



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Avaliação da Qualidade Acústica em Edifícios

Tiago Emanuel Pereira e Antunes

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Professor Doutor João Carlos Gonçalves Lanzinha

Covilhã, outubro de 2013

Agradecimentos

Gostaria, em primeiro lugar, de agradecer à minha esposa, à minha filha e ao meu filho (que está para nascer), por todo o apoio e tempo abdicado para eu poder terminar a dissertação num tão curto espaço de tempo.

Ao Professor Doutor João Carlos Gonçalves Lanzinha por toda a atenção e apoio concedido no decorrer do meu Mestrado em Engenharia Civil, em particular no que respeita à presente dissertação.

À empresa Civilcheck pelo tempo disponibilizado para que pudesse frequentar o Mestrado em Engenharia Civil.

Resumo

O conforto e a qualidade dos edifícios são cada vez mais uma preocupação tanto por parte dos consumidores como das entidades licenciadoras, sendo atualmente obrigatória para emissão de licenças de utilização por parte das autarquias, a apresentação de um relatório de avaliação acústica e um parecer técnico no qual sejam apreciados os critérios de amostragem seguidos e a conformidade regulamentar em causa.

O estudo da acústica dos edifícios consiste em avaliar os requisitos acústicos dos edifícios, com vista a garantir as condições de isolamento acústico desses edifícios.

As normas do regulamento aplicam-se à construção, reconstrução, ampliação ou alteração dos diferentes tipos de edifícios, em função dos usos a que os mesmos se destinam.

Com este trabalho pretende-se dar um contributo para a elaboração de uma proposta de classificar os imóveis segundo o grau de satisfação dos requisitos acústicos dos edifícios. Fez-se a aplicação da proposta e retiraram-se conclusões.

Palavras-chave

Ruído, medições acústicas, qualidade, conforto

Abstract

The comfort and quality of the buildings are increasingly a concern by both consumers and its licensors, and is currently mandatory for issuing licenses for use by local authorities, the submission of an acoustic assessment reports and technical advice on which be appreciated the sampling criteria followed and regulatory compliance concerned.

The study of the acoustics of buildings consists of evaluating the acoustic requirements of buildings to ensure the conditions for sound insulation of these buildings.

The provisions of the regulation apply to construction, reconstruction, extension or alteration of buildings of different types, depending on the uses to which they are intended.

This work aims to make a contribution to the development of a proposal to classify properties according to the degree of satisfaction of the acoustic requirements of buildings. Made up the implementation of the proposal and withdrew conclusions.

Keywords

Noise, noise measurements, quality, comfort

Lista de símbolos

- A_0 - Área de absorção sonora de referência (10m²);
 A - Área de absorção sonora de referência (m²)
 c - Velocidade do vento (m/s);
 D - Isolamento sonoro bruto (dB);
 D_{2m} é a diferença, entre o nível de pressão sonora no exterior, medido a 2 m da fachada;
 $D_{2m,nT,w}$ - Índice de isolamento sonoro padronizado fachadas (dB);
 D_n - Isolamento sonoro normalizado (dB);
 $D_{nT,w}$ - Índice de isolamento sonoro de sons aéreos padronizado (dB);
 f - Frequência Hertziana (Hz);
 L_1 - Nível de pressão sonora na sala emissora (dB);
 $L_{1,2m}$ - nível médio de pressão sonora exterior, medido a 2 metros da fachada do edifício (dB);
 L_2 - Nível de pressão sonora na sala recetora (dB);
 L_i - nível sonoro médio, medido no compartimento recetor, proveniente da excitação de percussão normalizada exercida no pavimento do compartimento emissor (dB);
 L'_n , Nível sonoro de percussão padronizado (dB);
 $L'_{nT,w}$, Índice de isolamento sonoro de percussão padronizado (dB);
 L_p - Nível de pressão sonora (dB);
 n - Número de medições efetuadas;
 P_{ef} - valor eficaz da pressão sonora para um determinado intervalo de tempo;
 P_{ref} - valor da pressão de referência, igual a 2×10^{-5} Pa;
 L_{sb} é o nível de pressão do sinal e do ruído de fundo associados (dB);
 L_b é o nível do ruído (dB);
 T - tempo de reverberação do compartimento recetor (s);
 T_0 - tempo de reverberação de referência (s);
 V - volume (m³).

Índice

CAP. 1 - Introdução.....	1
1.1. Motivação.....	3
1.2. Objetivo	6
1.3. Estrutura da dissertação	6
CAP. 2 - Considerações teóricas sobre acústica	7
2.1. Introdução.....	9
2.2. Evolução da regulamentação acústica	9
2.3. Considerações teóricas	10
2.3.1. Constituição do ouvido humano	10
2.3.3. Velocidade do som	11
2.3.4. Comprimento de onda, frequência e amplitude	12
2.3.5. Pressão sonora.....	13
2.3.6. Equipamento de medição.....	14
2.3.7. Certificados de calibração.....	16
CAP. 3 - Procedimentos e requisitos acústicos.....	17
3.1. Introdução.....	19
3.2. Procedimentos gerais adotados nos ensaios	19
3.2.1. Procedimento geral para medição do tempo de reverberação	19
3.2.2. Procedimentos gerais para medição de isolamento a sons aéreos de fachadas.....	22
3.2.3. Procedimento geral para medição de isolamento a sons aéreos entre compartimentos	27
3.2.4. Procedimento geral para medição de isolamento a sons de percussão	32
3.3. Exigências do regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios.....	37
3.3.1. Paredes exteriores	38
3.3.2. Paredes interiores.....	38
3.3.3. Pavimentos	40
3.4. Relatório de ensaio	41
3.5. Proposta de classificação do nível de satisfação dos requisitos acústicos dos edifícios	46
3.5.1. Proposta de metodologia de avaliação exigencial (MEXREB).....	47

3.5.2. Proposta de avaliação de qualidade acústica LNEC	48
3.5.3. Nova proposta	53
CAP. 4 - Análise de resultados.....	59
4.1. Introdução.....	61
4.2. Tipos de requisitos.....	61
4.2.1. Isolamento a sons aéreos de fachada.....	61
4.2.2. Isolamento a sons aéreos entre compartimentos	63
4.2.3. Isolamento a sons de percussão entre compartimentos	63
4.3. Aplicação da nova proposta apresentada no ponto 3.5.3	64
4.3.1. Exemplo de aplicação da nova proposta	64
4.3.2. Análise dos resultados obtidos.....	68
CAP. 5 - Conclusões	71
5.1 Síntese dos trabalhos realizados e suas conclusões	73
5.2 Trabalhos futuros	73
Bibliografia	75
Livros e teses.....	77
Normas e regulamentos.....	77
Internet e publicações eletrónicas.....	78
Anexos.....	A
Anexo I - Medições “in situ”	C

