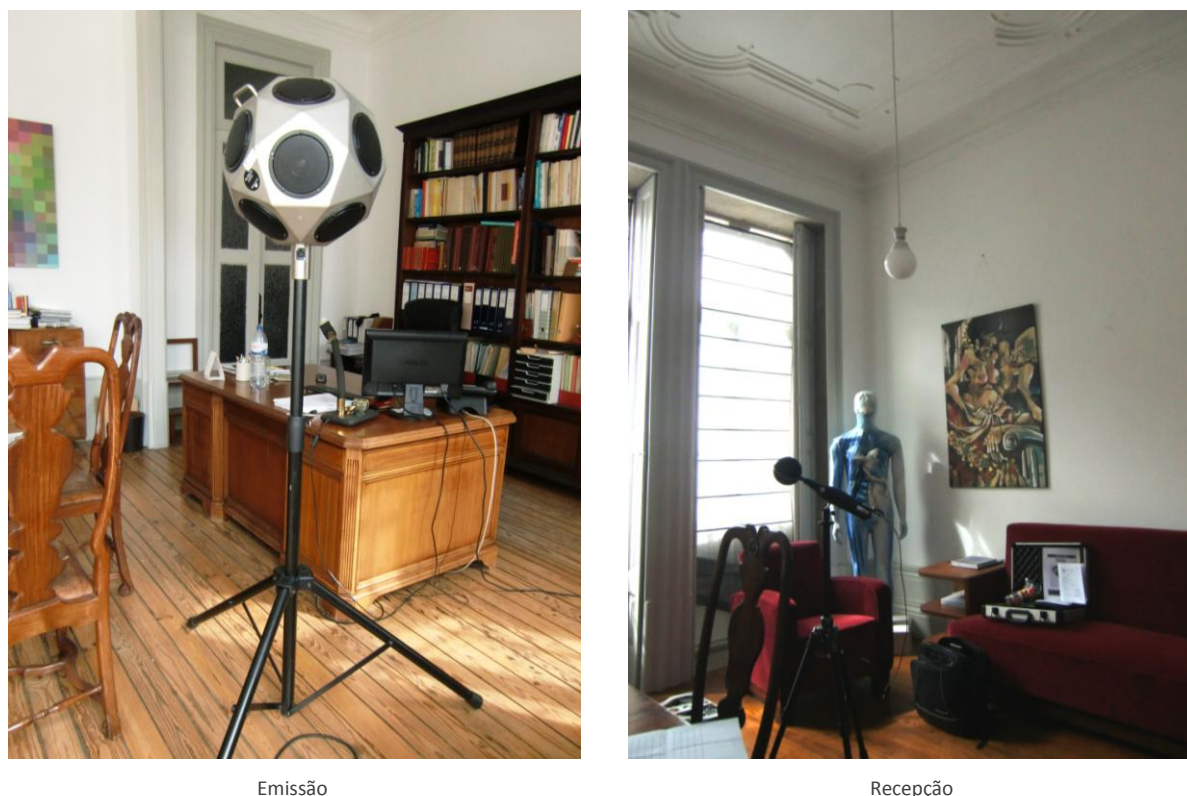


Figura 7.10 – Medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre habitações adjacentes de pisos consecutivos.

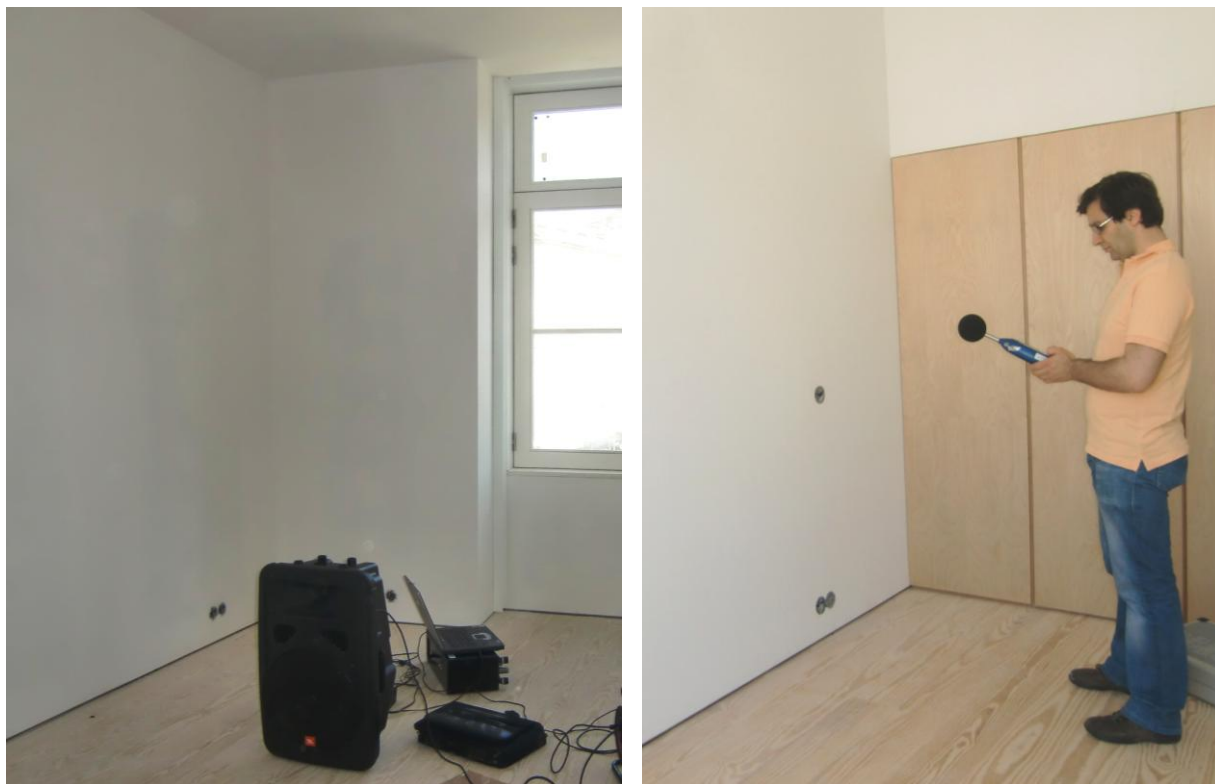
Quadro 7.20 – Valores obtidos de $D_{nT,w}$ entre habitações adjacentes de pisos consecutivos.

	Critério Regulamentar	Situação Medida	Valor Medido
Soluções tradicionais	$D_{nT,w} - t^2 \geq 47^* \text{ dB}$	Emissão: sala do piso 3 (fracção B) Recepção: quarto do piso 2 (fracção A)	$D_{nT,w} = 49 \text{ dB}$
		Emissão: quarto do piso 3 (fracção B) Recepção: quarto do piso 2 (fracção A)	$D_{nT,w} = 52 \text{ dB}$
	$D_{nT,w} \geq 50^* \text{ dB}$	Emissão: sala do piso 1 (fracção B) Recepção: sala do piso 1 (fracção A)	$D_{nT,w} + I^1 = 50 \text{ dB}$
		Emissão: sala do piso 2 (fracção C) Recepção: sala do piso 1 (fracção A)	$D_{nT,w} = 61 \text{ dB}$
Soluções modernas	$D_{nT,w} - t^2 \geq 47 \text{ dB}$	Emissão: quarto do piso 2 (fracção N) Recepção: quarto do piso 1 (fracção J)	$D_{nT,w} = 61 \text{ dB}$
		Emissão: sala do piso 3 (fracção V) Recepção: sala/quarto do piso 2 (fracção R)	$D_{nT,w} = 49 \text{ dB}$

1 Factor de Incerteza de 3 dB associado à determinação das grandezas em causa.

2 Tolerância de 3 dB para edifícios localizados em Zona Histórica.

* Valor de referência, não é exigível.



Emissão

Recepção

Figura 7.11 - Medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre habitações adjacentes do mesmo piso.

Quadro 7.21 – Valores obtidos de $D_{nT,w}$ entre habitações adjacentes do mesmo piso.

		Critério Regulamentar	Situação Medida	Valor Medido
Soluções tradicionais	Edifício A	$D_{nT,w} - t^2 \geq 47^*$ dB		
	Edifício B	$D_{nT,w} \geq 50^*$ dB		
Soluções modernas	Edifício C	$D_{nT,w} - t^2 \geq 47$ dB	Emissão: Hall do piso 2 (fracção D)	$D_{nT,w} = 59$ dB
			Recepção: quarto do piso 2 (fracção C)	
	Edifício D		Emissão: quarto do piso 3 (fracção B)	$D_{nT,w} = 51$ dB
			Recepção: quarto do piso 3 (fracção A)	
	Edifício E.1		Emissão: quarto do piso 1 (fracção I)	$D_{nT,w} = 49$ dB
			Recepção: quarto do piso 1 (fracção J)	
	Edifício E.2		Emissão: sala/quarto do piso 2 (fracção S)	$D_{nT,w} = 47$ dB
			Recepção: sala/quarto do piso 2 (fracção R)	

2 Tolerância de 3 dB para edifícios localizados em Zona Histórica.

* Valor de referência, não é exigível.

7.4.4 AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO A RUIDOS DE CONDUÇÃO AÉREA ENTRE ZONAS DE CIRCULAÇÃO DO COMUM DO EDIFÍCIO E QUARTOS OU ZONAS DE ESTAR DOS FOGOS, $D_{nT,w}$



Emissão



Recepção

Figura 7.12 – Medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos adjacentes do mesmo piso.

Quadro 7.22 – Valores obtidos de $D_{nT,w}$ entre zonas comuns e habitações adjacentes no mesmo piso.

		Critério Regulamentar	Situação Medida	Valor Medido
Soluções tradicionais	Edifício A	$D_{nT,w} - t^2 \geq 45^* \text{ dB}$		
	Edifício B	$D_{nT,w} \geq 48^* \text{ dB}$		
Soluções modernas	Edifício C		Emissão: circulação comum do piso 2 Recepção: quarto do piso 2 (fracção C)	$D_{nT,w} = 53 \text{ dB}$
	Edifício D			
	Edifício E.1	$D_{nT,w} - t^2 \geq 45^* \text{ dB}$		
	Edifício E.2			

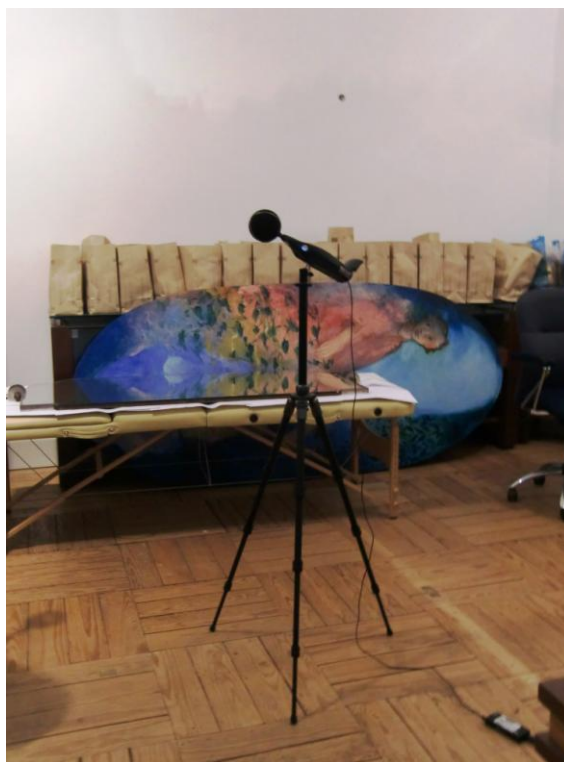
2 Tolerância de 3 dB para edifícios localizados em Zona Histórica.

* Valor de referência, não é exigível.

7.4.5 AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS DE CONDUÇÃO AÉREA ENTRE COMÉRCIO OU SERVIÇOS E QUARTOS OU ZONAS DE ESTAR DOS FOGOS, $D_{nT,w}$



Emissão



Recepção

Figura 7.13 – Medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre zonas destinadas a comércio ou serviços e habitações adjacentes de pisos consecutivos.

Quadro 7.23 – Valores obtidos de $D_{nT,w}$ entre zonas destinadas a comércio ou serviços e habitações adjacentes de pisos consecutivos.

		Critério Regulamentar	Situação Medida	Valor Medido
Soluções tradicionais	Edifício A	$D_{nT,w} - t^2 \geq 55^+$ dB	Emissão: loja do piso 0 Recepção: quarto do piso 1 (fracção A)	$D_{nT,w} + I^1 = 33$ dB
	Edifício B	$D_{nT,w} \geq 58^+$ dB		
Soluções modernas	Edifício C		Emissão: serviços no piso 0 Recepção: sala do piso 1 (fracção A)	$D_{nT,w} = 60$ dB
	Edifício D			
	Edifício E.1	$D_{nT,w} - t^2 \geq 55$ dB	Emissão: comércio do piso 0 (fracção C) Recepção: quarto do piso 1 (fracção J)	$D_{nT,w} + I^1 = 56$ dB
	Edifício E.2		Emissão: serviços do piso 0 (fracção E) Recepção: sala/quarto do piso 2 (fracção R)	$D_{nT,w} + I^1 = 53$ dB

1 Factor de Incerteza de 3 dB associado à determinação das grandezas em causa.

2 Tolerância de 3 dB para edifícios localizados em Zona Histórica.

* Valor de referência, não é exigível.

7.4.6 AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO A RUÍDOS DE PERCUSSÃO ENTRE COMPARTIMENTOS DE UM FOGO E QUARTOS OU ZONAS DE ESTAR DE OUTRO FOGO, $L'_{nT,w}$



Emissão

Recepção

Figura 7.14 – Medição do isolamento sonoro a sons de percussão entre habitações adjacentes de pisos consecutivos.

Quadro 7.24 – Valores obtidos de $L'_{nT,w}$ entre habitações adjacentes de pisos consecutivos.

		Critério Regulamentar	Situação Medida	Valor Medido
Soluções tradicionais	Edifício A	$L'_{nT,w} + t^2 \leq 63^* \text{ dB}$	Emissão: quarto do piso 2 (fracção B)	$L'_{nT,w} = 62 \text{ dB}$
			Recepção: quarto do piso 1 (fracção A)	
	Edifício B	$L'_{nT,w} \leq 60^* \text{ dB}$	Emissão: sala do piso 2 (fracção B)	$L'_{nT,w} = 44 \text{ dB}$
			Recepção: sala do piso 1 (fracção A)	
Soluções modernas	Edifício C	$L'_{nT,w} + t^2 \leq 63 \text{ dB}$	Emissão: sala do piso 2 (fracção C)	$L'_{nT,w} = 50 \text{ dB}$
	Edifício D		Recepção: sala do piso 1 (fracção A)	
	Edifício E.1		Emissão: quarto do piso 2 (fracção C)	$L'_{nT,w} = 43 \text{ dB}$
	Edifício E.2		Recepção: quarto do piso 1 (fracção J)	
			Emissão: sala do piso 3 (fracção E)	
	Recepção: sala/quarto do piso 2 (fracção R)			

1 Factor de Incerteza de 3 dB associado à determinação das grandezas em causa.

2 Tolerância de 3 dB para edifícios localizados em Zona Histórica.

* Valor de referência, não é exigível.

7.4.7 AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO A RUIDOS DE PERCUSSÃO ENTRE COMÉRCIO OU SERVIÇOS E QUARTOS OU ZONAS DE ESTAR DOS FOGOS, $L'_{nT,w}$



Figura 7.15 – Medição do isolamento sonoro a sons de percussão entre zonas destinadas a comércio ou serviços e habitações adjacentes de pisos consecutivos.

Quadro 7.25 – Valores obtidos de $L'_{nT,w}$ entre zonas destinadas a comércio ou serviços e habitações adjacentes de pisos consecutivos.

		Critério Regulamentar	Situação Medida	Valor Medido
Soluções tradicionais	Edifício A	$L'_{nT,w} + t^2 \leq 53^1$ dB	Emissão: loja do piso 0 Recepção: quarto do piso 1 (fracção A)	$L'_{nT,w} = 46$ dB
	Edifício B	$L'_{nT,w} \leq 50^*$ dB		
Soluções modernas	Edifício C		Emissão: serviços piso 0 Recepção: sala do piso 1 (fracção A)	$L'_{nT,w} = 42$ dB
	Edifício D			
	Edifício E.1	$L'_{nT,w} + t^2 \leq 53$ dB	Emissão: comércio do piso 0 (fracção C) Recepção: quarto do piso 1 (fracção J)	$L'_{nT,w} = 50$ dB
	Edifício E.2		Emissão: serviços do piso 0 (fracção E) Recepção: quarto do piso 1 (fracção J)	$L'_{nT,w} = 46$ dB

1 Factor de Incerteza de 3 dB associado à determinação das grandezas em causa.

2 Tolerância de 3 dB para edifícios localizados em Zona Histórica.

* Valor de referência, não é exigível.

8

DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES

A reabilitação de edifícios integrantes de centros históricos envolve exigências particulares decorrentes do seu valor patrimonial. O caso do Centro Histórico do Porto é ainda mais crítico, visto que, para além de conter dezenas de edifícios classificados como património a preservar, foi, também ele, enquanto núcleo urbano de valor especial, classificado como Património Mundial.

Advém deste facto a consciente preocupação pelos elementos que constituem as fachadas destes edifícios, como parte mais evidente do seu valor estético e histórico.

Infelizmente, em grande parte das intervenções, só estes elementos são preservados, procedendo-se à substituição parcial ou total da maioria dos elementos divisórios por novas peças à base de betão armado ou estruturas metálicas. O potencial destas soluções tradicionais aplicadas ao longo de séculos na construção destes elementos não deveria ser depreciado, mas antes exponeciado por acções de restauro e beneficiação.

8.1 DISCUSSÃO DE RESULTADOS**8.1.1 ELEMENTOS DE FACHADA**

Normalmente a exigência de protecção em zona histórica mais corrente é a necessidade da conservação integral da fachada, implicando por vezes a preservação de caixilharias tradicionais.

Dada a complexidade na adaptação dos vãos envidraçados à envolvente dos edifício a reabilitar, aliada a uma grande percentagem de área envidraçada característica neste edificado, as janelas constituem um dos pontos de maior interesse na análise do isolamento sonoro global das fachadas.

Assim, o cumprimento dos valores do parâmetro $D_{2m,nT,w}$ no âmbito da intervenção acústica pode tornar o processo de licenciamento penoso, uma vez que, estando o edifício localizado em zona histórica ou não, este parâmetro assume o mesmo grau de severidade.

Em conformidade com o RRAE, o parâmetro $D_{2m,nT,w}$, para edifícios que se destinam a usos habitacionais ou mistos localizados em zonas mistas, deve ser superior a 33 dB. Este valor pode ainda ser mais rigoroso para edifícios novos que se localizem em centros urbanos consolidados muito expostos ao ruído ambiente exterior (RGR, Artigo 12.º, n.º 7). Nesse caso, para valores superiores em 5 dB (A) aos valores dos indicadores de ruído ambiente diurno-entardecer-nocturno (L_{den}) e nocturno (L_n), este parâmetro assume o valor de 36 dB.

No entanto, a aplicação deste artigo é dirigida para novos edifícios habitacionais, não sendo controlada a sua aplicabilidade aos edifícios a reabilitar em zonas consolidadas.

Remete-se a definição da zona aplicável, no cumprimento do RRAE, de acordo com o constante na figura 7.2, complementada pelos extractos dos mapas de ruído produzido na rua presentes no Anexo B.

Numa zona mista exposta a um ruído exterior limite de 55 dB(A), protegida por uma envolvente capaz de reduzir o ruído exterior em 33 dB, o padrão de conforto acústico é, então, definido pelo nível sonoro sentido no interior do compartimento. Numa aproximação grosseira podemos considerar que esse nível assume o valor limite de 22 dB.

Partindo deste princípio e considerando os casos práticos avaliados temos:

Quadro 8.1 – Definição dos padrões de conforto acústico pelo indicador L_n e o parâmetro $D_{2m,nT,w}$.

Edifícios	$L_n \leq 55$ dB(A)	$D_{2m,nT,w} + I \geq 33$ dB	$L_n - D_{2m,nT,w} \leq 22$ dB
A	54	24	30
B	51	30	21
C	61	31	30
D	59	32	27
E.1	45	35	10
E.2	45	34	11

Da análise do quadro anterior pode-se evidenciar que apesar do ruído no interior do edifício B ser inferior ao valor considerado como valor limite de conforto acústico, este não se encontra conforme às exigências acústicas regulamentares.

Teoricamente, se o edifício D apresentasse 33 dB de isolamento sonoro global de fachada estaria exposto a um ruído interior de 26 dB. No entanto, estariam salvaguardadas as exigências regulamentares e o licenciamento do mesmo legal.

Do ponto de vista acústico, as características próprias destas envolventes, de massa relativamente elevada, tornam importante a avaliação do comportamento individual da fracção opaca do elemento, através de modelos teóricos baseados em comportamentos reais ensaiados em laboratório.

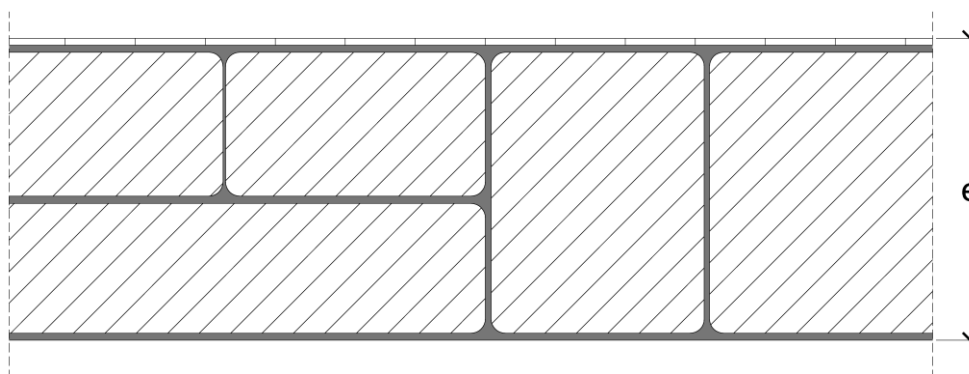


Figura 8.1 – Esquema construtivo tipo da parte opaca do elemento fachada.