Lista de Figuras

Fig.1. 1 - Página 1 do anexo técnico	4
Fig.1. 2 - Página 2 do anexo técnico	5
Fig.2. 1 - Ouvido Humano [4]	10
Fig.2. 2 - Espectro de frequências sonoras [W.1]	11
Fig.2. 3 - Comprimento de onda [W.2]	12
Fig.2. 4 - Tipos de Frequência [W.2]	12
Fig.2. 5 - Amplitude de onda [W.2]	13
Fig.2. 6 - Exemplos de valores de pressão e níveis de pressão sonora para diversas situações [W.3]	14
Fig.2. 7 - Sonómetro	14
Fig.2. 8 - Calibrador do sonómetro	15
Fig.2. 9 - Amplificador e fonte omnidirecional	15
Fig.2. 10 - Máquina de percussão	15
Fig.2. 11 - Periodicidade de calibração	16
Fig.2. 12 - Exemplo de um certificado de calibração de um sonómetro	16
Fig.3. 1 - Tempo de reverberação	20
Fig.3. 2 - Esquema das distâncias à fachada	26
Fig.3. 3 - Modelo para sons aéreos de fachada	27
Fig.3. 4 - Modelo para sons aéreos entre compartimentos	32
Fig.3. 5 - Modelo para sons de percussão entre compartimentos	37
Fig.3. 6 - Planta com valores mínimos para Fachada ($D_{2mnT,w}$)	38
Fig.3. 7 - Planta com valores mínimos para Sons Aéreos ($D_{nT,w}$)	39
Fig.3. 8 - Corte com valores mínimos para Sons Aéreos ($D_{nT,w}$)	39
Fig.3. 9 - Planta com valores máximos para Sons de Percussão ($L'_{nT,w}$)	40
Fig.3. 10 - Corte com valores máximos para Sons de Percussão ($L'_{nT,w}$)	40
Fig.3. 11 - Símbolo de Acreditação dos Laboratórios	42
Fig.3. 12 - Modelo para isolamento a sons aéreos de fachada	43
Fig.3. 13 - Modelo para isolamento a sons aéreos entre compartimentos	44
Fig.3. 14 - Modelo para isolamento a sons de percussão entre compartimentos	45
Fig.3. 15 - Exigência de isolamento acústico em paredes exteriores [2]	47
Fig.3. 16 - Exigência de isolamento acústico em elementos envidraçados [2]	48
Fig.3. 17 - Ábacos do nível sonoro do ruído ambiente exterior medido (L_{den} , L_n) [5]	49
Fig.3. 18 - Exemplo de ábacos dos elementos de avaliação do nível com a designação “Habitação” [5]	51
Fig.3. 19 - Exemplo de aplicação da metodologia (NAA) [5]	53
Fig.3. 20 - Página 1 do modelo de aplicação da nova proposta	56

Fig.3. 21 - Página 2 do modelo de aplicação da nova proposta.....	57
Fig.4. 1 - Medições “in situ”	64
Fig.4. 2 - Fotografia da fachada	65
Fig.4. 3 - Edifício 7 - Página 1	66
Fig.4. 4 - Edifício 7 - Página 2.....	67
Fig.4. 5 - Gráfico comparativo da classificação por zona.....	69

Lista de Tabelas

Tabela 3. 1 - Método do ruído interrompido	21
Tabela 3. 2 - Método da resposta impulsiva integrada	21
Tabela 3. 3 - Resumo dos requisitos acústicos exigidos em edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras (art.º 5º do RRAE).	41
Tabela 3. 4 - Classificação do desempenho acústico de edifícios de habitações [W.4]	46
Tabela 3. 5 - Coeficientes de ponderação [5].....	51
Tabela 3. 6 - Nível de avaliação acústica (NAA) [5].....	52
Tabela 3. 7 - Classificação dos ensaios.....	53
Tabela 3. 8 - Valores mínimos /máximos para as medições efetuadas para cumprimentos em edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras (art.º 5º do RRAE).....	55
Tabela 4. 1 - Médias das medições efetuadas a isolamento a sons aéreos de fachada de paredes em alvenaria de pedra e em alvenaria de tijolo	61
Tabela 4. 2 - Médias das medições efetuadas a isolamento a sons aéreos de fachada com caixilharias em alumínio e em madeira	62
Tabela 4. 3 - Medições efetuadas em edifícios de épocas diferentes	62
Tabela 4. 4 - Médias das medições efetuadas a isolamento a sons aéreos de condução aérea entre compartimentos	63
Tabela 4. 5 - Médias das medições efetuadas a isolamento a sons de percussão entre compartimentos.....	63
Tabela 4. 6 - Quantidade dos níveis de classificação - zonas sensíveis	68
Tabela 4. 7 - Quantidade dos níveis de classificação - zonas mistas	68

CAP. 1 - Introdução

CAP. 1 - Introdução

1.1. Motivação

A qualidade dos edifícios de habitação e as preocupações ambientais são cada vez mais importantes aquando da aquisição de uma habitação.

Cada vez mais se verifica o aumento das exigências de conforto nos edifícios, nomeadamente no que respeita ao comportamento acústico e térmico.

Com o mercado imobiliário em declínio devido à crise económica que o nosso país atravessa, a oferta de habitações disponíveis no mercado tem vindo a aumentar de dia para dia. Este facto possibilita uma melhor seleção e escolha por parte dos compradores de habitações, de modo a satisfazer as suas necessidades.

Vários trabalhos têm vindo a ser desenvolvidos no sentido de controlar/verificar a qualidade dos edifícios de habitação, a nível nacional e internacional, quer através de regulamentação, quer da criação de métodos de avaliação da qualidade de projetos de edifícios e de edifícios existentes.

Apesar da regulamentação e dos métodos de avaliação da qualidade existentes ainda há muito a fazer para melhorar a qualidade deste tipo de edifícios. No que respeita ao comportamento acústico a qualidade destes edifícios ainda é muito inferior à desejável, pois praticamente não existe fiscalização por parte das entidades competentes.

O RRAE [N.3] é o regulamento que regula a vertente do conforto acústico de edifícios novos ou edifícios existentes que venham a ser objeto de reconstrução, ampliação, ou alteração, tendo como objetivos principais a melhoria da qualidade do ambiente acústico, o bem-estar e a saúde das populações.

Para fins de cumprimento da legislação existe uma entidade Instituto Português de Acreditação (IPAC), que regulamenta o modo da realização dos ensaios acústicos e acredita os laboratórios de ensaios para efetuar os ensaios "in situ". Os laboratórios acreditados têm um anexo técnico (fig. 1.1. e 1.2) onde consta o número de acreditação, os dados da empresa, a área em que se encontra acreditado, os ensaios podem efetuar "in situ".

Anexo Técnico de Acreditação N° L0585-1

Accreditation Annex nr.

A entidade a seguir indicada está acreditada como **Laboratório de Ensaios**, segundo a norma **NP EN ISO/IEC 17025:2005**

CIVILCHECK, Actividades de Engenharia, Lda

Endereço Rua Tomás Mendes da Silva Pinto, E6, Loja C
Address 6000-285 Castelo Branco

Contacto Telma Antunes
Contact

Telefone 272347323
Fax 272347560
E-mail geral@civilcheck.pt
Internet http://www.civilcheck.pt

Resumo do Âmbito Acreditado

Acústica e Vibrações

Accreditation Scope Summary

Acoustics and Vibrations

Nota: ver na(s) página(s) seguinte(s) a descrição completa do âmbito de acreditação.

Note: see in the next page(s) the detailed description of the accredited scope.

A validade deste Anexo Técnico pode ser comprovada em
<http://www.ipac.pt/docsig/?43EU-L4V6-1SC5-053Q>

The validity of this Technical Annex can be checked in the website on the left.

Os ensaios podem ser realizados segundo as seguintes categorias:

- 0 Ensaios realizados nas instalações permanentes do laboratório
- 1 Ensaios realizados fora das instalações do laboratório ou em laboratórios móveis
- 2 Ensaios realizados nas instalações permanentes do laboratório e fora destas

Testing may be performed according to the following categories:

- 0 Testing performed at permanent laboratory premises
- 1 Testing performed outside the permanent laboratory premises or at a mobile laboratory
- 2 Testing performed at the permanent laboratory premises and outside

O IPAC é signatário dos Acordos de Reconhecimento Mútuo da EA e do ILAC

IPAC is a signatory to the EA MLA and ILAC MRA

O presente Anexo Técnico está sujeito a modificações, suspensões temporárias e eventual anulação, podendo a sua actualização ser consultada em www.ipac.pt.

This Annex can be modified, temporarily suspended and eventually withdrawn, and its status can be checked at www.ipac.pt.

Edição n.º 3 • Emitido em 2013-05-24 • Página 1 de 2

Fig.1. 1 - Página 1 do anexo técnico

Anexo Técnico de Acreditação N° L0585-1

Accreditation Annex nr.

CIVILCHECK, Actividades de Engenharia, Lda

N° Nr	Produto Product	Ensaio Test	Método de Ensaio Test Method	Categoria Category
ACÚSTICA E VIBRAÇÕES <i>ACOUSTICS AND VIBRATIONS</i>				
1	Acústica de Edifícios	Medição do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e elementos de fachada e determinação do índice de isolamento sonoro. Método global com altifalante	NP EN ISO 140-5:2009 NP EN ISO 717-1:2009 Nota 3 do Documento LNEC, 13 Abril 2012	1
2	Acústica de Edifícios	Medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos e determinação do índice de isolamento sonoro	NP EN ISO 140-4:2009 NP EN ISO 717-1:2009 NP EN ISO 140-14:2012 Nota 3 do Documento LNEC, 13 Abril 2012	1
3	Acústica de Edifícios	Medição do isolamento sonoro a sons de percussão de pavimentos e determinação do índice de isolamento sonoro	NP EN ISO 140-7:2008 NP EN ISO 717-2:2009 NP EN ISO 140-14:2012 Nota 3 do Documento LNEC, 13 Abril 2012	1
4	Acústica de Edifícios	Medição do tempo de reverberação Método da fonte interrompida (método de engenharia)	NP EN ISO 3382-2:2011	1
5	Acústica de Edifícios	Medição do tempo de reverberação Método da resposta impulsiva integrada. (método de engenharia)	NP EN ISO 3382-2:2011	1
6	Acústica de Edifícios	Medição dos níveis de pressão sonora de equipamentos de edifícios Determinação do nível sonoro do ruído particular	NP EN ISO 16032:2009 Nota 4 do Documento LNEC de 13 Abril 2012	1
7	Ruído Ambiente	Medição dos níveis de pressão sonora. Critério de incomodidade	NP ISO 1996-1:2011 NP ISO 1996-2:2011 Anexo I do Decreto-Lei n° 9/2007 PE 001 RA rev05	1
8	Ruído Ambiente	Medição dos níveis de pressão sonora. Determinação do nível sonoro médio de longa duração.	NP ISO 1996-1:2011 NP ISO 1996-2:2011 PE 001 RA rev5	1
FIM END				

Notas:

Notes:

PE xxx_revxx indica procedimento interno do Laboratório



Documento assinado eletronicamente por:
Leopoldo Cortez
Presidente

1.2. Objetivo

A presente dissertação tem como objetivo principal colocar ao dispor da comunidade uma proposta para classificar os requisitos acústicos dos edifícios habitacionais. Esta proposta é aplicada tanto numa construção atual e com necessidades de garantir os requisitos legais (Regulamento dos Requisitos Acústicos em Edifícios - RRAE [N.3]), como para, simplesmente, assegurar o bem-estar dos cidadãos através de uma avaliação facultativa.

Estando o nosso país a atravessar uma fase complicada, é cada vez mais difícil a venda de uma habitação. Esta solução poderá trazer uma mais-valia na sua venda, devido a que a sua classificação é baseada em medições realizadas “in situ”, que podem comprovar uma melhor qualidade do imóvel em venda.

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação está dividida em 5 capítulos.

No capítulo 2, são apresentados as considerações teóricas acústicas e uma breve descrição da evolução da regulamentação acústica.

No capítulo 3, o mais extenso deste documento, são apresentados os procedimentos acústicos para a realização das medições acústicas “in situ”, nomeadamente o tempo de reverberação, isolamentos a sons aéreos de fachada, isolamentos a sons aéreos entre compartimentos e isolamentos a sons aéreos de percussão. São também apresentadas as exigências do regulamento dos requisitos acústicos. Para terminar este capítulo são apresentadas propostas já publicadas para a classificação do nível de satisfação dos requisitos acústicos de edifícios e uma nova proposta do autor do trabalho.

No capítulo 4, é feita uma análise dos resultados de um conjunto de medições realizadas “in situ”. Esta análise é feita consoante o tipo de requisito (isolamentos a sons aéreos de fachada, isolamento a sons aéreos entre compartimentos e isolamento a sons aéreos de percussão) e o tipo de construção (nova ou remodelada). É ainda apresentado um exemplo da aplicação da nova proposta e a análise de um conjunto de dados de 140 medições realizadas “in situ” a edifícios novo e remodelados.

O capítulo 5, resume as conclusões do trabalho e as recomendações para trabalhos futuros.

Este documento é finalizado com a listagem das referências bibliográficas.