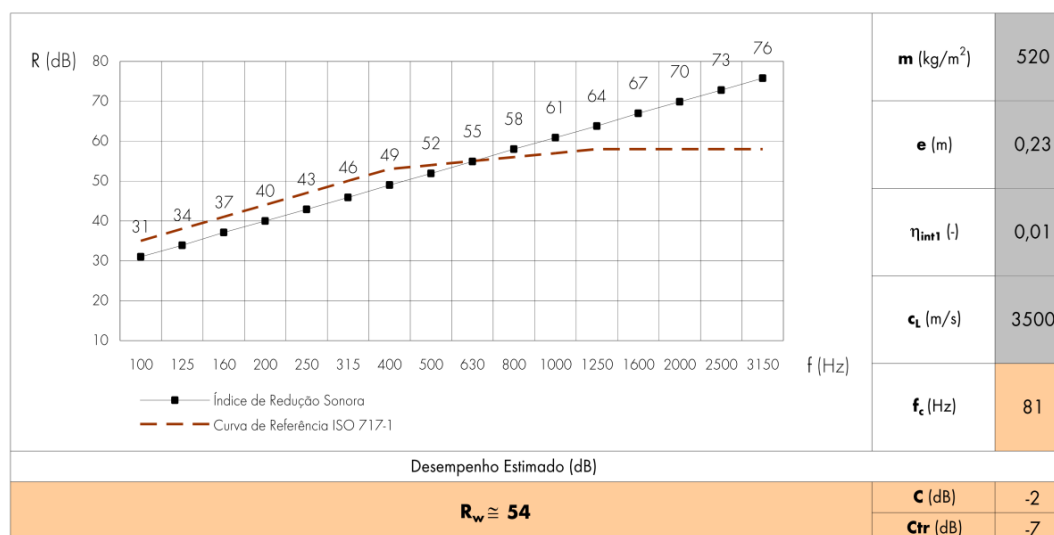


Figura 8.2 – Mapa de cálculo de uma parede típica em alvenaria de pedra. Cedido por [30].

Assim, pela modelação teórica de um elemento em alvenaria de pedra com espessura mínima de 23 cm, obtém-se uma redução sonora de aproximadamente 54 dB. Confirma-se, desta forma, que o isolamento global da envolvente é fortemente afectado pelas características dos seus vãos envidraçados.

A discussão centra-se, então, na eficácia das soluções usadas nas fracções envidraçadas, adoptando-se como medida de confrontação os resultados obtidos no isolamento sonoro global do elemento.

Considere-se o seguinte quadro com a indicação simplificada das diferentes soluções de janelas adoptadas:

Quadro 8.2 – Descrição dos vãos envidraçados adoptados.

Edifícios	Janelas	$D_{2m,nT,w} + I \geq 33$ dB	R_w	% Fracção envidraçada
A	Vidro simples (4 mm) Caixilho em madeira	24	30*	
B	Vidro simples (4 mm) Caixilho em madeira	30	30*	
C	Vidro duplo (6+6+8 mm) Caixilho em madeira	31	38*	
	Classe de estanquidade mínima A2			
D	Vidro duplo (8+6+8 mm) Caixilho em madeira	32	39*	≈ 45% Fracção opaca
	Classe de estanquidade mínima A2			
E.1	Vidro duplo (8+6+4 mm) Caixilho em alumínio	35	35*	
	Classe de estanquidade mínima A4			
E.2	Vidro duplo (6+12+8 mm) Caixilho em alumínio	34	38*	
	Classe de estanquidade mínima A4			

* Cedido por [30].

Na generalidade dos edifícios do Centro Histórico do Porto, a percentagem de área envidraçada representa uma fatia considerável da área total do elemento, dificultando a conformidade do critério regulamentar.

As caixilharias pré-existentes reabilitadas, representadas pelos resultados obtidos nos edifícios C e D, expõem um comportamento modestamente melhorado, face às potencialidades que advêm do uso de soluções com vidros duplos.

Já o bom comportamento do elemento global do edifício B é inesperado, tratando-se de um exemplo de caixilhos tradicionais com vidros simples.

No caso do edifício E, a possibilidade da substituição integral das janelas por soluções actuais explica o seu melhor desempenho acústico.

As acções de reabilitação das caixilharias primitivas apresentam problemas na adaptação às soluções modernas. Os resultados obtidos para os edifícios C e D devem-se, certamente, à execução pouco cuidada de juntas entre os elementos fixos entre si (por exemplo, entre a alvenaria e o aro) e entre elementos que devem mover-se um relativamente ao outro (por exemplo, entre o aro e o caixilho). O tratamento cuidado destes pontos singulares pode ser feito através da colmatação das juntas com recurso a materiais plásticos e absorventes sonoros, podendo, assim, conduzir a resultados mais satisfatórios.

8.1.2 ELEMENTOS INTERIORES DE COMPARTIMENTAÇÃO

Na maioria dos edifícios antigos, o problema da transmissão de ruídos com origem noutros fogos, quer de sons aéreos como de percussão, ocorre entre habitações contíguas de pisos sucessivos.

A generalização do uso de estruturas metálicas ou em betão armado a complementar o esqueleto destas habitações é comum, quer por motivos relacionados com o seu estado de conservação, quer, por vezes, pela dificuldade em dotar estes edifícios de todos os confortos ajustados aos padrões de vida actuais.

Os problemas associados à transmissão sonora entre pisos sucessivos, através de pavimentos, estão directamente relacionados com a ligação das diferentes camadas entre si.

Já a propagação de sons aéreos entre pavimentos, tal como nas fachadas, está relacionada com a permeabilidade e a capacidade de absorção sonora do elemento.

Neste sentido, avaliou-se o desempenho acústico de vários pavimentos, com soluções tradicionais e novas soluções de reabilitação, a fim de se poder analisar as potencialidades das soluções tradicionais.

Em conformidade com o RRAE, o valor do parâmetro $L'_{nT,w}$ no interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos como locais receptores, para uma percussão normalizada sobre pavimentos dos outros fogos ou de circulações comuns, assume o valor limite de 63 dB para edifícios localizados em zonas históricas e 60 dB para as restantes zonas.

Em conformidade com o RRAE, o valor do parâmetro $D_{nT,w}$, avaliado no interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos, assume o valor limite de 47 dB para edifícios localizados em zonas históricas e 50 dB nas restantes zonas.

Tomemos como exemplo o comportamento a sons de percussão e de condução aérea, entre pisos consecutivos de habitações distintas, dos dois pavimentos tradicionais dos edifícios A e B e da solução de reabilitação do edifício C:

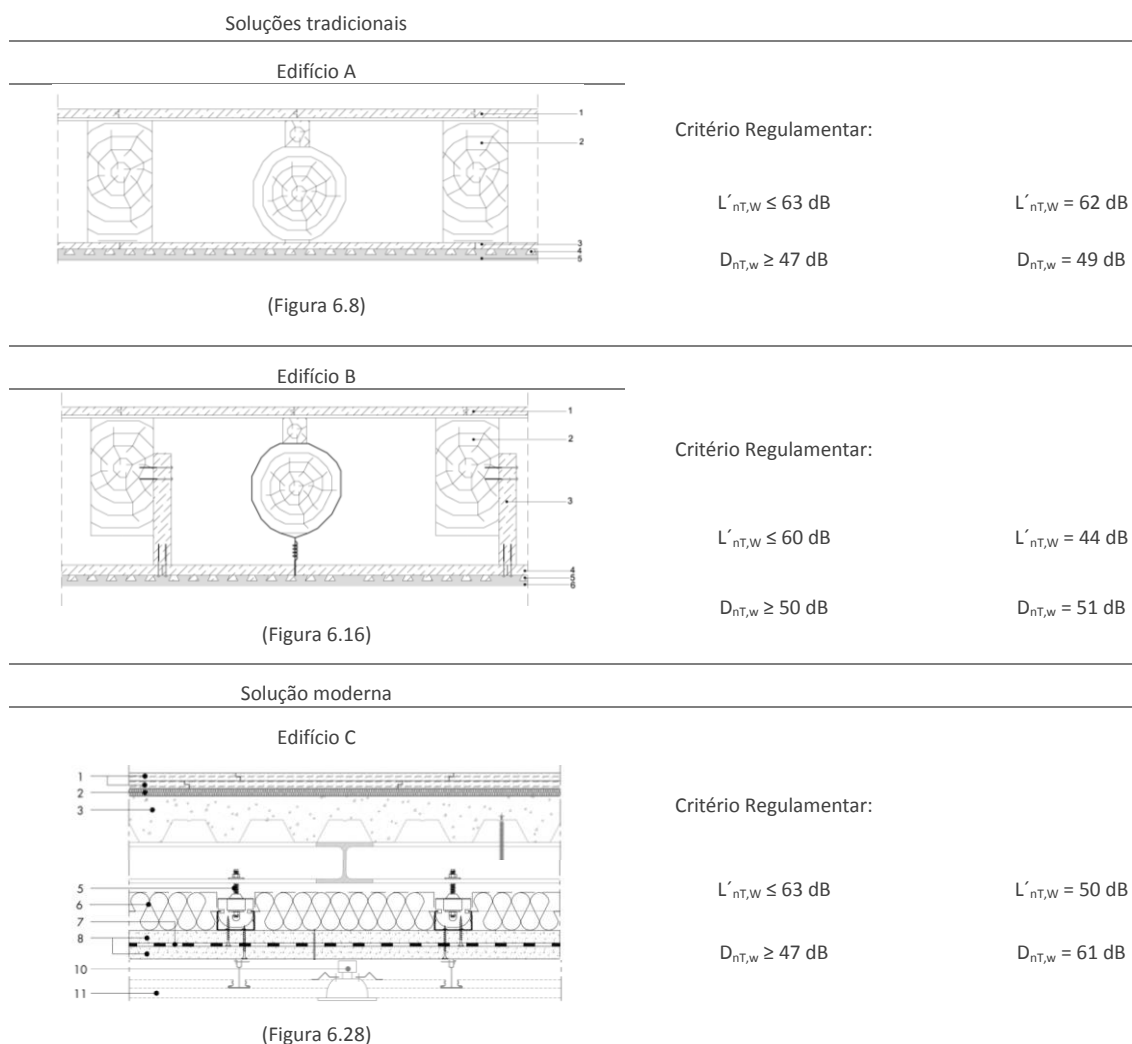


Figura 8.3 – Comparação do comportamento acústico de soluções tradicionais face às actuais.

Verifica-se estarem salvaguardadas as exigências regulamentares associadas ao parâmetro $L'_{nT,W}$ e $D_{nT,W}$ em todos os edifícios ensaiados.

Evidencia-se o cumprimento regulamentar no isolamento a sons de percussão dos elementos tradicionais dos edifícios A e B, em especial do pavimento do edifício B que, sendo uma solução tradicional, apresenta um resultado capaz de competir com as soluções modernas e de cumprir as exigências actuais para o conforto acústico de edifícios.

Esta descoberta é particularmente importante, porque proporciona uma hipótese de beneficiação de pavimentos tradicionais bastante mais sustentável. É evidente que a reabilitação de um pavimento tradicional como o que existe no edifício A através de uma solução assemelhada à que se supõe existir no edifício B permite um aproveitamento dos materiais existentes, o que não é possível em soluções modernas à base de perfis metálicos ou betão armado, materiais com uma quantidade francamente superior de energia incorporada e que são, geralmente, mais pesados, condicionando a estabilidade do edifício.

No entanto, o desempenho destas soluções no isolamento a sons aéreos é modesto. Este facto deve-se não só à permeabilidade dos elementos em causa, como também à inexistência de materiais absorventes sonoros.

Assim, qualquer acção de reabilitação que tenha como intenção preservar os pavimentos em madeira deverá prever acções de beneficiação, com vista à melhoria do seu desempenho acústico.

No caso da total reconstrução do interior do edifício, pela alteração de todas as soluções construtivas iniciais, as exigências acústicas regulamentares expressas pelo RRAE estão dependentes dos processos construtivos actuais de reabilitação.

Podemos ver ordenada na figura que se segue, a contribuição do isolamento a sons aéreos e de percussão, das diferentes soluções de pavimentos entre habitações ensaiadas.

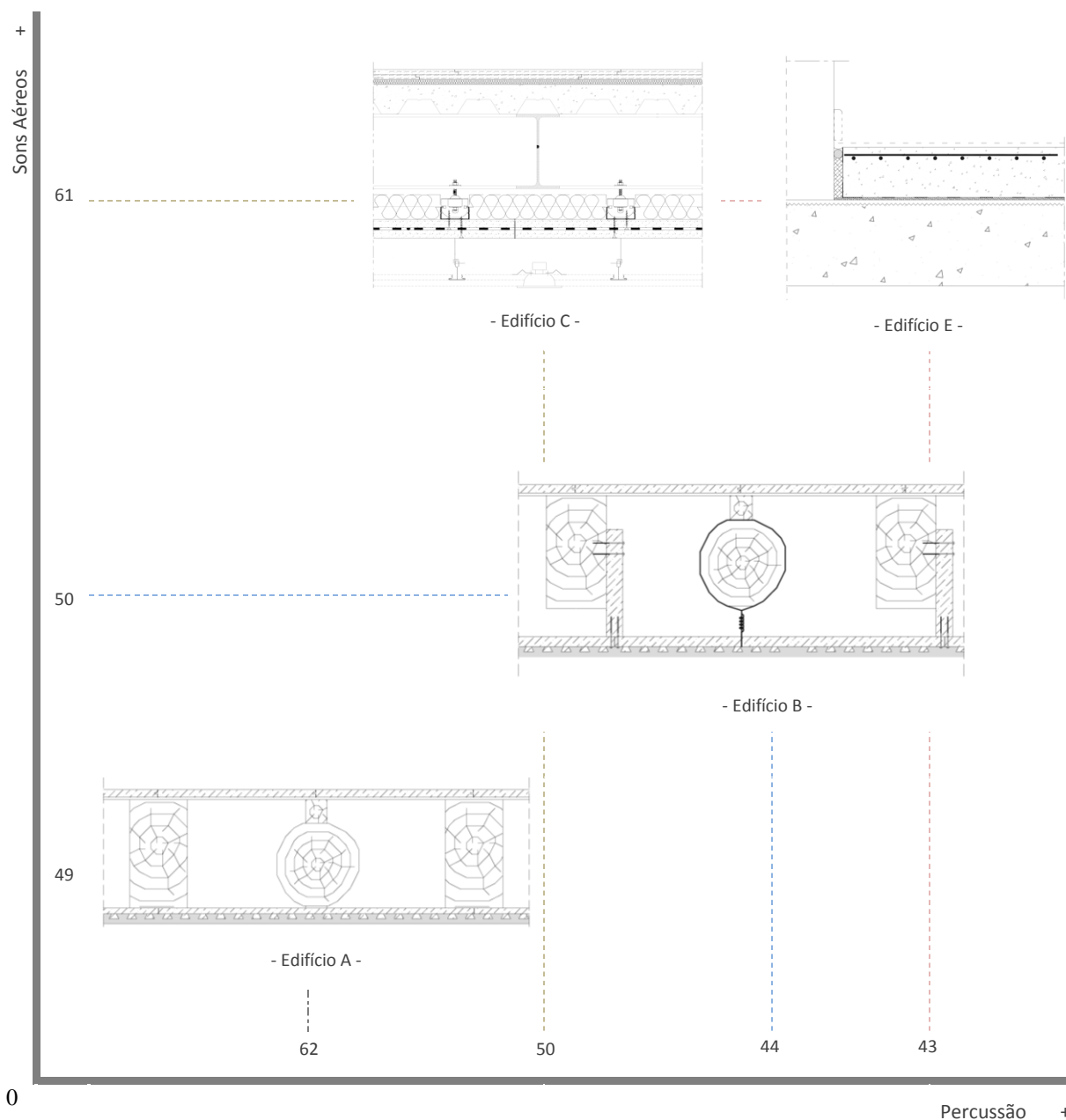


Figura 8.4 – Avaliação quantitativa da contribuição de isolamento sonoro das soluções de pavimentos ensaiados (entre habitações distintas).

Vejamos agora o comportamento das diferentes soluções dos edifícios A, C e E no isolamento a sons de percussão e de condução aérea entre locais destinados a comércio ou serviços e habitações adjacentes de pisos consecutivos:

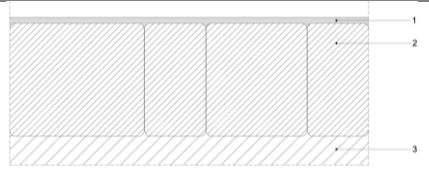

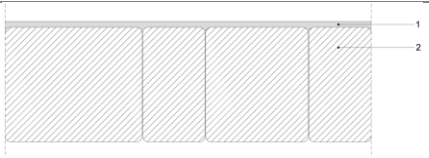
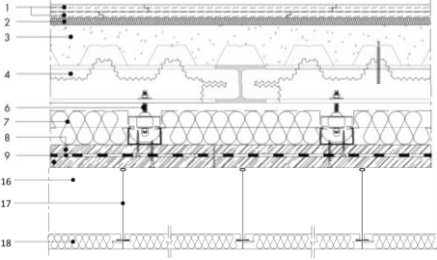
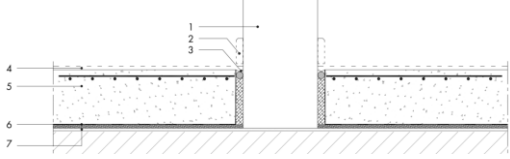
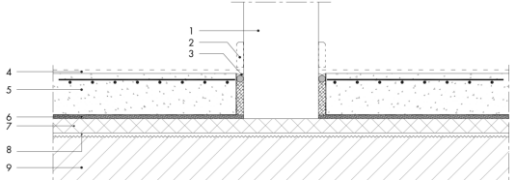
	Critério Regulamentar	Isolamento da solução
Soluções tradicionais		
Edifício A		
 <p>(Figura 6.6)</p>	$L'_{nT,W} \leq 53$ dB	$L'_{nT,W} = 46$ dB
 <p>(Figura 6.7)</p>	$D_{nT,w} \geq 55$ dB	$D_{nT,w} = 33$ dB
Soluções modernas		
Edifício C		
 <p>(Figura 6.26)</p>	$L'_{nT,W} \leq 53$ dB	$L'_{nT,W} = 42$ dB
 <p>(Figura 6.27)</p>	$D_{nT,w} \geq 55$ dB	$D_{nT,w} = 60$ dB
Edifício E (E.1 e E.2)		
 <p>(Figura 6.48)</p>	$L'_{nT,W} \leq 53$ dB	$L'_{nT,W} = 50$ dB $L'_{nT,W} = 46$ dB
 <p>(Figura 6.49)</p>	$D_{nT,w} \geq 55$ dB	$D_{nT,w} = 56$ dB $D_{nT,w} = 53$ dB

Figura 8.5 – Comparação do comportamento acústico de soluções tradicionais face às atuais.

Em conformidade com o RRAE, o valor do parâmetro $L'_{nT,w}$, no interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos como locais receptor, para uma percussão normalizada sobre pavimentos destinados a comércio ou serviços, assume o valor limite de 53 dB para edifícios localizados em zonas históricas e 50 dB para as restantes zonas.

Em conformidade com o RRAE, o valor do parâmetro $D_{nT,w}$, avaliado no interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos com origem em zonas destinadas a comércio ou serviços, assume o valor regulamentar de 55 dB para edifícios localizados em zonas históricas e 58 dB para as restantes zonas.

A geração de uma fonte de percussão em locais de comércio ou serviços, localizados no piso inferior contíguo a quartos ou zonas de estar das habitações, não constitui um entrave à conformidade do parâmetro $L'_{nT,w}$.

O mesmo não acontece relativamente à conformidade do isolamento a sons aéreos, que depende da execução de envolventes especiais (como tectos falsos de elevada absorção sonora).

De modo algum, um pavimento em madeira poderá garantir, por si só, um bom comportamento a sons aéreos entre um fogo e um local desta natureza, vendo-se como única opção a duplicação do elemento horizontal através de tectos falsos com elevada estanquidade e absorção sonora.

As soluções tipicamente usadas como elementos de compartimentação horizontal em edifícios antigos eram o tabique. Porém, esta solução muito dificilmente asseguraria o cumprimento das actuais exigências, quer na função de elemento de separação entre fogos, quer na função de compartimentação de espaços principais do mesmo fogo.

Mais uma vez, as acções de reabilitação reflectem-se na busca de soluções actuais competitivas que se adaptem às soluções construtivas pré-existentes.

Soluções constituídas por camadas leves são bastantes competitivas em reabilitação, uma vez que não implicam duplicar a espessura do elemento para garantir um bom isolamento acústico.

Em conformidade com o RRAE, o valor do parâmetro $D_{nT,w}$, avaliado entre quartos ou zonas de estar dos fogos como locais receptores e compartimentos de um fogo como locais emissores, assume o valor limite de 47 dB para edifícios localizados em zonas históricas e 50 dB para as restantes zonas.

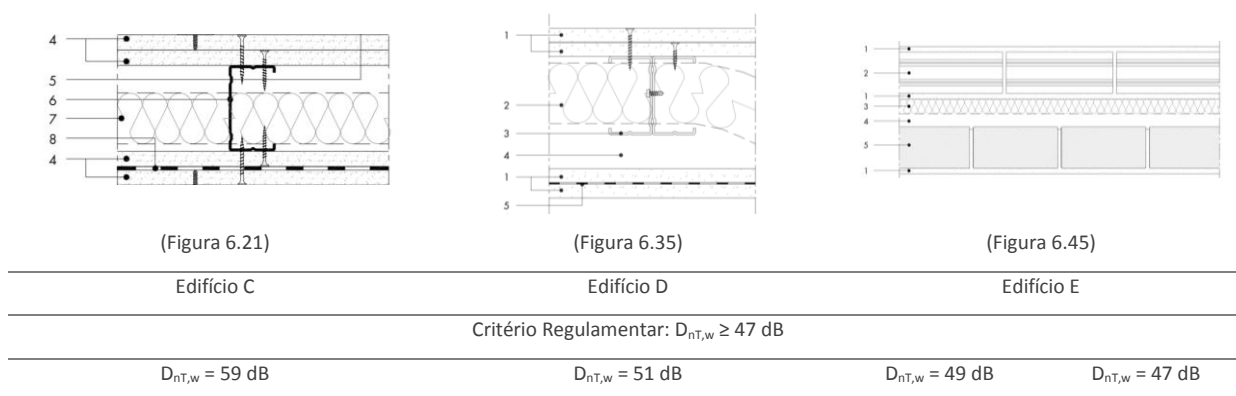


Figura 8.6 – Comparação de soluções de reabilitação actuais.

Verifica-se estarem salvaguardadas as actuais exigências de isolamento sonoro entre habitações distintas do mesmo piso, em todos os casos ensaiados.

8.2 RECOMENDAÇÕES

Pelo que foi exposto, parece sensato adoptar, na prática da reabilitação em edifícios antigos com exigências particulares de protecção histórica, as seguintes soluções construtivas, sempre que sejam exequíveis.

8.2.1 VÃOS ENVIDRAÇADOS

Conservar o princípio da caixilharia existente, substituindo o vidro simples por vidro duplo associado a portada interior:

- Vidro duplo com dois panos de espessuras distintas e caixa-de-ar ($R_w \geq 38$ dB)
- Tratamento das juntas dos vãos com materiais absorventes (ver figura 8.8 a figura 8.13)
- Adaptação de portadas interiores de elevada absorção sonora (ver figura 8.14)
- Introdução de segunda caixilharia interior associada a portada (ver figura 8.15)

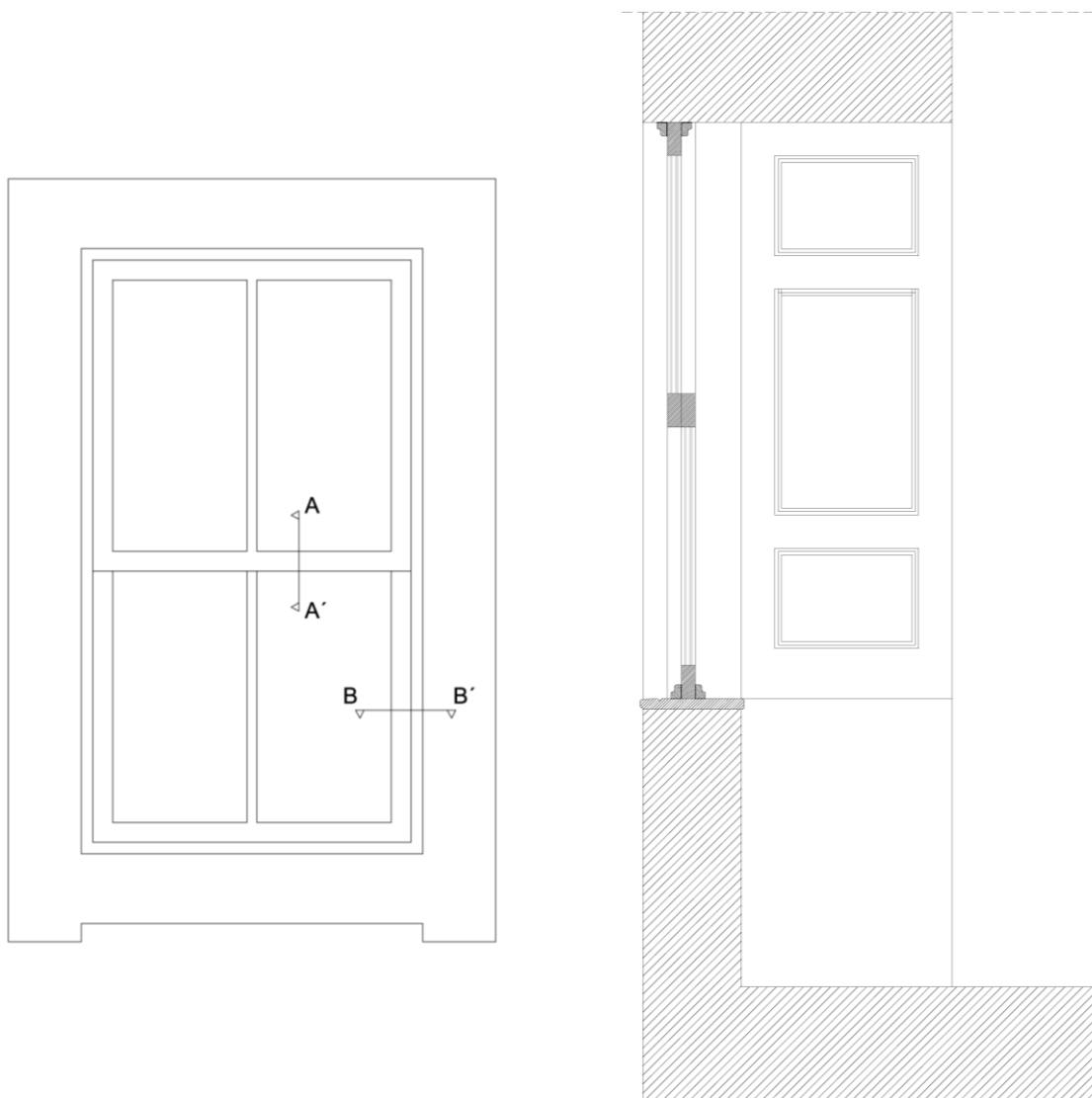
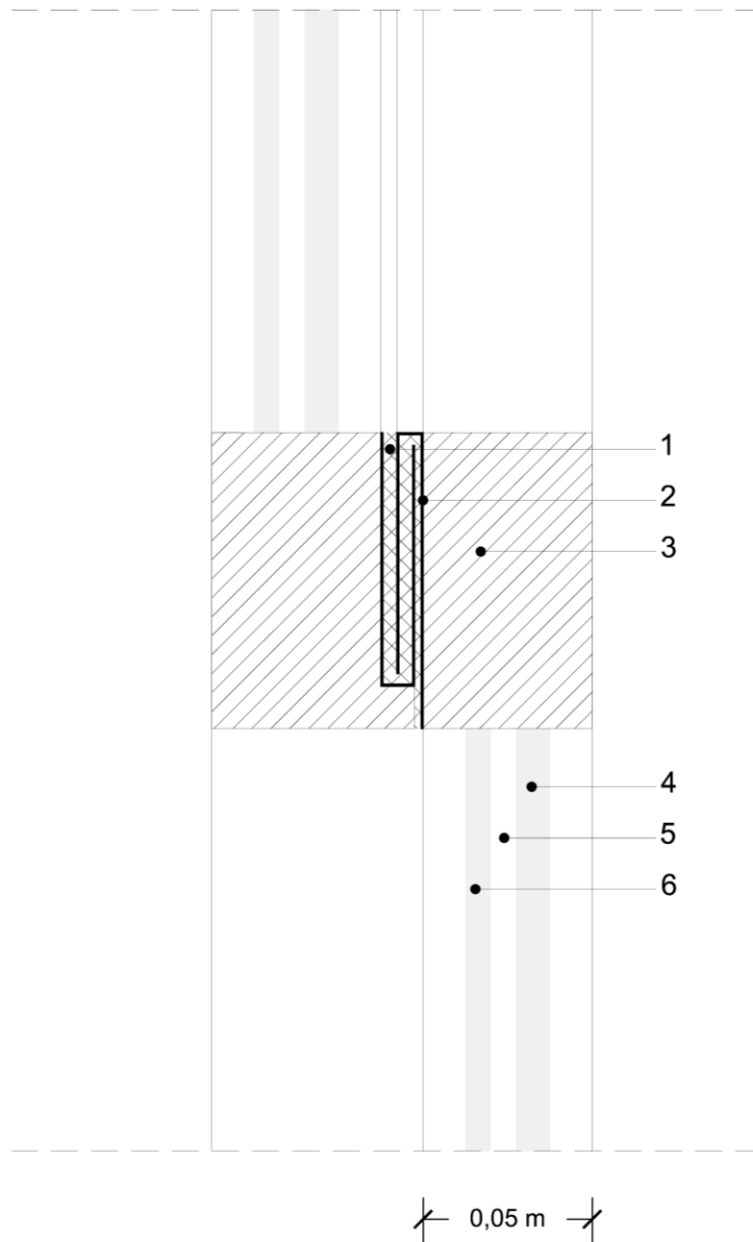


Figura 8.7 – Alçado e corte vertical de uma janela em guilhotina típica do edificado em estudo.

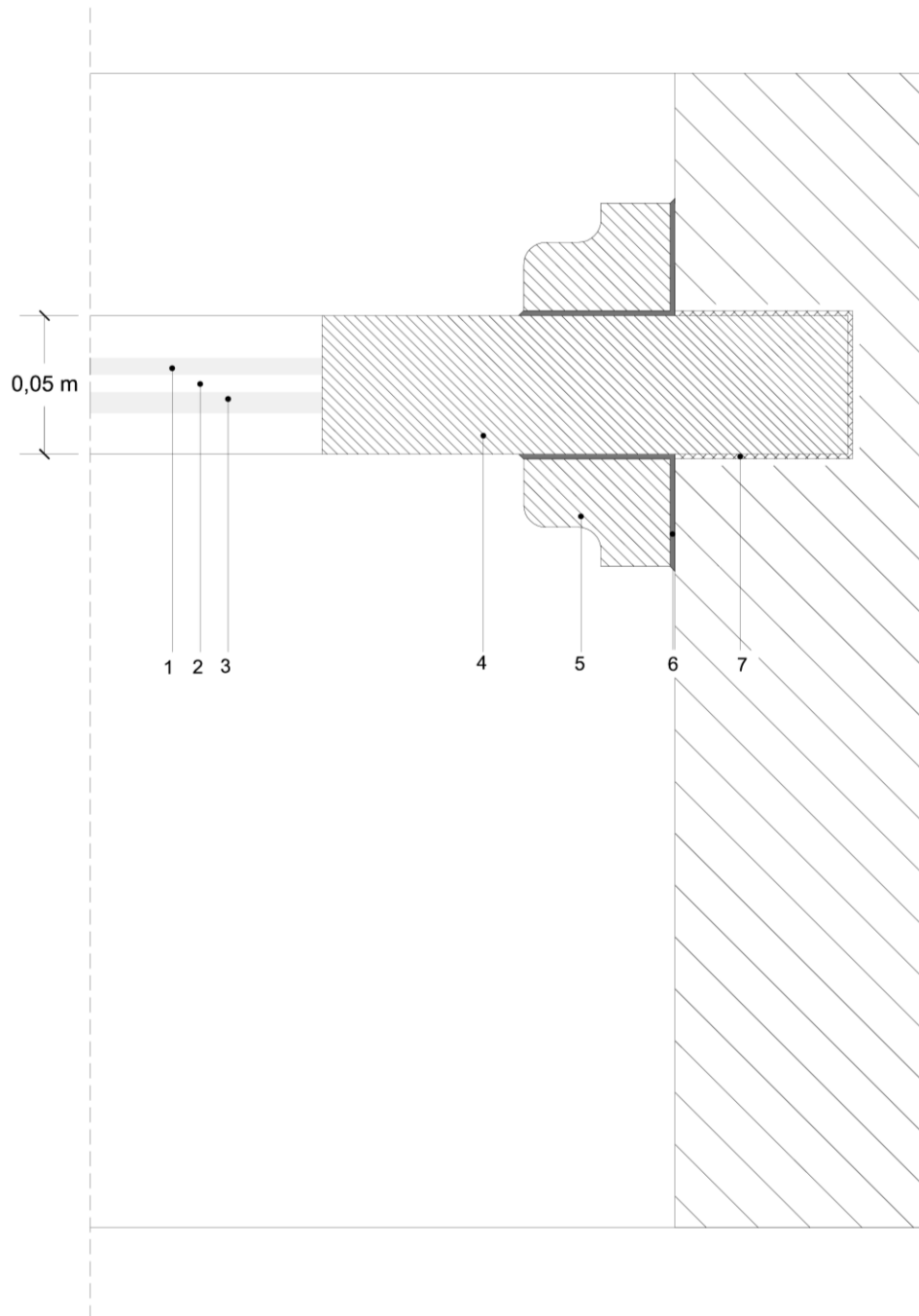


Corte vertical - Pormenor AA' -

Legenda:

1. Material absorvente sonoro
2. Encaixe metálico
3. Caixilho em madeira
4. Vidro simples com 8 mm de espessura
5. Caixa-de-ar estanque com 6 mm de espessura
6. Vidro simples com 4 mm de espessura

Figura 8.8 – Esquema de execução do pormenor AA' da janela em guilhotina.



Corte horizontal - Pormenor BB' -

Legenda:

1. Vidro simples com 4 mm de espessura
2. Caixa-de-ar estanque com 6 mm de espessura
3. Vidro simples com 8 mm de espessura
4. Caixilho em madeira
5. Batente mata-juntas em madeira
6. Material resiliente vedante
7. Material absorvente sonoro

Figura 8.9 – Esquema de execução do pormenor BB' da janela de guilhotina.

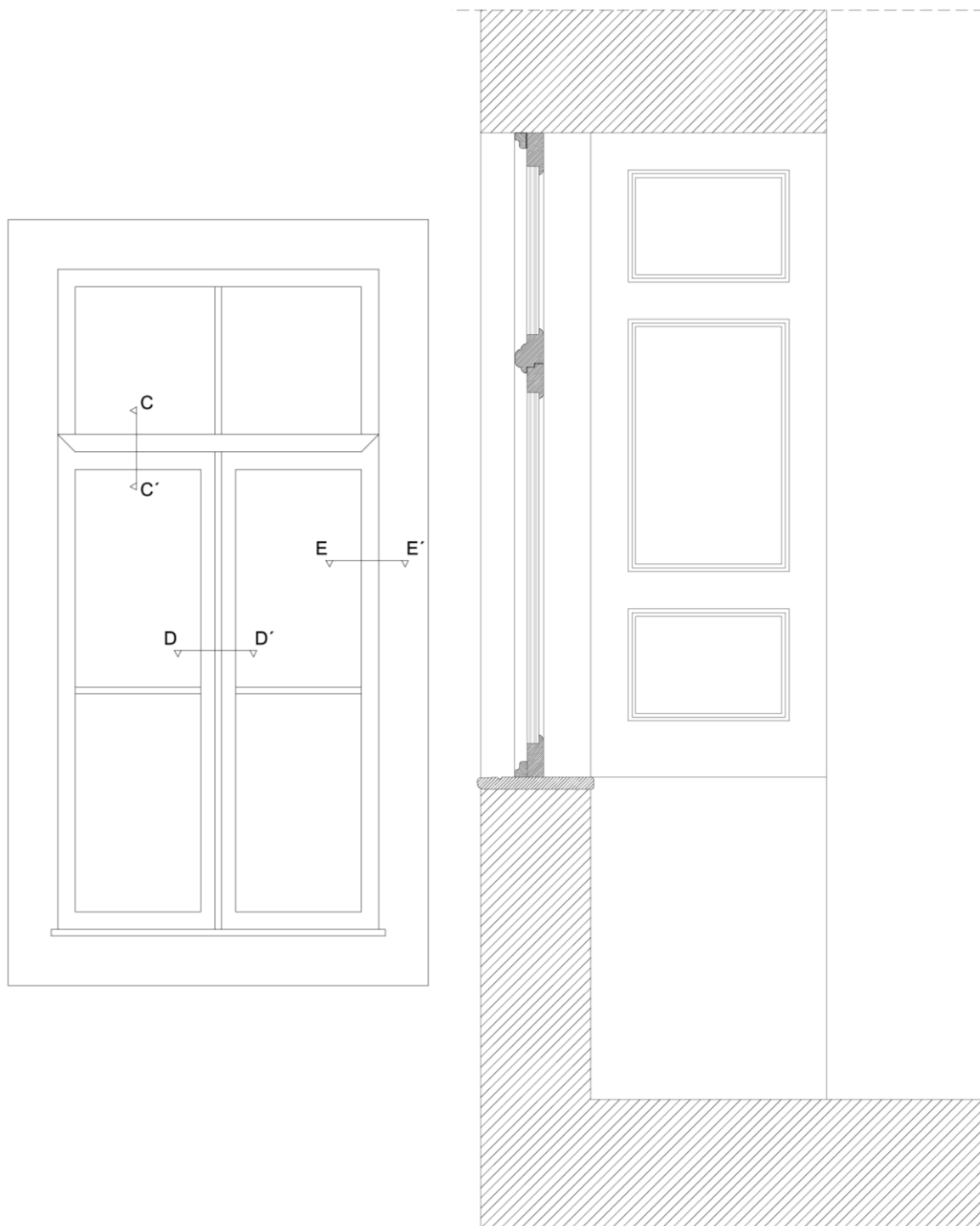
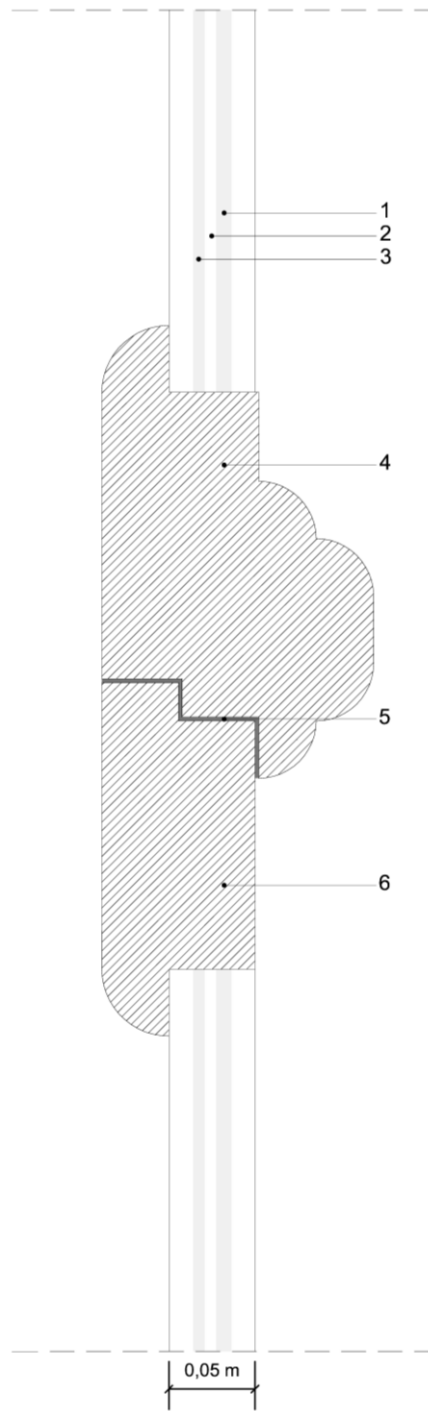


Figura 8.10 – Alçado e corte vertical de uma janela de peito de batente típica do edificado em estudo.