CAP. 2 - Considerações teóricas sobre acústica

CAP. 2 - Considerações teóricas sobre acústica

2.1. Introdução

Neste capítulo é apresentado a evolução da regulamentação acústica e são definidas algumas considerações teóricas acústicas fundamentais para a perceção da problemática da acústica nos edifícios de habitação.

2.2. Evolução da regulamentação acústica

A regulamentação acústica em Portugal teve início com a introdução da *Lei de Bases do Ambiente* (Decreto-Lei n.º 11/87 de 7 de Abril). No entanto o primeiro *Regulamento Geral do Ruído* (RGR) foi aprovado pelo Decreto-Lei n.º 251/87, de 24 de Junho e entrou em vigor a 1 de Janeiro de 1988. Este regulamento (RGR) reuniu legislação dispersa sobre o ruído e, no que se refere a edifícios de habitação, estabeleceu requisitos técnico-funcionais mínimos a observar nos processos de licenciamento relativos ao isolamento sonoro dos edifícios quer a sons de condução aérea das fachadas, quer a sons de condução aérea e percussão com origem em fogos contíguos. Classificou os locais para implantação de edifícios de acordo com os valores de nível sonoro produzido e proibiu a implantação de zonas residenciais ou edifícios escolares e hospitalares em certos locais (mas admitindo exceções). Sofreu, entretanto, algumas alterações e foi revisto pela primeira vez pelo Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de Novembro, do *Regime Legal sobre a Poluição Sonora* (RLPS), que alargou o seu âmbito de aplicação, criou articulação com outras leis, reforçou a atuação preventiva, adotou figuras de planeamento específicas, regulou as atividades temporárias geradoras de ruído e do ruído de vizinhança, aperfeiçoou o regime sancionatório e a previsão de medidas cautelares. Em 26 de Março de 2002 foi publicado o Decreto-Lei n.º 76/2002 (*Regulamento das Emissões Sonoras para o Ambiente do Equipamento para Utilização no Exterior*), que teve por objetivo esclarecer e definir competências na área do ruído.

O RGR foi revisto pelo Decreto-Lei n.º 09/2007, de 17 de Janeiro, com o objetivo de prevenção e controlo da poluição sonora, visando a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações. Este Regulamento é aplicado às atividades ruidosas permanentes e temporárias e outras fontes de ruído suscetíveis de causar incomodidade e o ruído de vizinhança.

O primeiro *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios* (RRAE) foi aprovado pelo Decreto-Lei n.º 129/2002, de 11 de Maio. O RRAE tem como princípios orientadores a harmonização, à luz da normalização europeia, das grandezas características do desempenho acústico dos edifícios e respetivos 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.

A 9 de Junho de 2008, foi publicado o Decreto-Lei n.º 96/2008. A principal alteração ao RRAE, foi a alteração dos índices de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea normalizados para padronizado. Foram ainda acrescentados novos tipos de edifícios.

2.3. Considerações teóricas

2.3.1. Constituição do ouvido humano

O ouvido humano é constituído por três secções distintas, de acordo com a sua função desempenhada e respetiva localização. São elas: o **ouvido externo**, o **ouvido médio** e o **ouvido interno**.

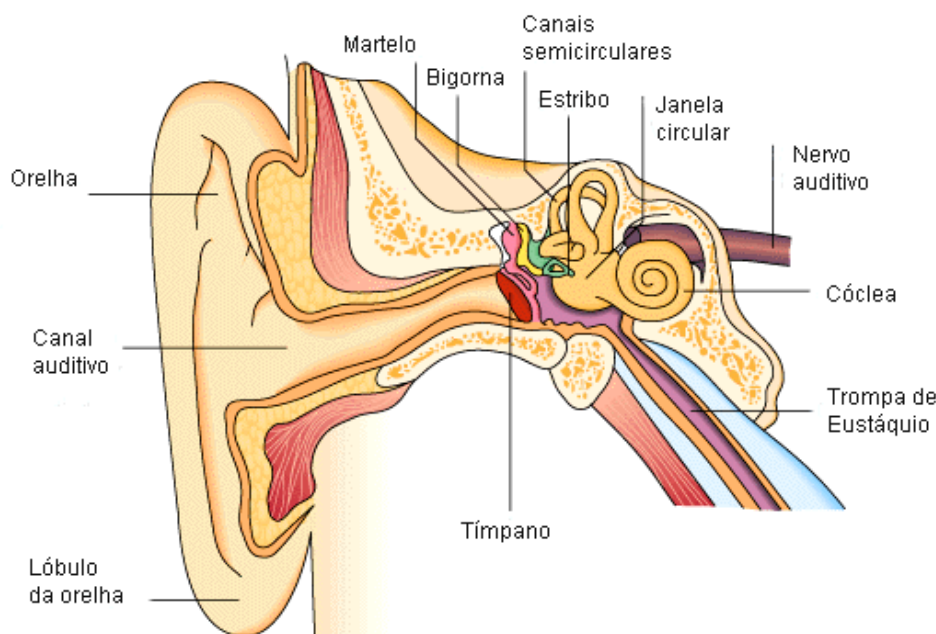


Fig.2. 1 - Ouvido Humano [4]

Ouvido externo: Dele fazem parte o **pavilhão auricular** e o **canal auditivo**, cujas funções são, respetivamente, recolher e encaminhar as ondas sonoras até ao tímpano.

Ouvido médio: Também denominado de **caixa timpânica**, é uma cavidade com ar por trás da membrana do tímpano, através da qual a energia das ondas sonoras é transmitida, do ouvido externo até à janela oval na cóclea, esta já no ouvido interno. Essa transmissão de energia é efetuada por ação de três ossos minúsculos (o **martelo**, a **bigorna** e o **estribo**) que vibram solidariamente com o tímpano. No ouvido médio existe ainda um canal denominado **trompa de Eustáquio** que o mantém em contacto com a rinofaringe. Este contacto ou comunicação destina-se a assegurar que a pressão no ouvido médio se mantenha constante. Neste processo aquele canal, a trompa de Eustáquio, funciona como válvula, abrindo e fechando constantemente.

Ouvido interno: É constituído pela **cóclea** (também denominada caracol) e pelo **labirinto**. A **cóclea** é responsável em grande parte pela nossa capacidade para diferenciar e interpretar sons. Nela opera-se uma função complexa de conversão de sinais em resultado da qual os sons recebidos são transformados em impulsos elétricos que, através do **nervo auditivo**, “caminham” até ao cérebro, onde finalmente são descodificados e interpretados.

Como se referiu, no ouvido interno, além da cóclea, existe também o **labirinto vestibular**, formado pelo **sáculo**, pelo **utrículo** (ambos órgãos responsáveis pelo equilíbrio e que informam o nosso cérebro sobre a posição do corpo no espaço) e pelos **canais semicirculares laterais, anteriores e posteriores** (que informam o cérebro sobre o movimento rotatório no espaço). Tal como no caso da cóclea, também a informação proveniente do labirinto vestibular é transmitida ao cérebro pelo nervo auditivo.

2.3.2. O som

O Som é uma forma de energia que se transmite ao longo de um determinado meio de propagação, compressível, pelo choque das moléculas constituintes desse meio umas contra as outras, o que origina variações da velocidade dessas moléculas e, conseqüentemente, flutuação da pressão existente [1].

O ouvido humano tem capacidade de identificar sons dentro de uma gama muito extensa de frequências, dos 20 Hz aos 20 kHz, acima e abaixo das quais existem, respetivamente, os ultra-sons e os infra-sons.

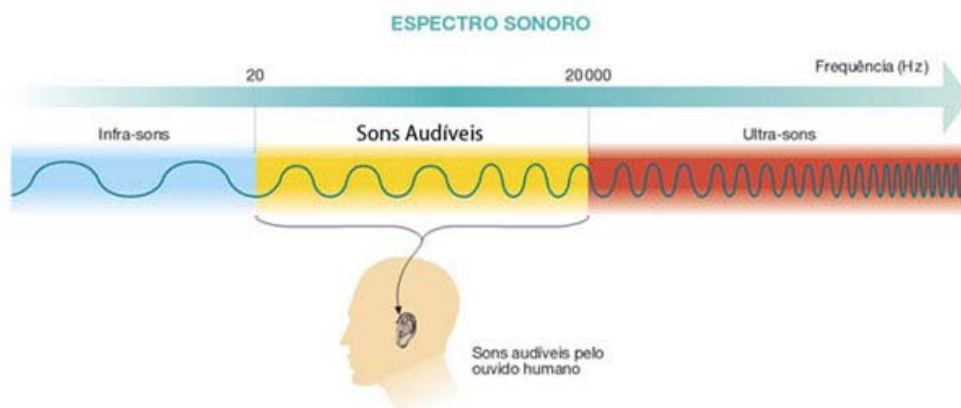


Fig.2. 2 - Espectro de frequências sonoras [W.1]

2.3.3. Velocidade do som

A velocidade de propagação do som no ar é de 340m/s à temperatura de 15°C e cresce com a temperatura seguindo a relação:

$$C \approx 331 + 0,6 \times t \quad (2.1)$$

A 20 °C a velocidade do som é $C \approx 343 \text{ m/s}$

2.3.4. Comprimento de onda, frequência e amplitude

O comprimento de uma onda sonora é a distância entre valores repetidos num modelo de onda. Esta medida é normalmente representada pela letra grega lambda (λ) [W.2]

O comprimento de onda pode ser calculado através da expressão:

$$\lambda = \frac{c}{f} [m] \quad (2.2)$$

em que:

c - velocidade do som no ar a 20 °C (68 °F), que é igual a, aproximadamente, 343 m/s;

f - frequência.

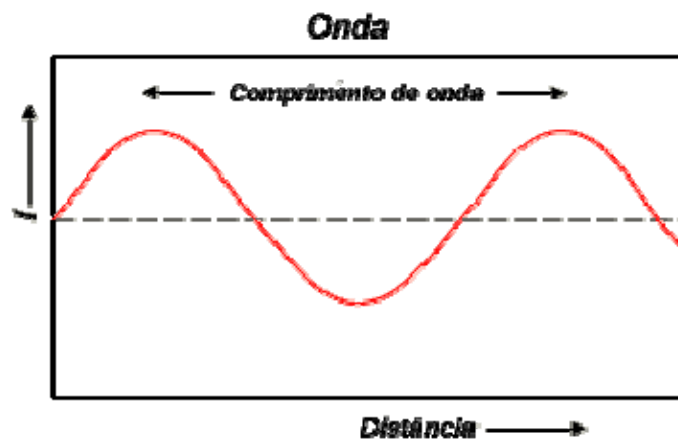


Fig.2. 3 - Comprimento de onda [W.2]

A frequência de uma onda sonora, é uma grandeza física ondulatória que indica o número de ciclos (oscilações) durante um período de tempo. [W.2]

Os sons considerados “graves” são os sons com frequências mais baixas (vibrações lentas) e os sons considerados “agudos” são os sons com frequências mais elevadas (vibrações rápidas).

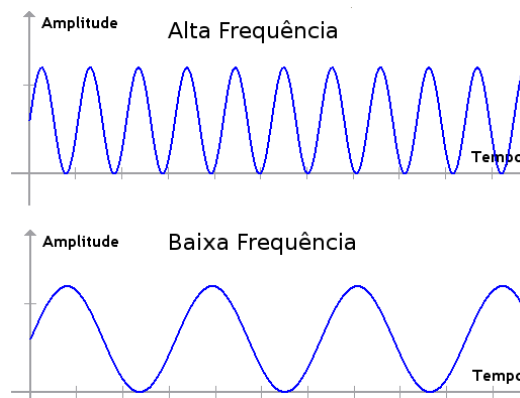


Fig.2. 4 - Tipos de Frequência [W.2]

A frequência define-se como o inverso do período, logo é igual a:

$$f = \frac{1}{T} [s^{-1}] \quad (2.3)$$

O período é o tempo de um ciclo completo de uma oscilação de uma onda. [W.2]

A amplitude de uma onda sonora é a medida da extensão de uma perturbação durante um ciclo da onda. A amplitude de uma onda sonora pode permanecer constante, sendo classificada como uma onda contínua, ou pode variar de acordo com o tempo. [W.2]

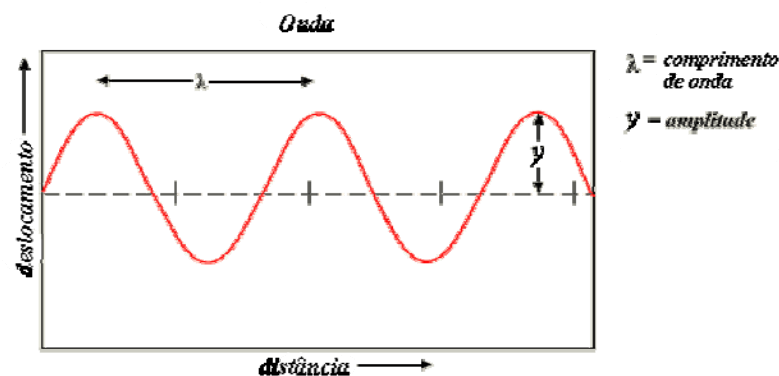


Fig.2. 5 - Amplitude de onda [W.2]

2.3.5. Pressão sonora

O ser humano consegue ouvir desde 10^{-5} Pa (valor de referência P_0), denominado limiar da audição, até 100 Pa, denominado limiar da dor. Devido a esse grande espectro de variação da pressão, é então conveniente converter esses valores para uma escala mais comprimida, que é o caso da escala logarítmica.