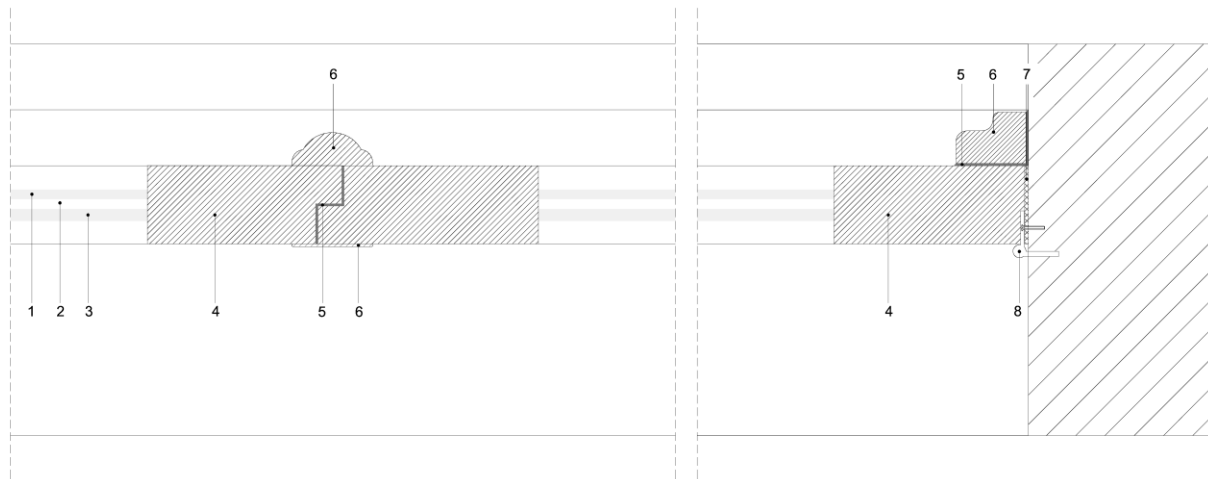


Corte vertical - Pormenor CC' -

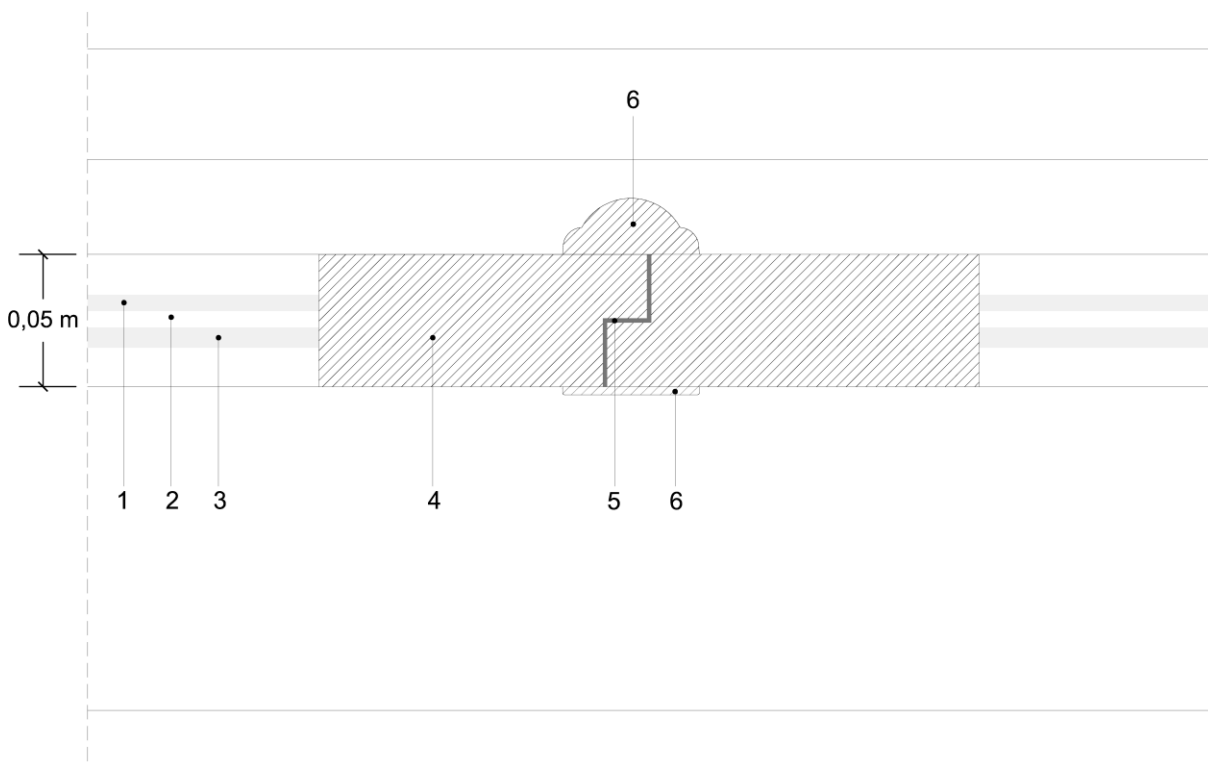
Legenda:

1. Vidro simples com 8 mm de espessura
2. Caixa-de-ar estanque com 6 mm de espessura
3. Vidro simples com 4 mm de espessura
4. Travessa inferior do caixilho da bandeira em madeira
5. Material elástico e absorvente sonoro
6. Caixilho superior em madeira

Figura 8.11 – Esquema de execução do pormenor CC' da janela de peito de batente.



Corte horizontal - DD' e EE' -

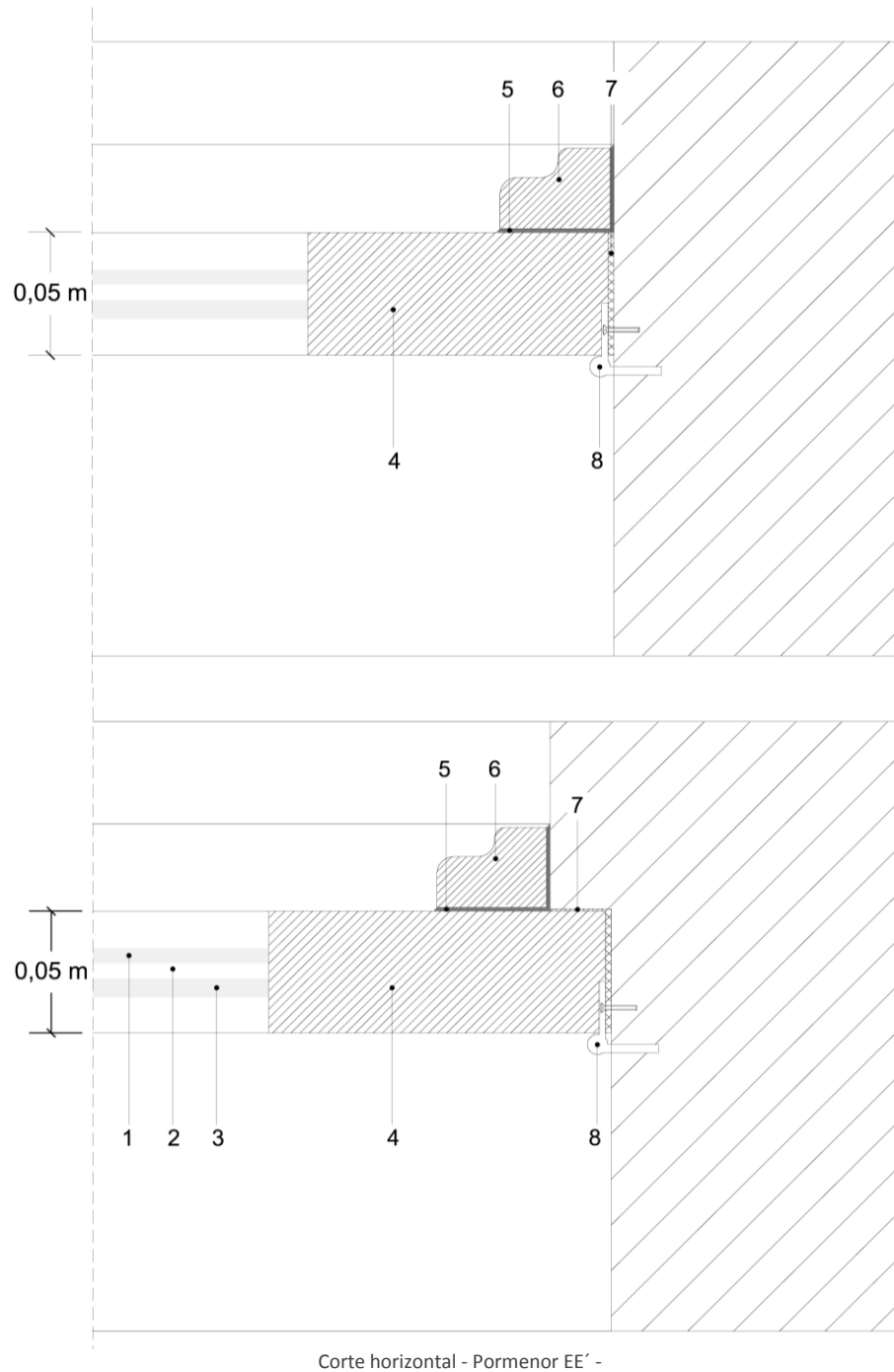


Corte horizontal - Pormenor DD' -

Legenda:

1. Vidro simples com 4 mm de espessura
2. Caixa-de-ar estanque com 6 mm de espessura
3. Vidro simples com 8 mm de espessura
4. Caixilho em madeira
5. Material resiliente vedante
6. Batente mata-juntas em madeira
7. Material elástico e absorvente sonoro
8. Dobradiça metálica

Figura 8.12 – Esquema de execução do pormenor DD' da janela de peito de batente.

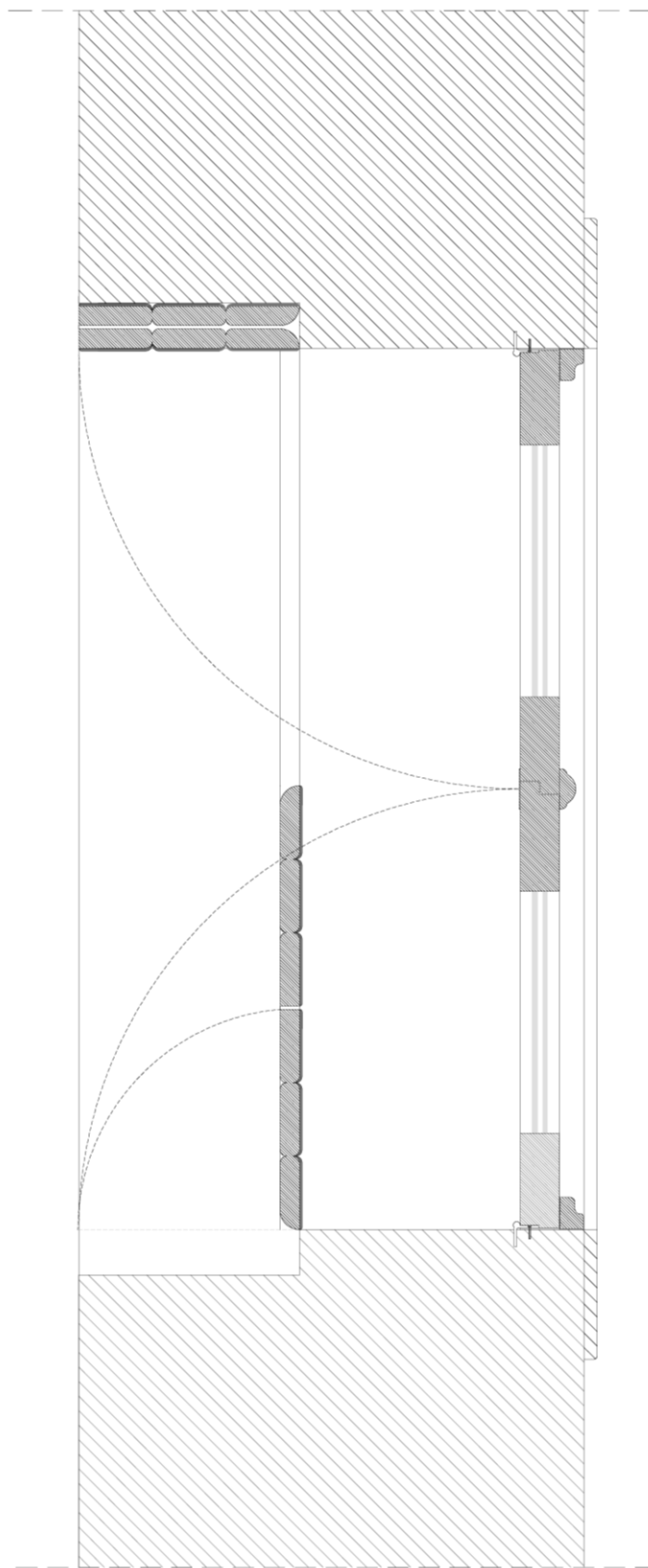


Corte horizontal - Pormenor EE' -

Legenda:

1. Vidro simples com 4 mm de espessura
2. Caixa-de-ar estanque com 6 mm de espessura
3. Vidro simples com 8 mm de espessura
4. Caixilho em madeira
5. Material resiliente vedante
6. Batente mata-juntas em madeira
7. Material elástico e absorvente sonoro
8. Dobradiça metálica

Figura 8.13 – Esquema de execução do pormenor EE' da janela de peito de batente.



Corte horizontal

Figura 8.14 – Reabilitação de uma peça de caixilharia típica do Centro Histórico do Porto.

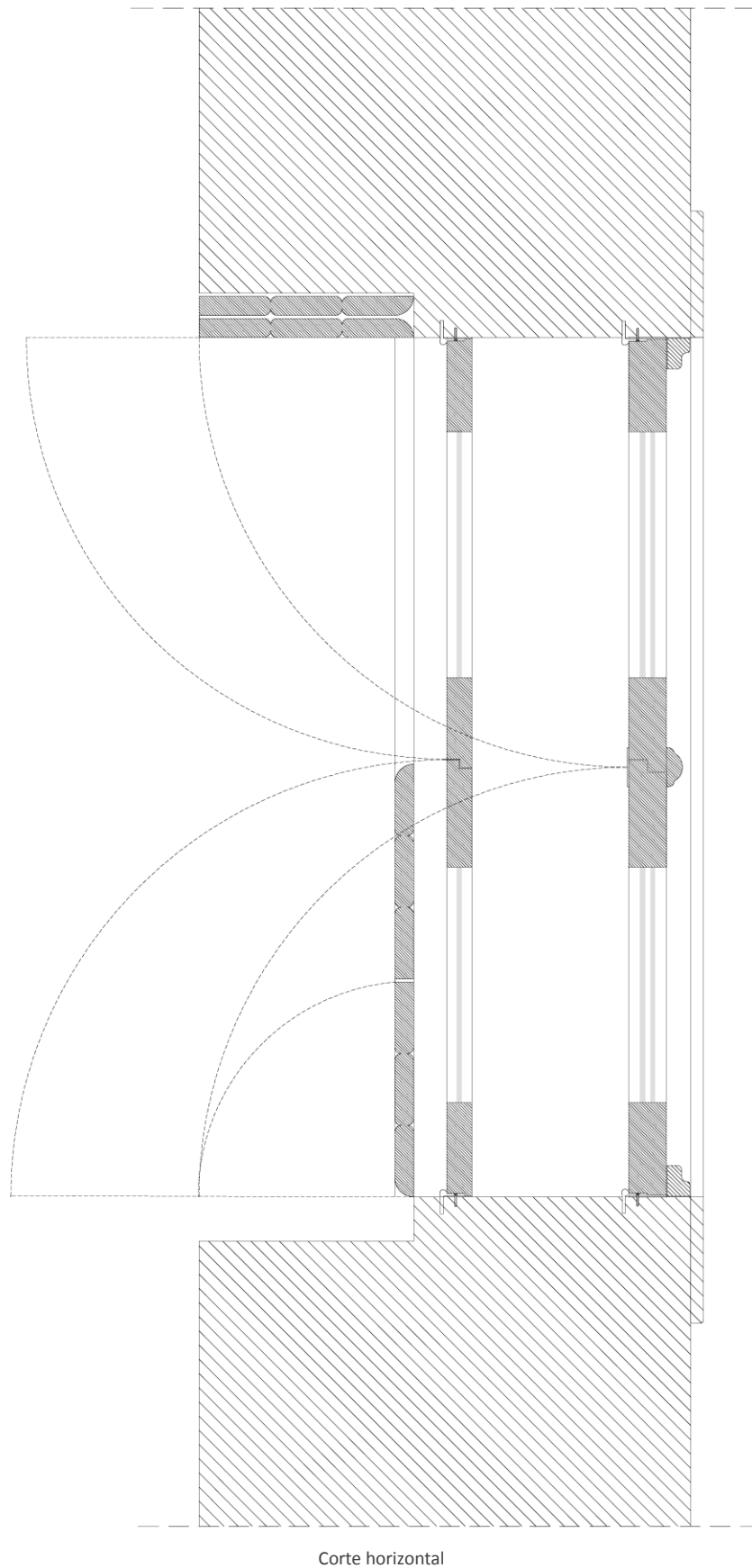
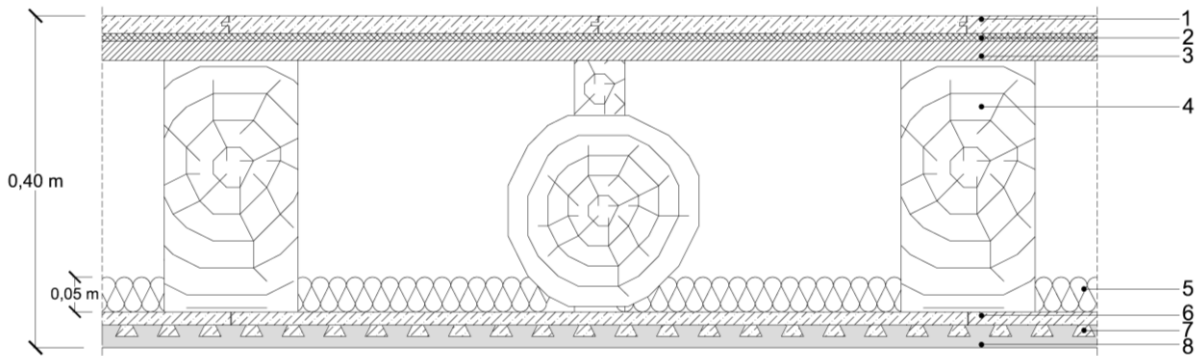


Figura 8.15 – Reabilitação de uma peça de caixilharia típica do Centro Histórico do Porto.

8.2.2 PAVIMENTOS

Pavimento tradicional típico associado a isolamento sonoro e camada resiliente.

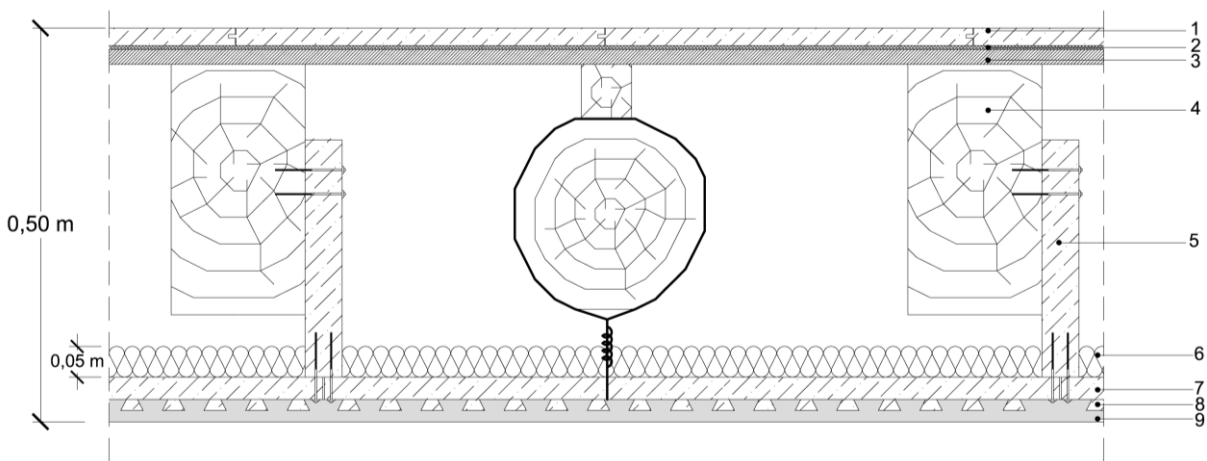
- Pavimento tradicional típico associado a painel rígido de lã mineral e pavimento flutuante (ver figura 8.16)
- Pavimento tradicional representado na figura 6.16 com painel rígido de lã mineral e pavimento flutuante (ver figura 8.17)



Legenda:

- | | |
|------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1. Revestimento superficial em madeira | 5. Painel rígido de lã mineral |
| 2. Complexo resiliente | 6. Tabuado em madeira |
| 3. Painel compósito de madeira e cimento | 7. Fasquio |
| 4. Viga estrutural em madeira | 8. Argamassa de enchimento, estucado e pintado |

Figura 8.16 – Esquema de pavimento tradicional reforçado com material resiliente e absorvente sonoro.



Legenda:

- | | |
|------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1. Revestimento superficial em madeira | 5. Suspensor em madeira |
| 2. Complexo resiliente | 6. Painel rígido de lã mineral |
| 3. Painel compósito de madeira e cimento | 7. Tabuado em madeira |
| 4. Viga estrutural em madeira | 8. Fasquio |
| | 9. Argamassa de enchimento, estucado e pintado |

Figura 8.17 – Esquema de pavimento tradicional reforçado com material resiliente e absorvente sonoro.

8.3 SÍNTESE DE CONCLUSÕES

A maior dificuldade do isolamento acústico de fachadas é a existência de envidraçados, pelo que o enfoque da análise deve centrar-se nas caixilharias.

Os resultados obtidos indicam que métodos de reabilitação modernos, como o tratamento das juntas com materiais absorventes sonoros ou a aplicação de vidros duplos, podem ser vantajosos na melhoria do comportamento acústico de edifícios reabilitados, originando valores regulamentarmente aceitáveis.

Ainda assim, os resultados apontam que soluções novas, como caixilharias de alumínio, produzem resultados ainda mais benéficos, pelo que devem ser usadas, quando possível.

Concluiu-se, ainda, que a reabilitação de pavimentos tradicionais com recurso a métodos pouco intrusivos, pode assegurar comportamentos acústicos que tornam as soluções competitivas.

8.4 PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A continuação natural deste trabalho seria a realização de medições num grupo mais alargado de edifícios alvo de acções de reabilitação e no seu estado original, clarificando as tecnologias construtivas avaliadas, com vista à sugestão de soluções.

Neste seguimento, seria pertinente avaliar as aproximações que são realizadas por programas de cálculo teóricos relativamente aos resultados reais obtidos nas medições *in situ*.

Seria útil a elaboração de um guia de termos de referência para o desempenho acústico, baseado na reabilitação das soluções tradicionais do Centro Histórico do Porto, eventualmente em parceria com a Porto Vivo, SRU, de modo a tirar partido do conhecimento adquirido na prática da reabilitação no Centro Histórico.

Também adequado seria o desenvolvimento de um trabalho centrado na avaliação do isolamento sonoro de fachadas, pela realização de ensaios em laboratório de soluções de caixilharias tradicionais reabilitadas.

A regulamentação em vigor falha na abrangência, não se adaptando como seria de desejar às intervenções de reabilitação em centros históricos, que, pela sua urgência urbanística e cultural, exigem condições especiais. Daí que a elaboração de uma análise centrada nas particularidades das exigências regulamentares e nas condições da sua aplicação a edifícios reabilitados fosse também uma perspectiva interessante.