Outro aspeto, é o facto da percepção auditiva de aumentos de intensidade sonora não ser linear, tendo um comportamento mais semelhante à escala logarítmica.

Define-se deste modo, uma escala com a unidade Bel. O nome desta unidade foi escolhido em honra de Alexander Graham Bell, o inventor do telefone. Como essa escala na gama audível teria valores entre 0 e 1,20, optou-se por multiplicar esses valores por dez, donde temos a unidade Decibel (dB).

Assim, define-se nível de pressão, L_p como sendo:

$$L_p = 10 \log \left(\frac{P_{ef}^2}{P_{ref}^2} \right) = 20 \log \left(\frac{P_{ef}}{P_{ref}} \right) [dB] \quad (2.4)$$

em que:

P_{ef} - valor eficaz da pressão sonora para um determinado intervalo de tempo, dado pela expressão:

$$P_{ef}^2 = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} [p(t)]^2 dt \quad (2.5)$$

P_{ref} - valor da pressão de referência, igual a 2×10^{-5} Pa.

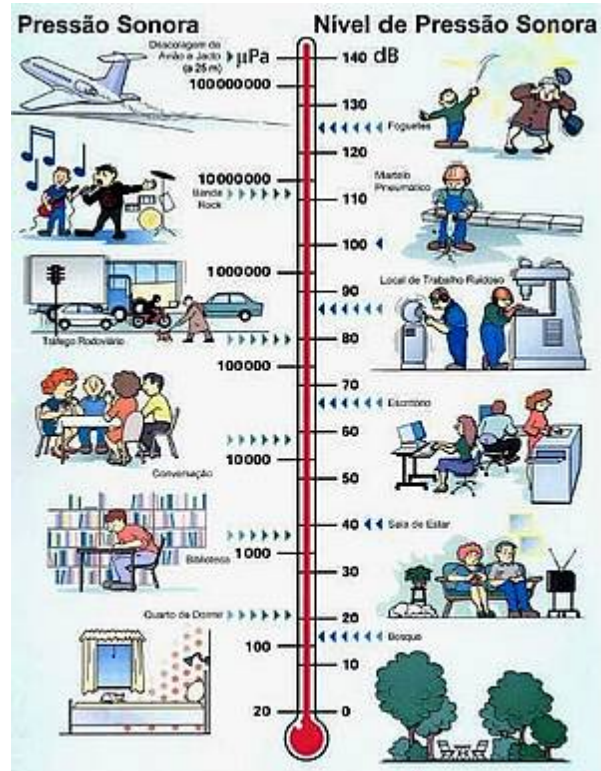


Fig.2. 6 - Exemplos de valores de pressão e níveis de pressão sonora para diversas situações [W.3]

2.3.6. Equipamento de medição

“In situ” são utilizados vários tipos de equipamentos, conforme o tipo de isolamento que se esteja a medir. Para a medição do isolamento a sons aéreos são utilizados os seguintes equipamentos:

Sonómetro - equipamento que permite a medição do isolamento acústico.



Fig.2. 7 - Sonómetro

Calibrador - permite a calibração do sonómetro.



Fig.2. 8 - Calibrador do sonómetro

Fonte omnidirecional com o amplificador - permite a criação de ruído.



Fig.2. 9 - Amplificador e fonte omnidirecional

Para a medição do isolamento a sons de percussão, além dos equipamentos já referidos, é também utilizado o seguinte equipamento:

Máquina de percussão - permite a execução da percussão do local onde se encontra.



Fig.2. 10 - Máquina de percussão

2.3.7. Certificados de calibração

Os equipamento de medição acústica têm uma frequência/periodicidade mínima de avaliação metrológica (calibração e ensaio). O IPAC recomenda através de um documento (OEC013 [N.11]) que as periodicidades sejam as seguintes:

Equipamento	Periodicidade inicial de avaliação metrológica	Notas
Sonómetro	Calibração Bienal	Verificação metrológica legal anual
Filtros de banda de oitava e terço de oitava	Calibração Bienal	
Calibrador acústico	Calibração Anual	
Pistãofone	Calibração Anual	
Anemómetro	Calibração Bienal	
Termo higrómetro	Calibração Bienal	
Máquina de percussão	Ensaio Funcional Bienal	
Calibrador de vibrações	Calibração Anual	
Sistema de medição de vibrações (analisador de vibrações e acelerómetros)	Calibração Anual	
Dosímetro	Calibração Anual	
Fonte sonora dodecaédrica	Ensaio Funcional Anual	

Fig.2. 11 - Periodicidade de calibração

Na figura seguinte apresenta-se um exemplo de um certificado de calibração de um sonómetro

The figure shows two pages of a calibration certificate from ISQ. The first page (left) is titled 'BOLETIM DE VERIFICAÇÃO' and includes the following information:

- ENTIDADE:** CENIT - Acções de Engenharia Unipessoal, Lda. Rua Di. Francisco Rebelo Quevedo Lote D3 5º Esq. - Castelo Branco - 6000-212 Castelo Branco
- INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO:**
 - Sonómetro: Marca / Modelo / Nº de série: 01 dB / Solo Premium / 62003
 - Microfone: Marca / Modelo / Nº de série: 01 dB / HCE 212 / 110125
 - Pré-amplificador: Marca / Modelo / Nº de série: 01 dB / PRE 21 S / 15077
 - Calibrador: Marca / Modelo / Nº de série: Rion / NC 74 / 34504742
- CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS:** Classe 1
- OPERAÇÃO EFECTUADA:** Verificação Periódica / 29/06/2012. Tarefa contínua e alternada - Lab. Metrol. Elect. ISQ (Portugal). Frequência - 100 (Portugal). Nível de pressão sonora - Danek (Dinamarca). Portaria 577/09 de 1 de Setembro de 2009. Proc. Interno PQ-M-DM-ACUS 02, Ed. C tendo por base os documentos de referência Norma IEC 61672-3: 2008-10. Temp.: 23,1 °C Hum. Rel.: 44,1 %. Pressão atmosf.: 99,9 kPa. **Em conformidade com os valores regulamentares. O Valor do erro de cada uma das medições efectuadas são inferiores aos valores dos erros máximos admissíveis para a classe do equipamento de medição.**
- Local / Data:** 29 de Junho de 2012
- Responsável pela Verificação:** Luis Ferreira (Responsible Técnico)

The second page (right) is titled 'BOLETIM DE VERIFICAÇÃO - cont.' and lists the following characteristics:

- Características Acústicas:**
 - Calibrador acústico: CONFORME
 - Condições de referência: CONFORME
 - Ponderação em frequência: CONFORME
 - Ruído inerente: CONFORME
- Características Eléctricas:**
 - Ruído inerente: CONFORME
 - Ponderação em frequência: CONFORME
 - Ponderação no tempo: CONFORME
 - Linearidade escala de referência/escalas: CONFORME
 - Resposta a sinais de curta duração: CONFORME
 - Indicação de sinais de pico em ponderação C: CONFORME
 - Indicação de sobrecarga: CONFORME

A large 'ISQ' watermark is visible across both pages. The bottom of the pages contains contact information for the Instituto de Metrologia e Qualidade.