Por fim, seria interessante realizar trabalhos desta natureza noutros centros históricos, com características e modos de construção próprios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Rios, P. *Passeio pelo Porto que Não se Deixa Escutar*. Jornal Público, 17/01/2010.
- [2] Fernandes, J. A. R. *Cidade do Porto e Área Metropolitana do Porto: Realidades e Desafios*. História - Revista da faculdade de letras, 2000, Faculdade de Letras, Porto.
- [3] Fernandes, J. A. R. *Reabilitação de Centros Históricos e Reutilização da Cidade: o Caso de Porto-Gaia*. Artigo não publicado, Porto, 2006.
- [4] Pereira, C. M. P. *O Posicionamento do Novo Modelo de Acção da Baixa do Porto*. Dissertação de Mestrado, 2008.
- [5] Oliveira, P. - *Levantamento Fotográfico Aéreo*. Gaiurb, E. M. 2003.
- [6] Candé, R. *História Universal da Música*. Edições Afrontamento, Porto, 2003.
- [7] Henrique, L. L. *Acústica Musical*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2002.
- [8] Wikipédia - Acoustics (http://en.wikipedia.org/wiki/Acoustics#Early_research_in_acoustics). Acedido em 11 de Março de 2010.
- [9] Carvalho, A. P. O. d. *Texto de Apoio à Disciplina de Acústica Ambiental e de Edifícios*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2007.
- [10] *Constituição da República*. - VII Revisão - Assembleia da República. 2005.
- [11] Rocha, I.; Vieira, D. *Ruído*. Porto Editora, Porto, 1997.
- [12] Colecção Regulamentos. *Regulamento Geral sobre o Ruído*. Porto Editora, Porto, 2004.
- [13] *Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro*. - Diário da República - 1.ª Série - N.º 12. 2007.
- [14] *Decreto-Lei n.º 129/2002 de 11 de Maio*. - Diário da República - 1.ª Série-A N.º 109. 2002.
- [15] *Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho*. - Diário da República - 1.ª Série - N.º 110. 2008.
- [16] Beranek, L. L. *Acoustics*. McGraw - Hill Book Company, Nova Iorque, 1954.
- [17] Silva, P. M. d. *A Componente Acústica na Reabilitação de Edifícios de Habitação*. LNEC, Lisboa, 1998.
- [18] Wikipédia - Weighting Filter (http://en.wikipedia.org/wiki/Weighting_filter). Acedido em 15 de Março de 2010.
- [19] Patrício, J. *Acústica de Edifícios*. Verlag Dashöfer, Lisboa, 2008.
- [20] NP EN ISO 140-4. 2000. *Medição do Isolamento Sonoro de Edifícios e de Elementos de Construção*. IPQ.
- [21] NP EN ISO 717-1. 2009. *Determinação do Isolamento Sonoro em Edifícios e de Elementos de Construção*. IPQ.
- [22] NP EN ISO 140-5. 2000. *Medição do Isolamento Sonoro de Edifícios e de Elementos de Construção* IPQ.

[23] NP EN ISO 140-7. 2008. *Medição do Isolamento Sonoro de Edifícios e de Elementos de Construção*. IPQ.

[24] NP EN ISO 717-2. 2009. *Determinação do Isolamento Sonoro em Edifícios e de Elementos de Construção*. IPQ.

[25] Guia de Termos e Referência para o Desempenho Energético-Ambiental. *Reabilitação de Edifícios do Centro Histórico do Porto*. Porto Vivo, SRU - Sociedade de Reabilitação Urbana da Baixa Portuense S.A., Porto, 2010.

[26] 3M2P - *Construção e Reabilitação de Edifícios, Lda*. Porto.

[27] Teixeira, J. J. L. *Descrição do Sistema Construtivo da Casa Burguesa do Porto entre os Séculos XVII e XIX*. Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica, Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto, 2004.

[28] Lopes, N. V. R. *Reabilitação de Caixilharias de Madeira em Edifícios do Século XIX e Início do Século XX*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Reabilitação do Património Edificado Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006.

[29] Costa, L. F. S. *Tipificação de Soluções de Reabilitação de Pavimentos Estruturais em Madeira em Edifícios Antigos*. Tese de Mestrado Integrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

[30] SOPSEC S.A. - *Projecto de Condicionamento Acústico*. Porto.

[31] Skyscrapercity (<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=494280>). Acedido em 09 de Junho de 2010.

[32] *Carta de Condicionantes do PDM do Porto em vigor*. <http://sigweb.cm-porto.pt/MIPWEB>, Acedido em 10 de Junho de 2010

OBRAS NÃO CITADAS

Patrício, J. *Reabilitação Acústica*. Verlag Dashöfer, Lisboa, 2008.

Recuero Lopez, M. *Acústica Arquitectónica Aplicada*. Paraninfo, Madrid, 1999.

Silva, P. M. d. *Acústica nos Edifícios*. LNEC, Lisboa, 1998.

ANEXO A – BOLETINS DE ENSAIO

Projecto Edifício A

Isolamento sonoro normalizado de acordo com a norma ISO 140-5

Medições *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas

Data de realização do ensaio: 23-04-2010

Compartimento receptor: Sala (fracção A)

Volume: 116,2 m³Área do Elemento a ensaiar: 25,8 m²T₀: 0,5 s

Observações:

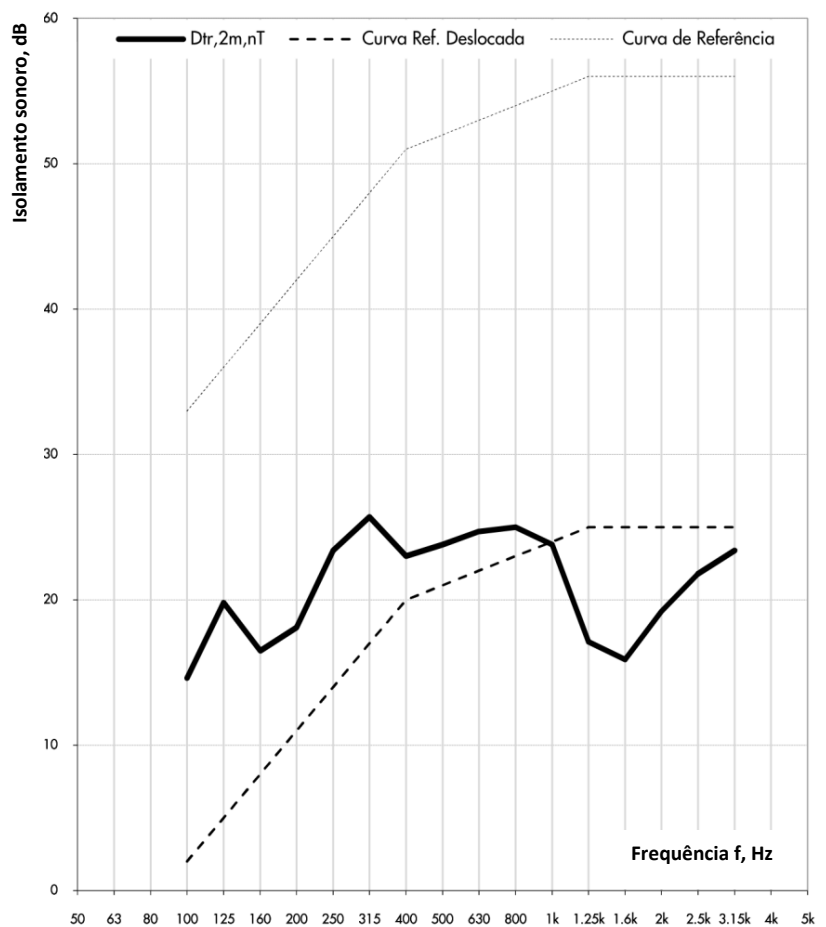
O presente ensaio serve para caracterizar o isolamento sonoro a sons de condução aérea do elemento de fachada do compartimento sala.

Uma vez que o edifício em questão se encontra em utilização, todos os compartimentos estão finalizados. O compartimento em estudo encontra-se decorado com mobiliário permanente.

No decorrer dos ensaios o compartimento encontrava-se vazio, sendo ocupado apenas pelo operador dos equipamentos de medição.

Foram respeitadas, sempre que possível, as distâncias, os números e as durações máximas e mínimas de medição.

Frequência Hz	D _{tr,2m,nT} dB (1/3 de oitava)
50	
63	
80	
100	14,6
125	19,8
160	16,5
200	18,1
250	23,4
315	25,7
400	23,0
500	23,8
630	24,7
800	25,0
1 000	23,8
1 250	17,1
1 600	15,9
2 000	19,2
2 500	21,8
3 150	23,4
4 000	
5 000	



$$D_{tr,2m,nT,w}(C;C_{tr}) = 21 (-1;-1) \text{ dB}$$

(Cálculo de acordo com a norma ISO 717-1)

Projecto Edifício A

Isolamento sonoro normalizado de acordo com a norma ISO 140-4

Medições *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos

Data de realização do ensaio: 23-04-2010

Compartimento emissor: Quarto (fracção B)

Volume: 119,4 m³

Compartimento receptor: Sala (fracção A)

Volume: 116,2 m³Área do Elemento a ensaiar: 28,4 m²T₀: 0,5 s

Observações:

O presente ensaio serve para caracterizar o isolamento sonoro a sons de condução aérea do elemento de separação de habitações distintas de pisos consecutivos.

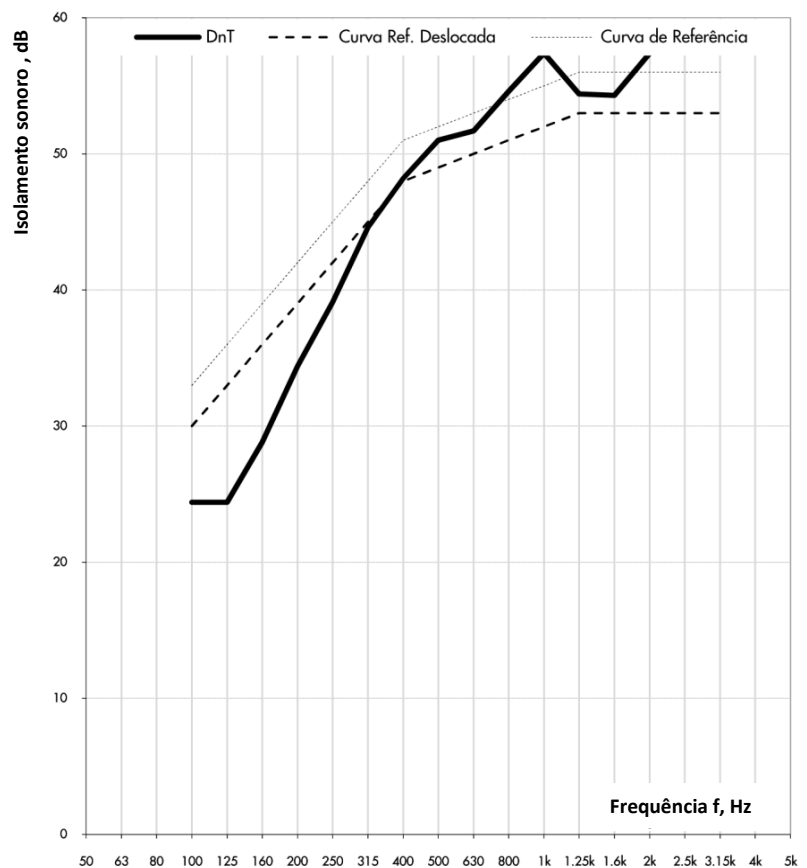
Uma vez que o edifício em questão se encontra em utilização, todos os compartimentos estão finalizados. O compartimento em estudo encontra-se decorado com mobiliário permanente.

No decorrer dos ensaios o compartimento encontrava-se vazio, sendo ocupado apenas pelo operador dos equipamentos de medição.

Foram respeitadas, sempre que possível, as distâncias, os números e as durações máximas e mínimas de medição.

Frequência Hz	D _{nT} dB (1/3 de oitava)
50	
63	
80	
100	24,4
125	24,4
160	28,8
200	34,4
250	39,1
315	44,6
400	48,2
500	51,0 *
630	51,7 *
800	54,6 *
1 000	57,4 *
1 250	54,4
1 600	54,3
2 000	57,4
2 500	58,4
3 150	58,8
4 000	
5 000	

* Aplicada correcção do ruído de fundo

**D_{nT,w} = 49 dB**

(Cálculo de acordo com a norma ISO 717-1)

Projecto Edifício A

Isolamento sonoro normalizado de acordo com a norma ISO 140-7

Medições *in situ* do isolamento sonoro a sons de percussão

Data de realização do ensaio: 23-04-2010

Compartimento emissor: Quarto (fracção B)

Volume: 119,4 m³

Compartimento receptor: Sala (fracção A)

Volume: 116,2 m³Área do Elemento a ensaiar: 28,4 m²T₀: 0,5 s

Observações:

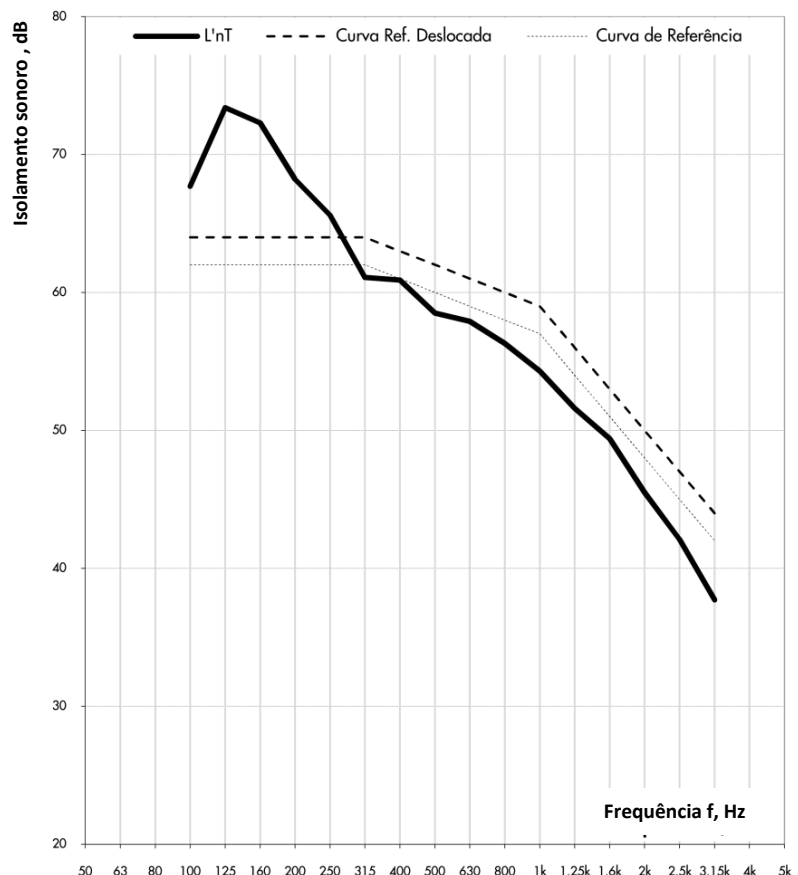
O presente ensaio serve para caracterizar o isolamento sonoro a sons de percussão entre habitações distintas de pisos consecutivos.

Uma vez que o edifício em questão se encontra em utilização, todos os compartimentos estão finalizados. O compartimento em estudo encontra-se decorado com mobiliário permanente.

No decorrer dos ensaios o compartimento receptor encontrava-se ocupado apenas pelo operador dos equipamentos de medição.

Foram respeitadas, sempre que possível, as distâncias, os números e as durações máximas e mínimas de medição.

Frequência Hz	L' _{nT} dB (1/3 de oitava)
50	
63	
80	
100	67,7
125	73,4
160	72,3
200	68,2
250	65,6
315	61,1
400	60,9
500	58,5
630	57,9
800	56,3
1 000	54,3
1 250	51,6
1 600	49,4
2 000	45,5
2 500	42,1
3 150	37,7
4 000	
5 000	



$$L'_{nT,w} = 62 \text{ dB}$$

(Cálculo de acordo com a norma ISO 717-2)

Projecto Edifício A

Tempo de reverberação de acordo com a norma ISO 3382-2

Determinação do tempo de reverberação

Data de realização do ensaio: 23-04-2010

Compartimento receptor: Sala (fracção A)

Volume: 116,2 m³

Observações:

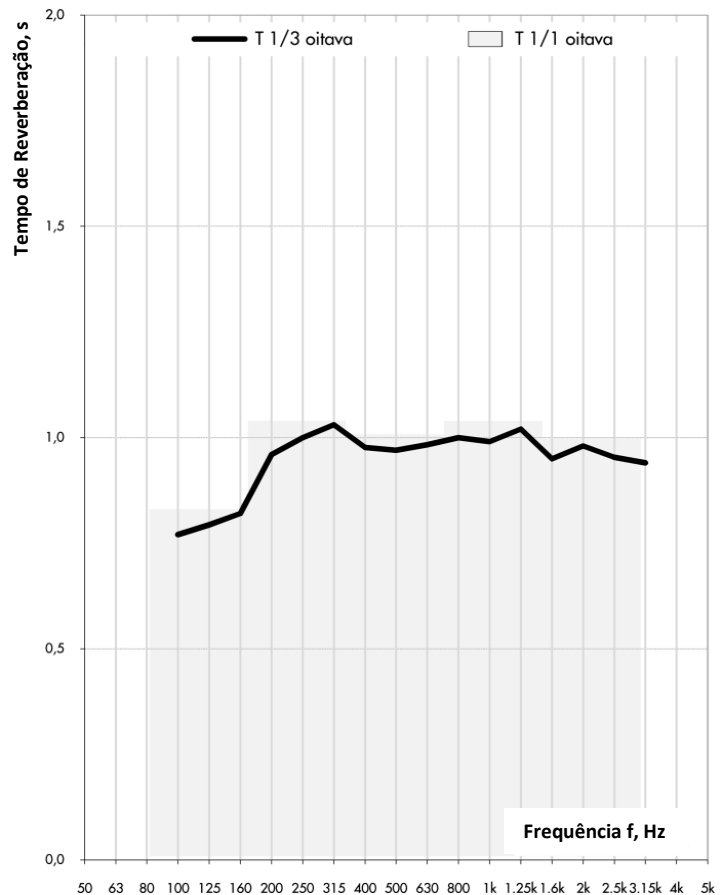
O presente ensaio serve para determinar o valor do tempo de reverberação do compartimento sala.

Uma vez que o edifício em questão se encontra em utilização, todos os compartimentos estão finalizados. O compartimento em estudo encontra-se decorado com mobiliário permanente.

No decorrer dos ensaios o compartimento receptor encontrava-se ocupado apenas pelo operador dos equipamentos de medição.

Foram respeitadas, sempre que possível, as distâncias, os números e as durações máximas e mínimas de medição.

Frequência Hz	T s (1/3 de oitava)	T s (1/1 de oitava)
50		
63		
80		
100	0,77	
125	0,79	0,81
160	0,82	
200	0,96	
250	1,00	1,01
315	1,03	
400	0,98	
500	0,97	0,98
630	0,98	
800	1,00	
1 000	0,99	1,01
1 250	1,02	
1 600	0,95	
2 000	0,98	0,97
2 500	0,95	
3 150	0,94	
4 000		
5 000		



T_{500Hz-2kHz} (RRAE) = 0,99 s

Projecto Edifício A

Isolamento sonoro normalizado de acordo com a norma ISO 140-4

Medições *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos

Data de realização do ensaio: 23-04-2010

Compartimento emissor: Loja

Volume: 793,6 m³

Compartimento receptor: Quarto (fracção A)

Volume: 107,7 m³Área do Elemento a ensaiar: 30,2 m²T₀: 0,5 s

Observações:

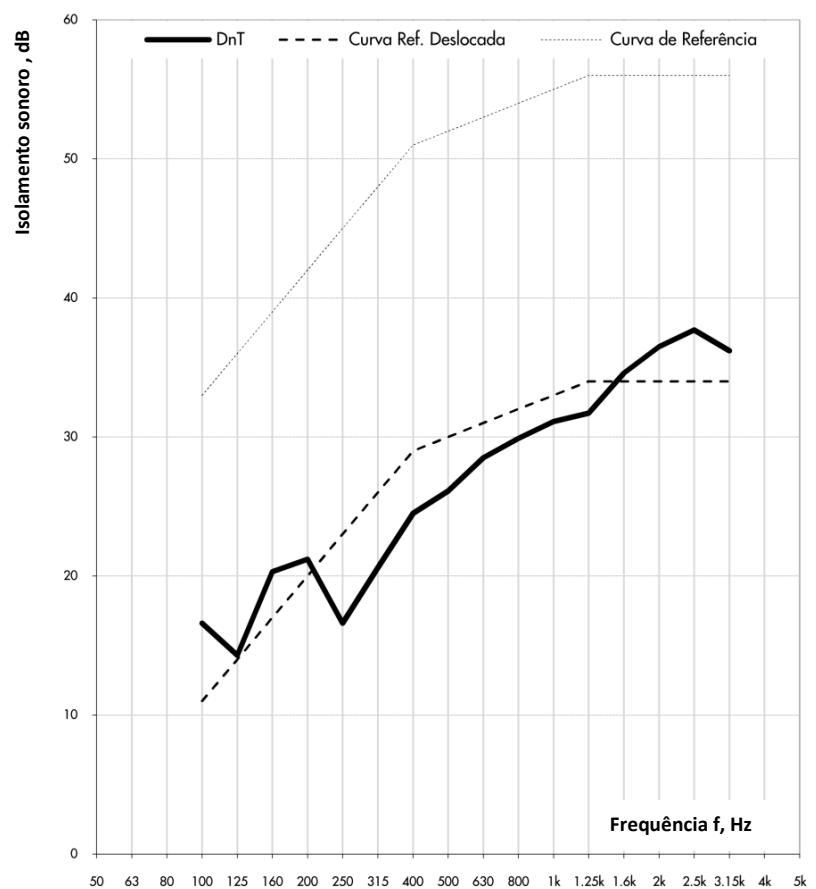
O presente ensaio serve para caracterizar o isolamento sonoro a sons de condução aérea do elemento de separação entre a loja e habitação de pisos consecutivos.

Uma vez que o edifício em questão se encontra em utilização, todos os compartimentos estão finalizados. O compartimento em estudo encontra-se decorado com mobiliário permanente.

No decorrer dos ensaios o compartimento receptor encontrava-se ocupado apenas pelo operador dos equipamentos de medição.

Foram respeitadas, sempre que possível, as distâncias, os números e as durações máximas e mínimas de medição.

Frequência Hz	D _{nT} dB (1/3 de oitava)
50	
63	
80	
100	16,6
125	14,3
160	20,3
200	21,2
250	16,6
315	20,6
400	24,5
500	26,1
630	28,5
800	29,9
1 000	31,1
1 250	31,7
1 600	34,6
2 000	36,5
2 500	37,7
3 150	36,2
4 000	
5 000	

**D_{nT,w} = 30 dB**

(Cálculo de acordo com a norma ISO 717-1)

Projecto Edifício A

Isolamento sonoro normalizado de acordo com a norma ISO 140-4

Medições *in situ* do isolamento sonoro a sons de percussão

Data de realização do ensaio: 23-04-2010

Compartimento emissor: Quarto (fracção B)

Volume: 119,4 m³

Compartimento receptor: Sala (fracção A)

Volume: 116,2 m³Área do Elemento a ensaiar: 28,4 m²T₀: 0,5 s

Observações:

O presente ensaio serve para caracterizar o isolamento sonoro a sons de percussão do elemento de separação entre a loja e habitação de pisos consecutivos.

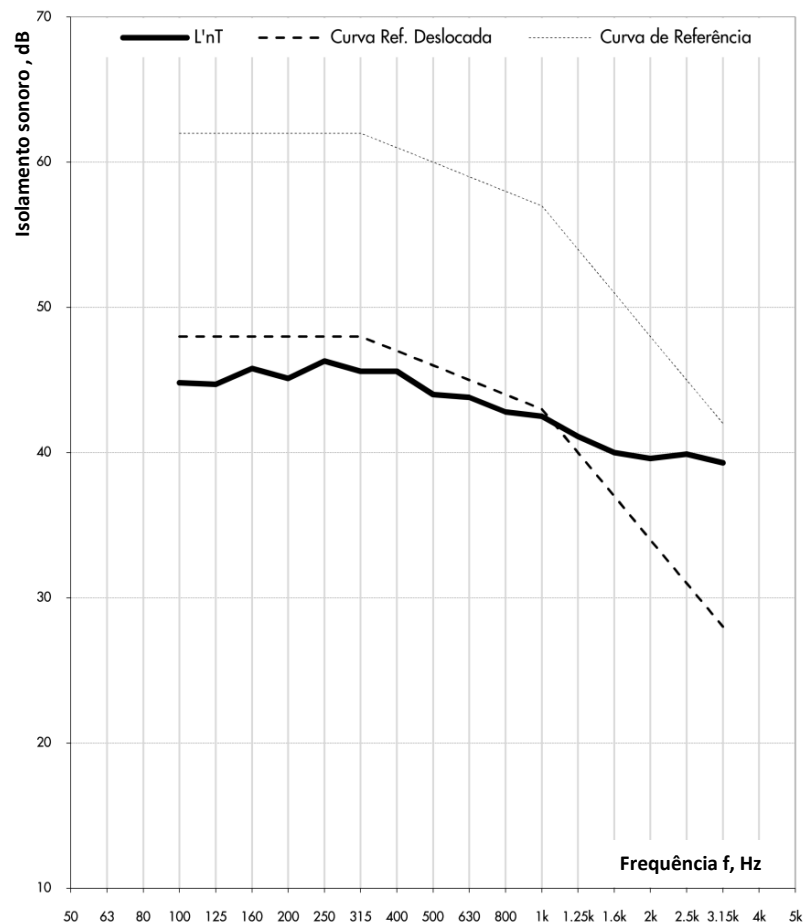
Uma vez que o edifício em questão se encontra em utilização, todos os compartimentos estão finalizados. O compartimento em estudo encontra-se decorado com mobiliário permanente.

No decorrer dos ensaios o compartimento receptor encontrava-se ocupado apenas pelo operador dos equipamentos de medição.

Foram respeitadas, sempre que possível, as distâncias, os números e as durações máximas e mínimas de medição.

Frequência Hz	L' _{nT} dB (1/3 de oitava)
50	
63	
80	
100	44,8 *
125	44,7 *
160	45,8
200	45,1
250	46,3
315	45,6
400	45,6
500	44,0
630	43,8
800	42,8
1 000	42,5
1 250	41,1
1 600	40,0
2 000	39,6
2 500	39,9
3 150	39,3
4 000	
5 000	

* Aplicada correcção do ruído de fundo

**L'_{nT,w} = 46 dB**

(Cálculo de acordo com a norma ISO 717-2)

Projecto Edifício A**Tempo de reverberação de acordo com a norma ISO 3382-2****Determinação do tempo de reverberação**

Data de realização do ensaio: 23-04-2010

Compartimento receptor: Quarto (fracção A)

Volume: 107,7 m³**Observações:**

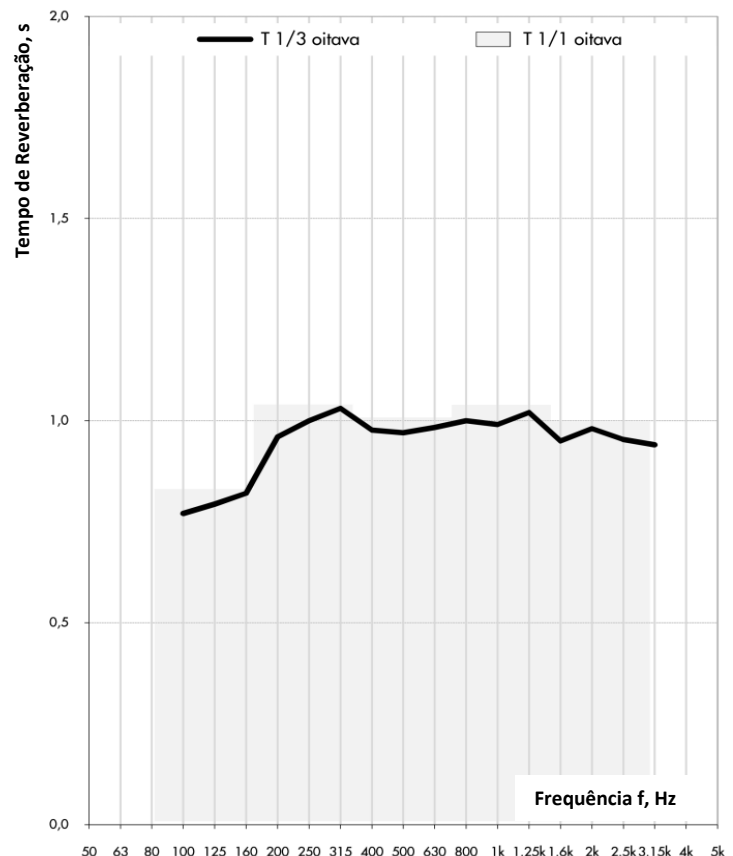
O presente ensaio serve para determinar o valor do tempo de reverberação do compartimento quarto.

Uma vez que o edifício em questão se encontra em utilização, todos os compartimentos estão finalizados. O compartimento em estudo encontra-se decorado com mobiliário permanente.

No decorrer dos ensaios o compartimento receptor encontrava-se ocupado apenas pelo operador dos equipamentos de medição.

Foram respeitadas, sempre que possível, as distâncias, os números e as durações máximas e mínimas de medição.

Frequência Hz	T s (1/3 de oitava)	T s (1/1 de oitava)
50		
63		
80		
100	0,44	
125	0,43	0,57
160	0,62	
200	0,65	
250	0,79	0,81
315	0,86	
400	1,05	
500	1,21	1,15
630	1,05	
800	0,99	
1 000	1,00	1,00
1 250	1,00	
1 600	1,08	
2 000	1,06	1,07
2 500	1,02	
3 150	1,01	
4 000		
5 000		



$T_{500\text{Hz}-2\text{kHz}} (\text{RRAE}) = 1,07 \text{ s}$

Projecto Edifício A

Isolamento sonoro normalizado de acordo com a norma ISO 140-5**Medições *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas**

Data de realização do ensaio: 23-04-2010

Compartimento receptor: Quarto (fracção A)

Volume: 116,0 m³Área do Elemento a ensaiar: 18,1 m²T₀: 0,5 s**Observações:**

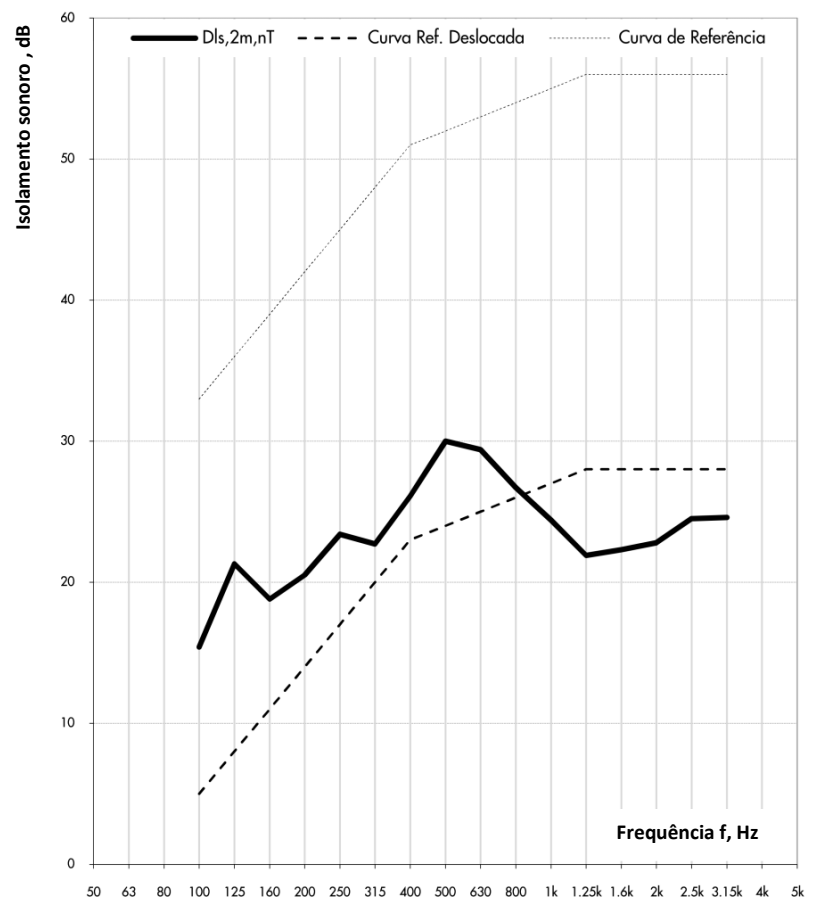
O presente ensaio serve para caracterizar o isolamento sonoro a sons de condução aérea do elemento de fachada do compartimento quarto.

Uma vez que o edifício em questão se encontra em utilização, todos os compartimentos estão finalizados. O compartimento em estudo encontra-se vazio.

No decorrer dos ensaios o compartimento receptor encontrava-se ocupado apenas pelo operador dos equipamentos de medição.

Foram respeitadas, sempre que possível, as distâncias, os números e as durações máximas e mínimas de medição.

Frequência Hz	D _{Is,2m,nT} dB (1/3 de oitava)
50	
63	
80	
100	15,4
125	21,3
160	18,8
200	20,5
250	23,4
315	22,7
400	26,1
500	30,0
630	29,4
800	26,7
1 000	24,4
1 250	21,9
1 600	22,3
2 000	22,8
2 500	24,5
3 150	24,6
4 000	
5 000	

**D_{Is,2m,nT,w} (C;C_{tr}) = 24 (0;0) dB**

(Cálculo de acordo com a norma ISO 717-1)

Projecto Edifício A

Isolamento sonoro normalizado de acordo com a norma ISO 140-4

Medições *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos

Data de realização do ensaio: 23-04-2010

Compartimento emissor: Quarto (fracção B)

Volume: 80,8 m³

Compartimento receptor: Quarto (fracção A)

Volume: 116,0 m³Área do Elemento a ensaiar: 28,2 m²T₀: 0,5 s

Observações:

O presente ensaio serve para caracterizar o isolamento sonoro a sons de condução aérea do elemento de separação de habitações distintas de pisos consecutivos.

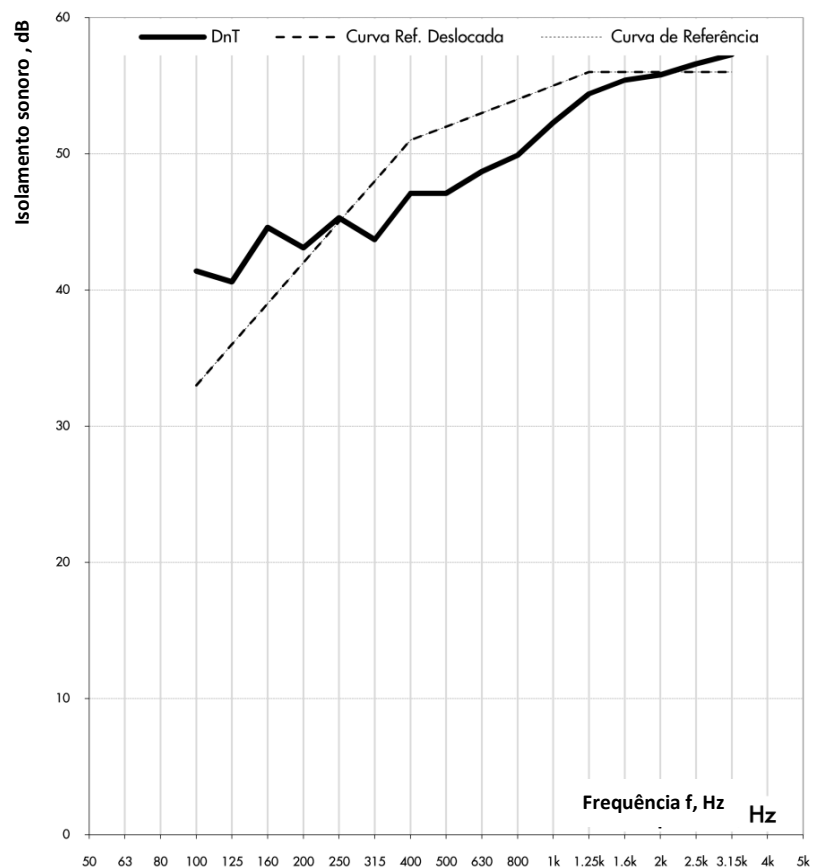
Uma vez que o edifício em questão se encontra em utilização, todos os compartimentos estão finalizados. O compartimento em estudo encontra-se vazio.

No decorrer dos ensaios o compartimento receptor encontrava-se ocupado apenas pelo operador dos equipamentos de medição.

Foram respeitadas, sempre que possível, as distâncias, os números e as durações máximas e mínimas de medição.

Frequência Hz	D _{nT} dB (1/3 de oitava)
50	
63	
80	
100	41,4 *
125	40,6
160	44,6
200	43,1
250	45,3
315	43,7
400	47,1
500	47,1
630	48,7
800	49,9
1 000	52,3
1 250	54,4
1 600	55,4
2 000	55,8
2 500	56,6
3 150	57,3
4 000	
5 000	

* Aplicada correcção do ruído de fundo

**D_{nT,w} = 52 dB**

(Cálculo de acordo com a norma ISO 717-1)

Projecto Edifício A

Isolamento sonoro normalizado de acordo com a norma ISO 140-7

Medições *in situ* do isolamento sonoro a sons de percussão

Data de realização do ensaio: 23-04-2010

Compartimento emissor: Quarto (fracção B)

Volume: 80,8 m³

Compartimento receptor: Quarto (fracção A)

Volume: 116,0 m³Área do Elemento a ensaiar: 28,2 m²T₀: 0,5 s

Observações:

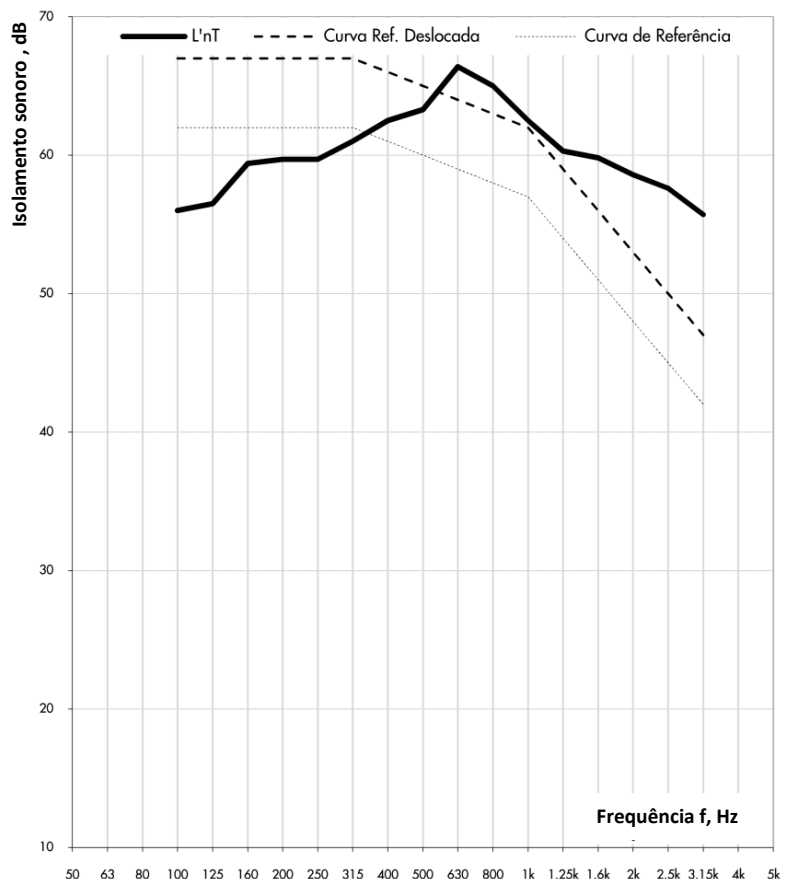
O presente ensaio serve para caracterizar o isolamento sonoro a sons de percussão entre habitações distintas de pisos consecutivos.

Uma vez que o edifício em questão se encontra em utilização, todos os compartimentos estão finalizados. O compartimento em estudo encontra-se vazio.

No decorrer dos ensaios o compartimento receptor encontrava-se ocupado apenas pelo operador dos equipamentos de medição.

Foram respeitadas, sempre que possível, as distâncias, os números e as durações máximas e mínimas de medição.

Frequência Hz	L' _{nT} dB (1/3 de oitava)
50	
63	
80	
100	56,0
125	56,5
160	59,4
200	59,7
250	59,7
315	61,0
400	62,5
500	63,3
630	66,4
800	65,0
1 000	62,5
1 250	60,3
1 600	59,8
2 000	58,6
2 500	57,6
3 150	55,7
4 000	
5 000	



$$L'_{nT,w} = 65 \text{ dB}$$

(Cálculo de acordo com a norma ISO 717-2)

Projecto Edifício A**Tempo de reverberação de acordo com a norma ISO 3382-2****Determinação do tempo de reverberação**

Data de realização do ensaio: 23-04-2010

Compartimento receptor: Quarto (fracção A)

Volume: 116,0 m³**Observações:**

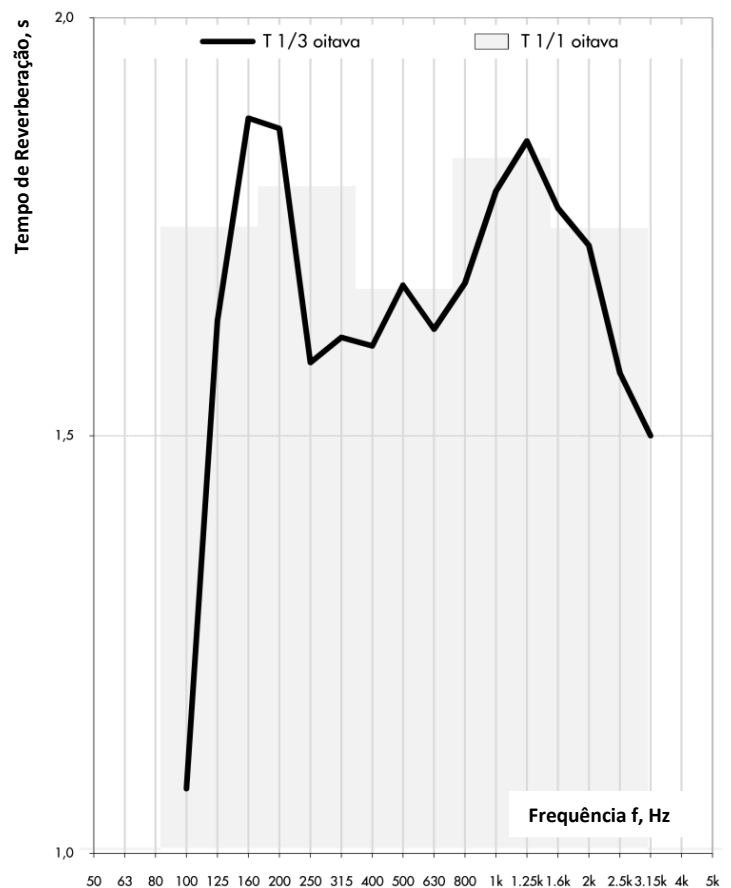
O presente ensaio serve para determinar o valor do tempo de reverberação do compartimento quarto.

Uma vez que o edifício em questão se encontra em utilização, todos os compartimentos estão finalizados. O compartimento em estudo encontra-se vazio.

No decorrer dos ensaios o compartimento receptor encontrava-se ocupado apenas pelo operador dos equipamentos de medição.

Foram respeitadas, sempre que possível, as distâncias, os números e as durações máximas e mínimas de medição.