Fig.2. 12 - Exemplo de um certificado de calibração de um sonómetro

CAP. 3 - Procedimientos e requisitos acústicos

CAP. 3 - Procedimentos e requisitos acústicos

3.1. Introdução

Neste capítulo serão descritos os procedimentos gerais e as normas adotadas na realização dos diversos ensaios. Em seguida são apresentados as exigências do regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios. Finalmente serão apresentadas propostas de classificação do grau de satisfação dos requisitos acústicos de edifícios e proposto uma nova proposta para atribuição de níveis de qualidade em edifícios novos ou usados.

3.2. Procedimentos gerais adotados nos ensaios

3.2.1. Procedimento geral para medição do tempo de reverberação

3.2.1.1. Âmbito e aplicação

Neste procedimento estão descritos os passos necessários para a medição tempo de reverberação de compartimentos, T. Os resultados serão utilizados para como termo de correção e pelo método de engenharia previsto na norma NP ISO 3382-2 [N.9].

3.2.1.2. Definições

T, Tempo de reverberação:

Duração requerida para que a média espacial da densidade de energia sonora num compartimento decresça de 60 dB após a emissão sonora ter cessado. O tempo de Reverberação é expresso em segundos.

$$A = \frac{0,16 \times V}{T} \quad (3.1)$$

em que:

A é a área de absorção sonora equivalente, em metros quadrados;

V é o volume do local recetor, em metros cúbicos;

T é o tempo de reverberação do local recetor, em segundos.

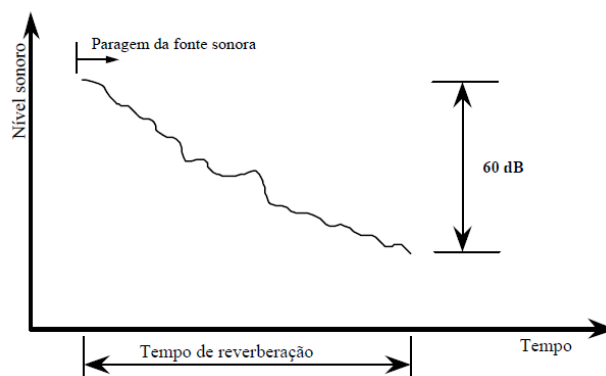


Fig.3. 1 - Tempo de reverberação

Método do ruído interrompido - método para obter a curva de decaimento através do registo direto do decaimento do nível de pressão sonora após excitação sonora da sala com ruído de banda larga ou com ruído por bandas de frequência.

Método da resposta impulsiva integrada - método para obter a curva de decaimento pela integração inversa no tempo do quadrado das respostas impulsivas.

3.2.1.3. Equipamento para a medição

Para a execução das medições “in situ” são necessários os seguintes equipamentos:

- ✓ Analisador;
- ✓ Tripé;
- ✓ Microfone;
- ✓ Calibrador;
- ✓ Adaptador de ligação;
- ✓ Fonte sonora omnidirecional;
- ✓ Amplificador de potência;
- ✓ Gerador de sinal;
- ✓ Folha de registo de dados.

3.2.1.4. Regulação do equipamento

Deve-se proceder à regulação do equipamento (regulação inicial) antes de cada conjunto de medições e uma nova regulação após a sua conclusão (regulação final).

Se a divergência entre o valor inicial e o valor final da regulação se afastar de 0,5 dB as medições devem ser repetidas.

3.2.1.5. Procedimento de medição no local

3.2.1.5.1. Tempo de reverberação

Na determinação do tempo de reverberação pelo “método do ruído interrompido” de acordo com a norma NP EN ISO 3382-2:2011, o sinal produzido pela fonte sonora deve garantir, antes de ser desligado, um nível de pressão sonora estável em todas as frequências. Assim o sinal da fonte sonora deve ser produzido por um período de, pelo menos, metade do tempo espectável para o tempo de reverberação do compartimento.

A avaliação da curva de decaimento, para cada frequência, é iniciada 5 dB abaixo do nível de pressão sonora inicial. Deve utilizar-se um intervalo (decaimento) não inferior a 20 dB nem tão elevado que impossibilite a aproximação da curva de decaimento por uma reta.

Na determinação do tempo de reverberação pelo “método da resposta impulsiva integrada” de acordo com a norma NP EN ISO 3382-2:2011, a fonte impulsiva deve ter capacidade de produzir um nível de pressão sonora de pico suficiente para garantir que a curva de decaimento se inicie, pelo menos, 35 dB acima do nível do ruído de fundo na banda de frequências correspondente. Se, se pretender medir o T_{30} , é necessário criar um nível, pelo menos, 45 dB acima do nível de ruído de fundo. A resposta impulsiva pode ser medida diretamente usando uma fonte impulsiva como um disparo de uma pistola ou outra qualquer fonte desde que ela própria não seja reverberante e o seu espectro seja suficiente largo.

3.2.1.5.2. Posições do microfone

Utilizando o método de engenharia o número mínimo de posições de fonte sonora e microfone é o seguinte:

Tabela 3. 1 - Método do ruído interrompido

Método do ruído interrompido	Engenharia ^{a)}
Combinações fonte sonora-microfone	6
Posições da fonte sonora	≥ 2
Posições do microfone	≥ 2
N.º de decaimentos em cada posição	2
a) Quando os resultados são utilizados como termo de correção para outras medições ao nível de engenharia apenas uma posição de fonte e três posições de microfone são necessários.	

Tabela 3. 2 - Método da resposta impulsiva integrada

Método da resposta impulsiva integrada	Engenharia ^{a)}
Combinações fonte sonora-microfone	6
Posições da fonte sonora	≥ 2
Posições do microfone	≥ 2
N.º de decaimentos em cada posição	2
a) Quando os resultados são utilizados como termo de correção para outras medições ao nível de engenharia apenas uma posição de fonte e três posições de microfone são necessários.	

As posições do microfone devem estar espaçadas entre si, de pelo menos 2 m e de modo a que se encontrem a pelo menos a 1 m de qualquer superfície refletora, incluindo o pavimento. A altura do microfone considerada deve ser de 1,40 m.

As medições são efetuadas, utilizando filtros de banda de um terço de oitava, tendo como frequências centrais, em hertz: 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150 hertz.