Frequência Hz	T s (1/3 de oitava)	T s (1/1 de oitava)
50		
63		
80		
100	1,08	
125	1,64	1,73
160	1,88	
200	1,87	
250	1,59	1,78
315	1,62	
400	1,61	
500	1,68	1,66
630	1,63	
800	1,68	
1 000	1,79	1,81
1 250	1,85	
1 600	1,77	
2 000	1,73	1,73
2 500	1,58	
3 150	1,50	
4 000		
5 000		



$T_{500\text{Hz}-2\text{kHz}} (\text{RRAE}) = 1,07 \text{ s}$

Projecto Edifício B

Isolamento sonoro normalizado de acordo com a norma ISO 140-5

Medições *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas

Data de realização do ensaio: 21-05-2010

Compartimento receptor: Sala (fracção A)

Volume: 62,1 m³Área do Elemento a ensaiar: 9,8 m²T₀: 0,5 s

Observações:

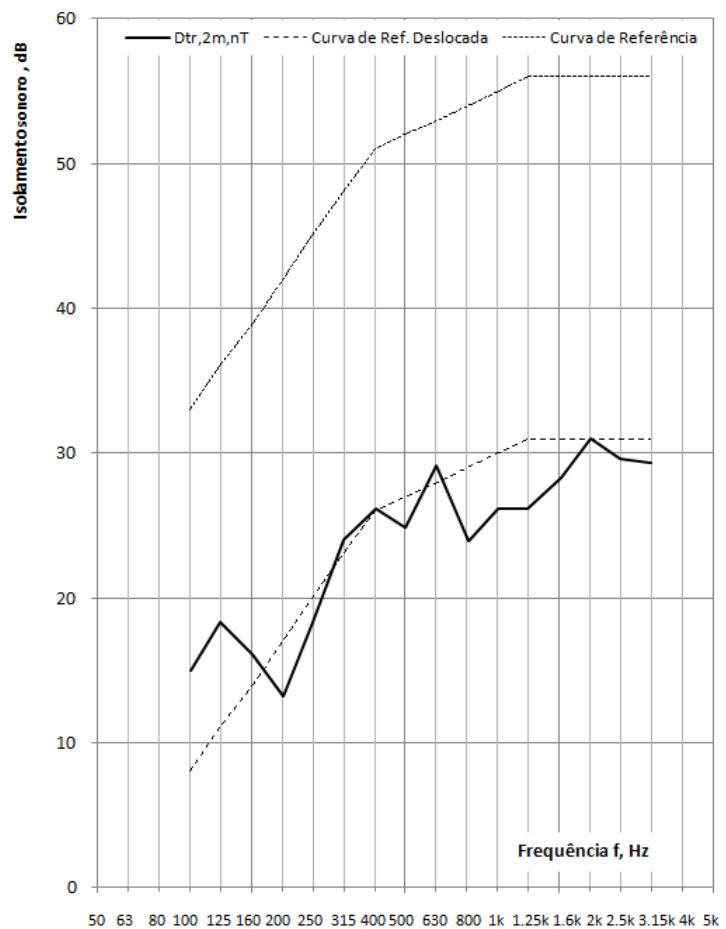
O presente ensaio serve para caracterizar o isolamento sonoro a sons de condução aérea do elemento de fachada do compartimento sala.

Apesar de o edifício em questão se encontrar desabitado e em algum estado de degradação a continuidade dos materiais que constituem o elemento construtivo em apressa não está comprometida.

No decorrer dos ensaios o compartimento encontrava-se vazio, sendo ocupado apenas pelo operador dos equipamentos de medição.

Foram respeitadas, sempre que possível, as distâncias, os números e as durações máximas e mínimas de medição.

Frequência Hz	D _{tr,2m,nT} dB (1/3 de oitava)
50	
63	
80	
100	15,0
125	18,4
160	16,1
200	13,2
250	18,3
315	24,0
400	26,2
500	24,9
630	29,2
800	24,0
1 000	26,1
1 250	26,2
1 600	28,3
2 000	31,0
2 500	29,6
3 150	29,3
4 000	
5 000	



$$D_{tr,2m,nT,w}(C;C_{tr}) = 27 (-1;-4) \text{ dB}$$

(Cálculo de acordo com a norma ISO 717-1)

Projecto Edifício B

Isolamento sonoro normalizado de acordo com a norma ISO 140-4

Medições *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos

Data de realização do ensaio: 21-05-2010

Compartimento emissor: Sala (fracção B)

Volume: 93,0 m³

Compartimento receptor: Sala (fracção A)

Volume: 62,1 m³Área do Elemento a ensaiar: 31,0 m²T₀: 0,5 s

Observações:

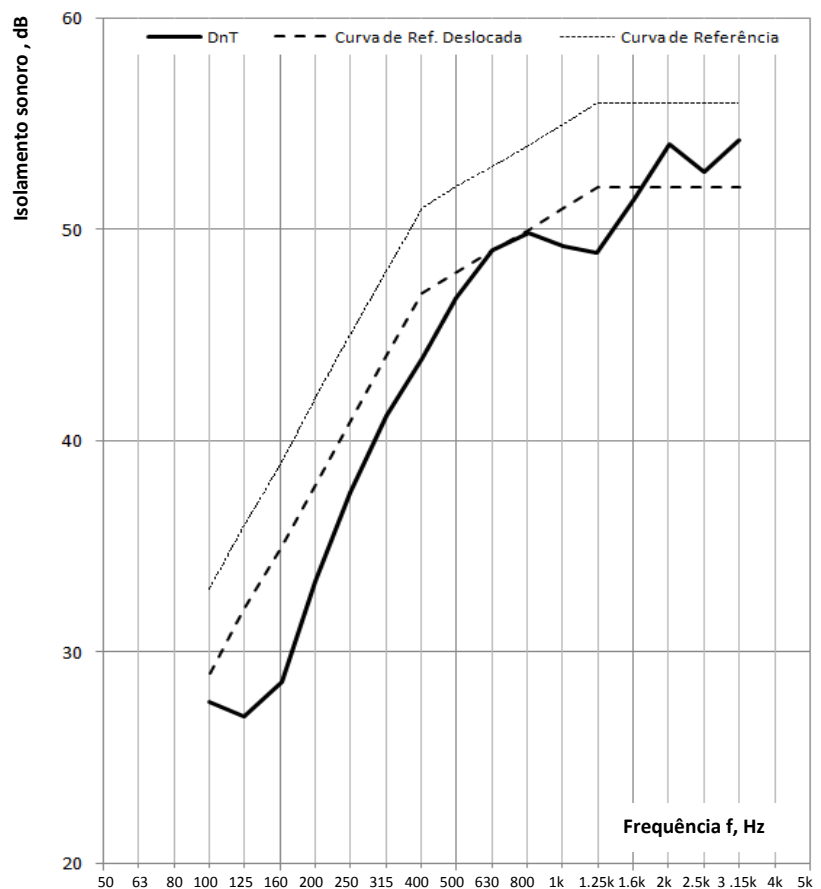
O presente ensaio serve para caracterizar o isolamento sonoro a sons de condução aérea do elemento de separação a habitações distintas de pisos consecutivos.

Apesar de o edifício em questão se encontrar desabitado e em algum estado de degradação a continuidade dos materiais que constituem o elemento construtivo em apressa não está comprometida.

No decorrer dos ensaios o compartimento encontrava-se vazio, sendo ocupado apenas pelo operador dos equipamentos de medição.

Foram respeitadas, sempre que possível, as distâncias, os números e as durações máximas e mínimas de medição.

Frequência Hz	D _{nT} dB (1/3 de oitava)
50	
63	
80	
100	27,7
125	27,0
160	28,6
200	33,4
250	37,6
315	41,2
400	44,0
500	46,8
630	49,0
800	49,8
1 000	49,2
1 250	48,9
1 600	51,4
2 000	54,0
2 500	52,7
3 150	54,2
4 000	
5 000	

**D_{nT,w} = 47 dB**

(Cálculo de acordo com a norma ISO 717-1)

Projecto Edifício B

Isolamento sonoro normalizado de acordo com a norma ISO 140-7

Medições *in situ* do isolamento sonoro a sons de percussão

Data de realização do ensaio: 21-05-2010

Compartimento emissor: Sala (fracção B)

Volume: 93,0 m³

Compartimento receptor: Sala (fracção A)

Volume: 62,1 m³Área do Elemento a ensaiar: 31,0 m²T₀: 0,5 s

Observações:

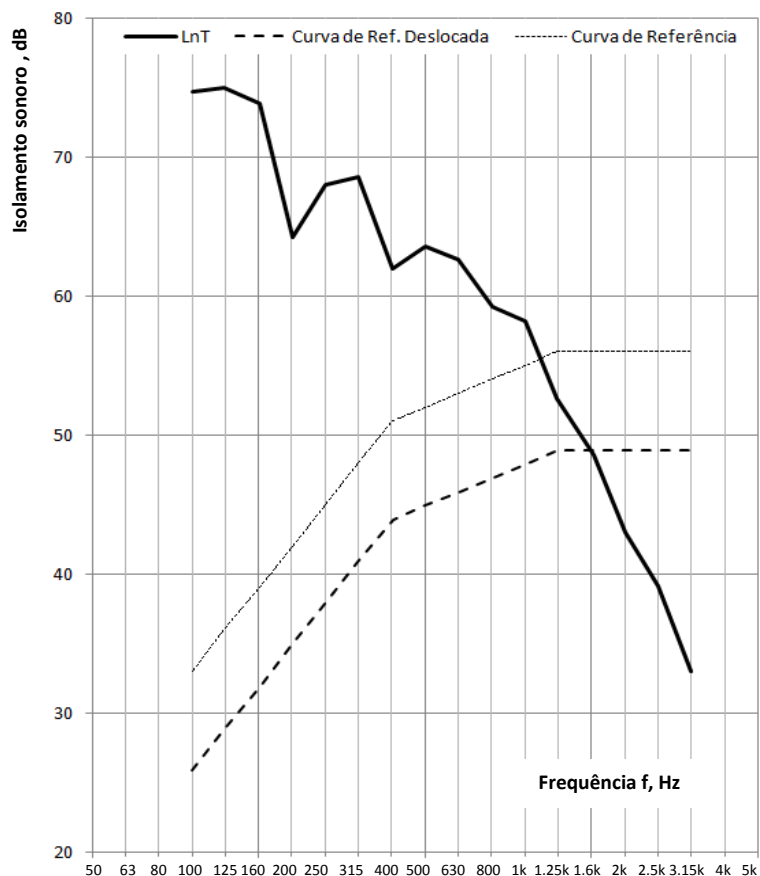
O presente ensaio serve para caracterizar o isolamento sonoro a sons de percussão entre habitações distintas de pisos consecutivos.

Apesar de o edifício em questão se encontrar desabitado e em algum estado de degradação a continuidade dos materiais que constituem o elemento construtivo em apressa não está comprometida.

No decorrer dos ensaios o compartimento encontrava-se vazio, sendo ocupado apenas pelo operador dos equipamentos de medição.

Foram respeitadas, sempre que possível, as distâncias, os números e as durações máximas e mínimas de medição.

Frequência Hz	L' _{nT} dB (1/3 de oitava)
50	
63	
80	
100	74,7
125	75,0
160	73,9
200	64,2
250	68,1
315	68,6
400	62,0
500	63,5
630	62,6
800	59,2
1 000	58,2
1 250	52,7
1 600	48,6
2 000	43,0
2 500	39,1
3 150	33,0
4 000	
5 000	



$$L'_{nT,w} = 44 \text{ dB}$$

(Cálculo de acordo com a norma ISO 717-2)

Projecto Edifício B

Tempo de reverberação de acordo com a norma ISO 3382-2

Determinação do tempo de reverberação

Data de realização do ensaio: 21-05-2010

Compartimento receptor: Sala (fracção A)

Volume: 62,1 m³

Observações:

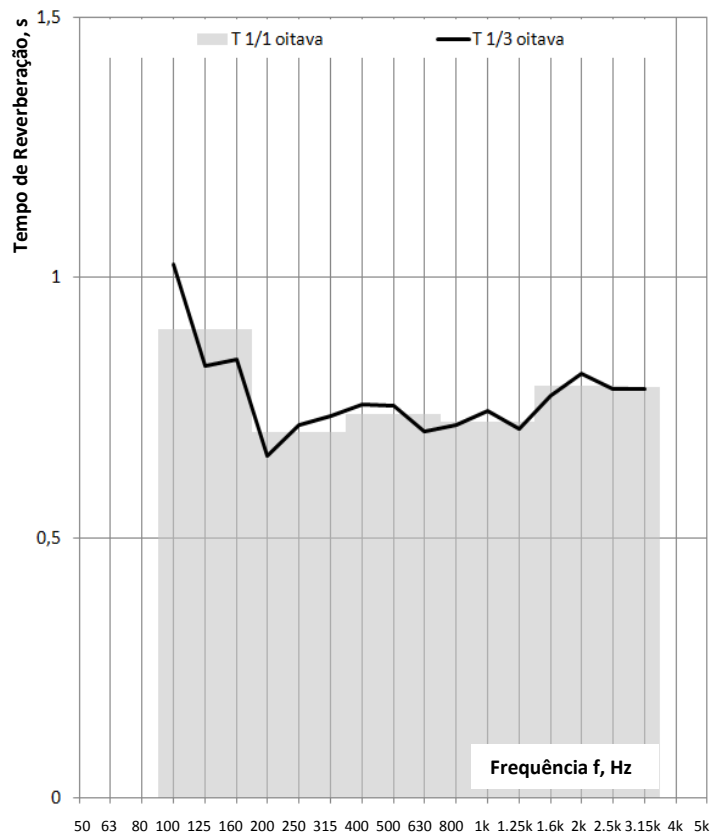
O presente ensaio serve para determinar o tempo de reverberação do compartimento sala.

Apesar de o edifício em questão se encontrar desabitado e em algum estado de degradação a continuidade dos materiais que constituem o compartimento em apressa não está comprometida.

No decorrer dos ensaios o compartimento encontrava-se vazio, sendo ocupado apenas pelo operador dos equipamentos de medição.

Foram respeitadas, sempre que possível, as distâncias, os números e as durações máximas e mínimas de medição

Frequência Hz	T s (1/3 de oitava)	T s (1/1 de oitava)
50		
63		
80		
100	1,08	
125	1,03	0,90
160	0,83	
200	0,84	
250	0,66	0,70
315	0,72	
400	0,73	
500	0,76	0,74
630	0,75	
800	0,70	
1 000	0,72	0,72
1 250	0,74	
1 600	0,71	
2 000	0,77	0,79
2 500	0,82	
3 150	0,79	
4 000		
5 000		



$$T_{500\text{Hz}-2\text{kHz}} (\text{RRAE}) = 0,75 \text{ s}$$

Projecto Edifício D

Isolamento sonoro normalizado de acordo com a norma ISO 140-5

Medições *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas

Data de realização do ensaio: 28-05-2010

Compartimento receptor: Quarto (fracção A)

Volume: 36,2 m³Área do Elemento a ensaiar: 9,5 m²T₀: 0,5 s

Observações:

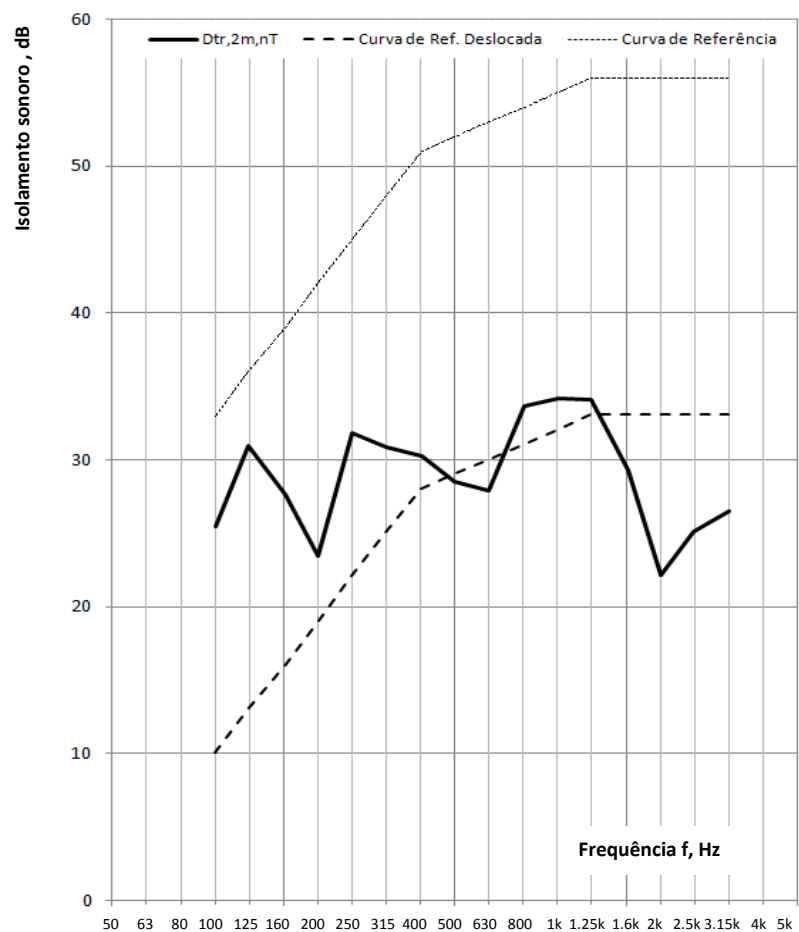
O presente ensaio serve para caracterizar o isolamento sonoro a sons de condução aérea do elemento de fachada do compartimento quarto.

Apesar de o edifício em questão se encontrar em fase de construção a continuidade dos materiais que constituem o elemento construtivo em apressa não está comprometida.

No decorrer dos ensaios o compartimento encontrava-se vazio, sendo ocupado apenas pelo operador dos equipamentos de medição.

Foram respeitadas, sempre que possível, as distâncias, os números e as durações máximas e mínimas de medição.

Frequência Hz	D _{tr,2m,nT} dB (1/3 de oitava)
50	
63	
80	
100	25,4
125	30,9
160	27,6
200	23,4
250	31,9
315	30,9
400	30,3
500	28,5
630	27,9
800	33,7
1 000	34,2
1 250	34,1
1 600	29,3
2 000	22,1
2 500	25,1
3 150	26,5
4 000	
5 000	



$$D_{tr,2m,nT,w}(C;C_{tr}) = 29 (-2;-1) \text{ dB}$$

(Cálculo de acordo com a norma ISO 717-1)

Projecto Edifício D

Isolamento sonoro normalizado de acordo com a norma ISO 140-4

Medições *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos

Data de realização do ensaio: 28-05-2010

Compartimento emissor: Quarto (fracção B)

Volume: 39,5 m³

Compartimento receptor: Quarto (fracção A)

Volume: 36,2 m³Área do Elemento a ensaiar: 11,4 m²T₀: 0,5 s

Observações:

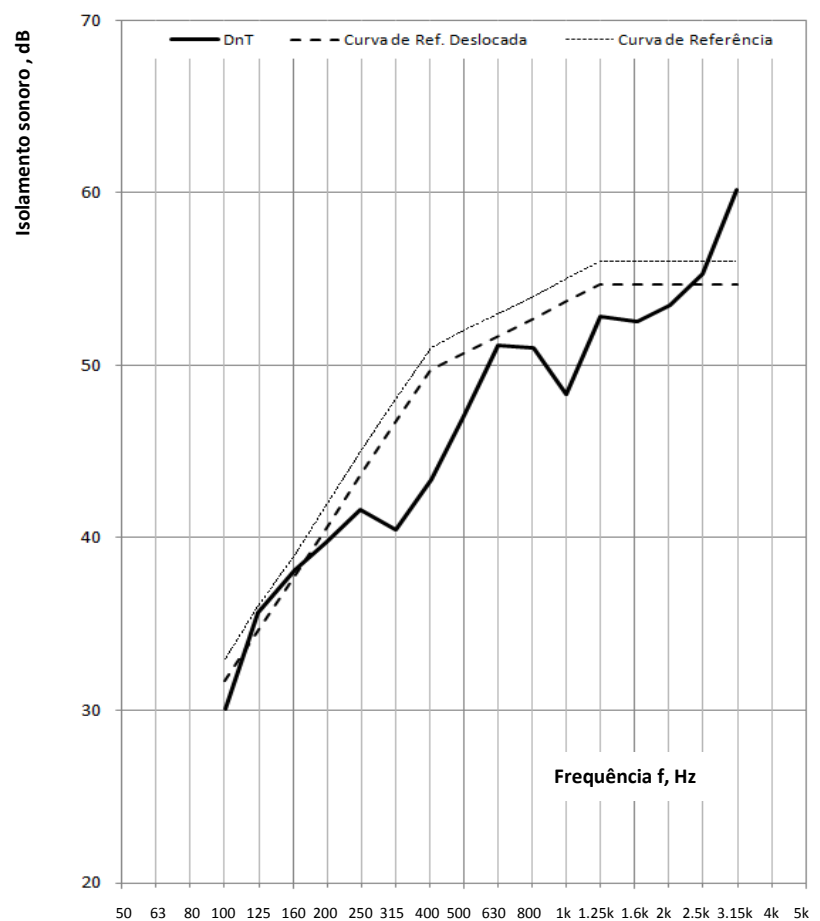
O presente ensaio serve para caracterizar o isolamento sonoro a sons de condução aérea do elemento de separação a habitações distintas no mesmo piso.

Apesar de o edifício em questão se encontrar em fase de construção a continuidade dos materiais que constituem o elemento construtivo a ensaiar bem como o compartimento receptor não está comprometida. O mesmo não se verifica no compartimento emissor que se encontra sem porta, podendo assim distorcer os resultados.

No decorrer dos ensaios o compartimento encontrava-se vazio, sendo ocupado apenas pelo operador dos equipamentos de medição.

Foram respeitadas, sempre que possível, as distâncias, os números e as durações máximas e mínimas de medição.

Frequência Hz	D _{nT} dB (1/3 de oitava)
50	
63	
80	
100	27,7
125	27,0
160	28,6
200	33,4
250	37,6
315	41,2
400	44,0
500	46,8
630	49,0
800	49,8
1 000	49,2
1 250	48,9
1 600	51,4
2 000	54,0
2 500	52,7
3 150	54,2
4 000	
5 000	

**D_{nT,w} = 51 dB**

(Cálculo de acordo com a norma ISO 717-1)

Projecto Edifício D

Tempo de reverberação de acordo com a norma ISO 3382-2

Determinação do tempo de reverberação

Data de realização do ensaio: 28-05-2010

Compartimento receptor: Quarto (fracção A)

Volume: 36,2 m³

Observações:

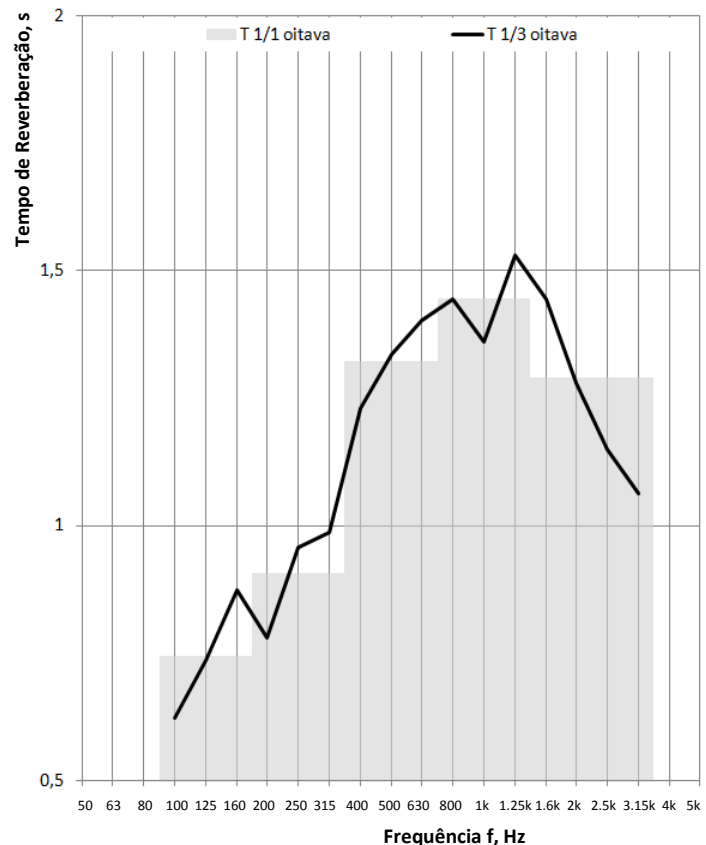
O presente ensaio serve para determinar o tempo de reverberação do compartimento quarto.

Apesar de o edifício em questão se encontrar em fase de construção a continuidade dos materiais que constituem o compartimento receptor não está comprometida.

No decorrer dos ensaios o compartimento encontrava-se vazio, sendo ocupado apenas pelo operador dos equipamentos de medição.

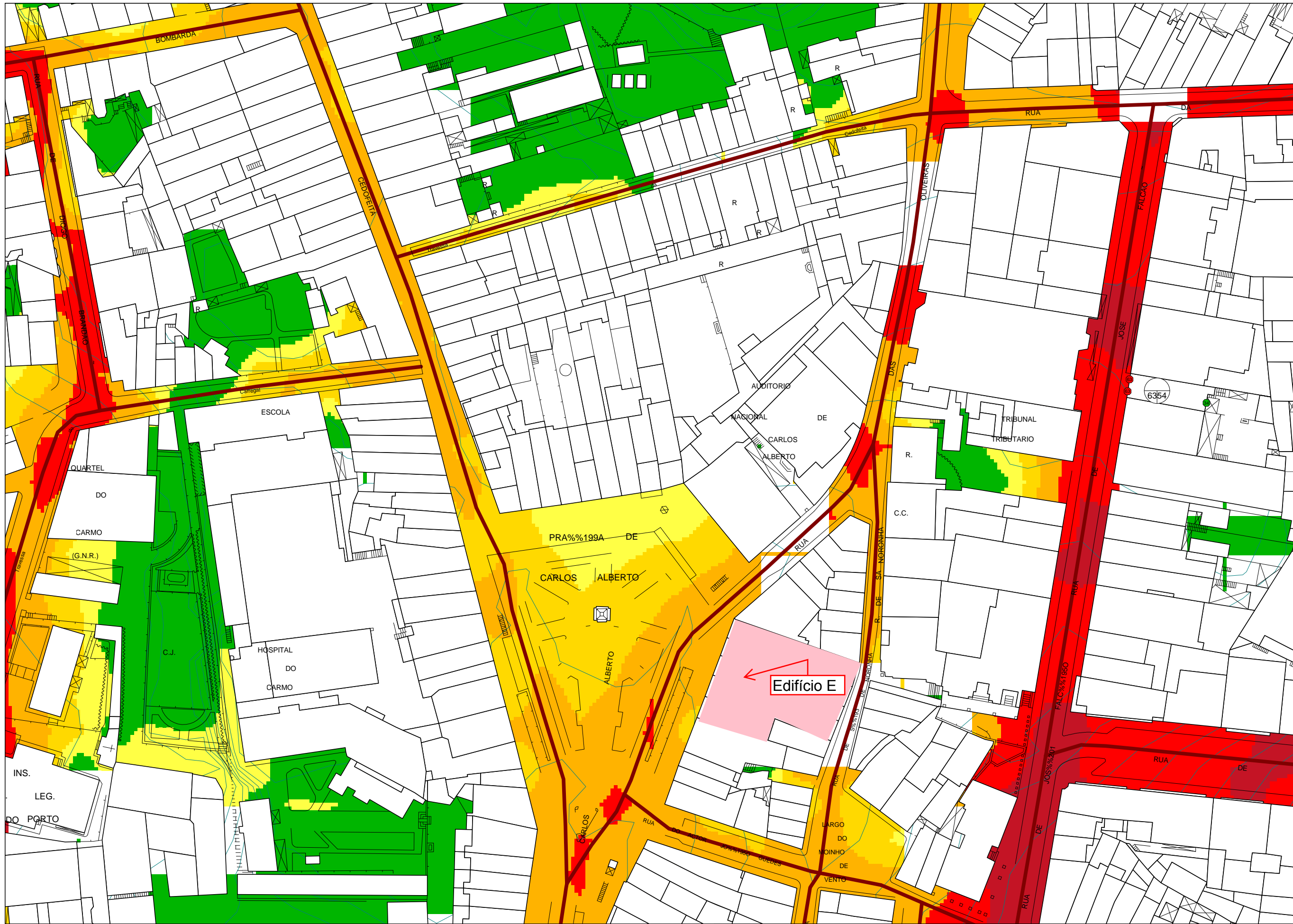
Foram respeitadas, sempre que possível, as distâncias, os números e as durações máximas e mínimas de medição

Frequência Hz	T s (1/3 de oitava)	T s (1/1 de oitava)
50		
63		
80		
100	1,08	
125	0,74	0,74
160	0,87	
200	0,78	
250	0,96	0,91
315	0,99	
400	1,23	
500	1,34	1,32
630	1,40	
800	1,44	
1 000	1,36	1,44
1 250	1,53	
1 600	1,44	
2 000	1,28	1,29
2 500	1,15	
3 150	1,06	
4 000		
5 000		



$$T_{500\text{Hz}-2\text{kHz}} (\text{RRAE}) = 1,35 \text{ s}$$

ANEXO B – MAPAS DO RÚIDO



- < 45.0 dB
- > 45.0 dB
- > 50.0 dB
- > 55.0 dB
- > 60.0 dB
- > 65.0 dB
- > 70.0 dB
- > 75.0 dB

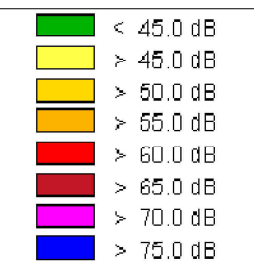
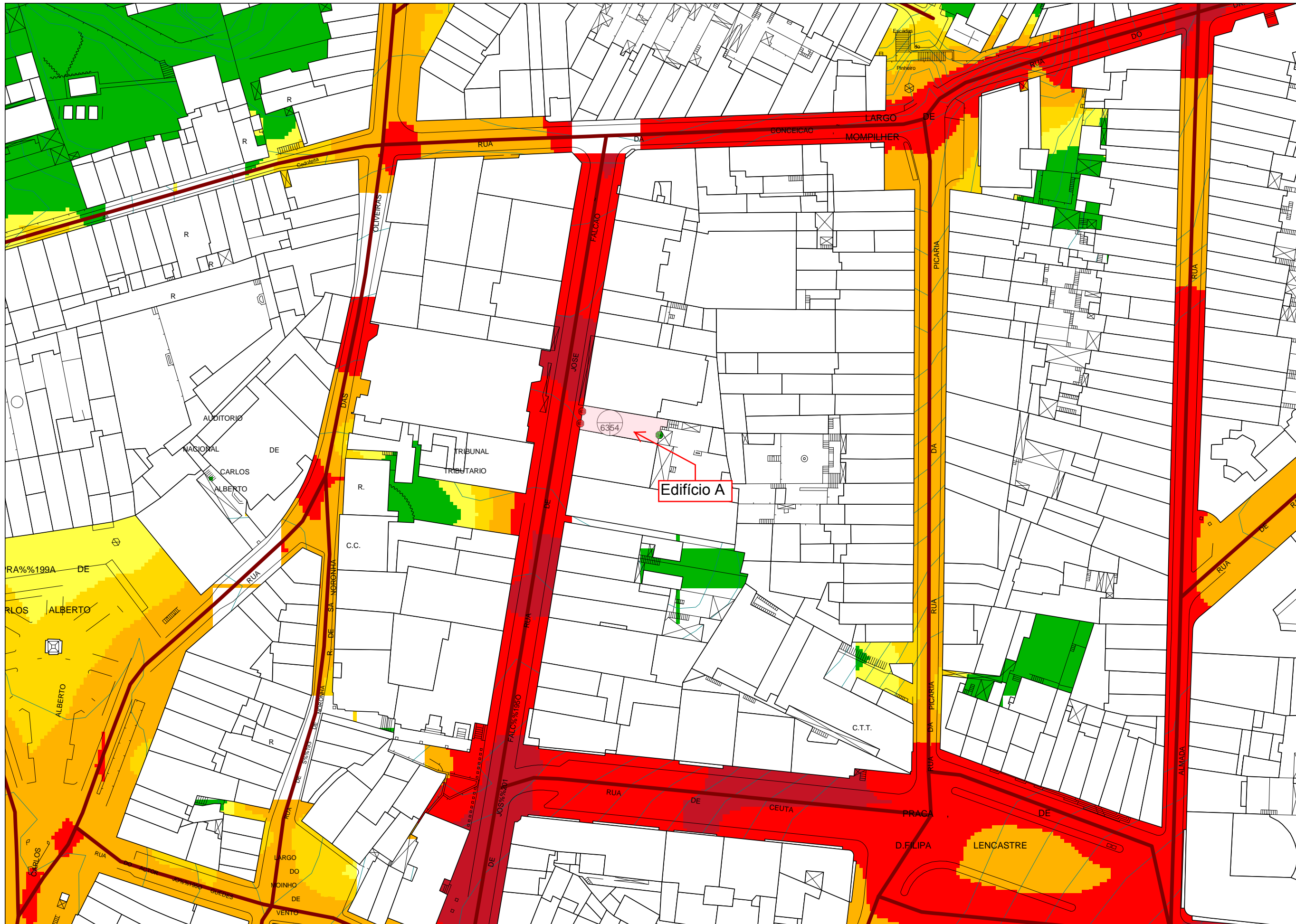
(((NI&DEA - FEUP)))



Mapa de Ruído da Zona junto da Praça Carlos Alberto

Mapa de Ruído
Indicador : (Lden)

Folha	
Escala	1:1000
Data	
Revisão	



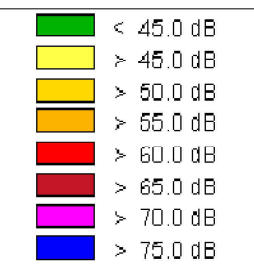
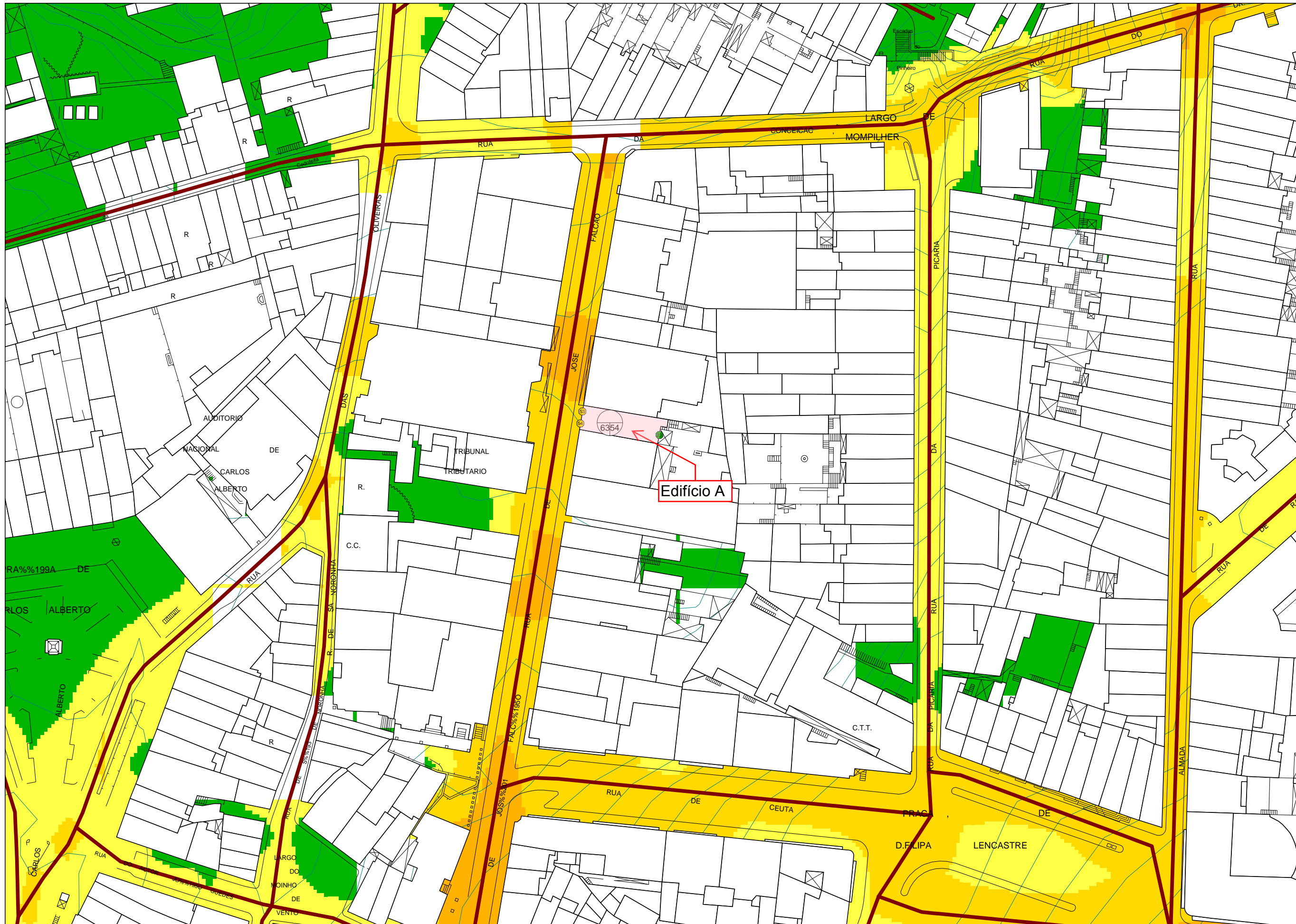
(((NI&DEA - FEUP)))



Mapa de Ruído da Zona junto da Rua de José Falcão

Mapa de Ruído
Indicador : (Lden)

Folha	
Escala	1:1000
Data	
Revisão	



(((NI&DEA - FEUP)))



Mapa de Ruído da Zona junto da Rua de José Falcão

Mapa de Ruído
Indicador : (Ln)

Folha	
Escala	1:1000
Data	
Revisão	



Edifício B

6051

- <math>< 45.0\text{ dB}</math>
- $\leq 45.0\text{ dB}$
- $\leq 50.0\text{ dB}$
- $\leq 55.0\text{ dB}$
- $\leq 60.0\text{ dB}$
- $\leq 65.0\text{ dB}$
- $\leq 70.0\text{ dB}$
- $\leq 75.0\text{ dB}$

(((NI&DEA - FEUP)))



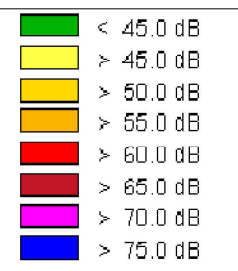
Mapa de Ruído da Zona junto da Rua de Miguel Bombarda

Mapa de Ruído
Indicador : (Lden)

Folha	
Escala	1:1000
Data	
Revisão	



Edifício B



(((NI&DEA - FEUP)))

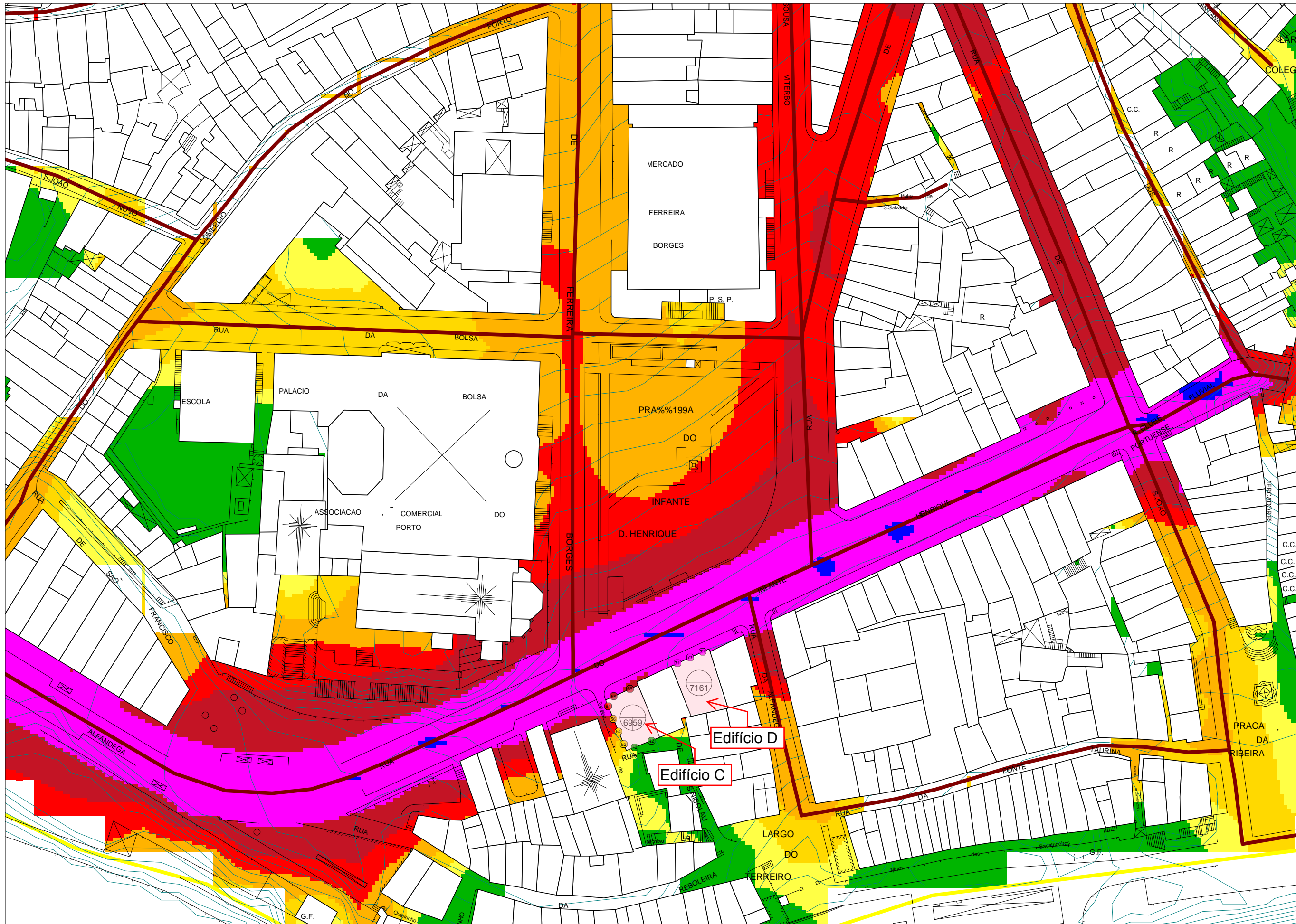


Mapa de Ruído da Zona junto da Rua de Miguel Bombarda

Mapa de Ruído
Indicador : (Ln)

Folha
Escala
Data
Revisão

1:1000



(((NI&DEA - FEUP)))



Mapa de Ruído da Zona junto da Rua do Infante Dom Henrique

Mapa de Ruído
Indicador : (Lden)

Folha	
Escala	1:1000
Data	
Revisão	

- < 45.0 dB
- > 45.0 dB
- > 50.0 dB
- > 55.0 dB
- > 60.0 dB
- > 65.0 dB
- > 70.0 dB
- > 75.0 dB



(((NI&DEA - FEUP)))



Mapa de Ruído da Zona junto da Rua do Infante Dom Henrique

Mapa de Ruído
Indicador : (Ln)

Folha	
Escala	1:1000
Data	
Revisão	