As medições poderão também ser efetuadas, por forma a verificar o disposto no Decreto-Lei n.º96/2008, utilizando filtros de banda de oitava, tendo como frequências centrais, em hertz: 125, 250, 500, 1000, 2000 e 4000 hertz.

Para cada frequência, o tempo de reverberação é determinado pela média aritmética dos valores obtidos em cada uma das medições efetuadas

3.2.1.5.3. Avaliação das curvas de decaimento

Durante o decorrer do ensaio deve-se garantir que a linearidade do decaimento tenha um coeficiente de correlação acima de 0,95 sendo esse valor dado diretamente pelo *software*.

3.2.2. Procedimentos gerais para medição de isolamento a sons aéreos de fachadas

3.2.2.1. Âmbito e aplicação

Neste ponto estão descritos os procedimentos necessários para a medição do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e de elementos de fachadas, que implica a determinação do $D_{2m,nT}$ “Isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e de elementos de fachadas, padronizado”. Para além deste parâmetro é necessário medir o L_b (nível de ruído de fundo), o T (Tempo de reverberação) e os valores obtidos em bandas de um terço de oitava, previsto na norma NP EN ISO 140-5 [N.5].

3.2.2.2. Definições

Nível médio da pressão sonora de um compartimento

$$L = 10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10}\right) \quad (3.2)$$

em que,

L é o nível médio da pressão sonora;

n é o número de medições efetuadas;

L_n é o nível de pressão sonora para n posições de medição, em decibéis.

Correção devida ao ruído de fundo:

O nível de ruído de fundo deve estar, no mínimo, 6 dB (de preferência 10 dB) abaixo do nível do sinal, combinado com o ruído de fundo. Se a diferença de nível for inferior a 10 dB, mas superior a 6 dB, devem calcular-se as correções correspondentes, em conformidade com a equação seguinte:

$$L = 10 \log(10^{\frac{L_{sb}}{10}} - 10^{\frac{L_b}{10}}) \quad (3.3)$$

em que,

L é o nível de pressão do sinal corrigido, em decibéis;

L_{sb} é o nível de pressão do sinal e do ruído de fundo associados, em decibéis;

L_b é o nível do ruído, em decibéis.

Se a diferença entre os níveis for menor ou igual a 6 dB, em qualquer banda de frequências, deve usar-se a correção de 1,3 dB, correspondente a uma diferença de 6dB.

Diferença de nível sonoro normalizado - D_{2m}

$$D_{2m} = L_{1,2m} - L_2 \quad (3.4)$$

em que,

D_{2m} é a diferença, em decibéis, entre o nível de pressão sonora no exterior, medido a 2 m da fachada, $L_{1,2m}$, é a média no espaço e no tempo do nível de pressão sonora, L_2 , no local recetor.

Diferença de nível sonoro padronizado - $D_{2m,nT}$:

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log(T/T_0) \quad (3.5)$$

em que,

$L_{1,2m}$ - nível médio de pressão sonora exterior, medido a 2 metros da fachada do edifício;

L_2 - nível médio de pressão sonora medido no local de receção;

T - tempo de reverberação do compartimento recetor, em segundos;

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

Índice de isolamento sonoro de fachadas a sons de condução aérea, padronizado $D_{2,m,nT}$:

O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea é obtido através dos índices de isolamento sonoro por bandas de frequência e pela ponderação das curvas de isolamento através da curva normalizada de referência presente na Norma ISO 717-1 [N.7].

Para bandas de terço de oitava, o processo de comparação consiste em ajustar a curva de referência à curva de isolamento, até que a soma dos desvios desfavoráveis - entendidos como valores de isolamento real inferiores aos valores da curva de referência - seja a maior possível, mas não superior a 32 dB.

Então, o valor da curva de referência relativo à frequência de 500 Hz, resultante deste procedimento, corresponde ao valor único de índice de isolamento sonoro ponderado ($D_{2,m,nT}$).

T, Tempo de reverberação:

A duração requerida para que a média espacial da densidade de energia sonora num compartimento decresça de 60 dB após a emissão sonora ter cessado. O tempo de Reverberação é expresso em segundos.

$$A = \frac{0,16 \times V}{T} \quad (3.6)$$

em que:

A é a área de absorção sonora equivalente, em metros quadrados;

V é o volume do local recetor, em metros cúbicos;

T é o tempo de reverberação do local recetor, em segundos.

3.2.2.3. Equipamento para a medição

Para a execução das medições “in situ” são necessários os seguintes equipamentos:

- ✓ Analisador;
- ✓ Tripé;
- ✓ Microfone;
- ✓ Calibrador;
- ✓ Adaptador de ligação;
- ✓ Fonte sonora omnidirecional;
- ✓ Amplificador de potência;
- ✓ Gerador de sinal;
- ✓ Folha de registo de dados.

3.2.2.4. Regulação do equipamento

Deve-se proceder à regulação do equipamento (regulação inicial) antes de cada conjunto de medições e uma nova regulação após a sua conclusão (regulação final).

Se a divergência entre o valor inicial e o valor final da regulação se afastar de 0,5 dB as medições devem ser repetidas.

3.2.2.5. Procedimento de medição no local

3.2.2.5.1. Medição do nível médio da pressão sonora no local recetor

Para cada uma das posições da fonte sonora devem ser efetuadas cinco medições com o analisador de ruído distribuídas uniformemente pelo compartimento. As posições do analisador devem ser escolhidas sempre a com um afastamento mínimo de 0,5 m das paredes ou de qualquer outro elemento refletor do compartimento, de modo a garantir uma distância mínima de 0,70 m entre cada posição do microfone e de forma a que a distância entre o microfone e a fonte sonora seja, no mínimo, igual a 1,0 m.

A altura do microfone considerada deve ser cerca de 1,5 m.

3.2.2.5.2. Tempo de reverberação

A determinação do tempo de reverberação é realizada de acordo com a norma NP EN ISO 3382-2:2011 [N.9], em recintos fechados, utilizando o método de engenharia descrito na referida norma (procedimentos de medição “in situ”), conforme descrito no ponto 3.2.1.

3.2.2.5.3. Produção do campo sonoro no exterior

A produção do campo sonoro no exterior é realizada de forma a garantir no compartimento recetor:

- ✓ O espectro, no compartimento emissor, não deve apresentar diferenças de nível superiores a 6dB entre bandas de um terço de oitava adjacentes;
- ✓ A potência sonora da fonte deve ser suficiente para que o nível de pressão sonora no compartimento recetor seja, no mínimo, 10 dB mais elevado que o nível do ruído de fundo em qualquer banda de frequências. Caso não seja possível verificar esta condição devem ser efetuadas as correções previstas na norma NP EN ISO 140-5 [N.5].

3.2.2.5.4. Ruído de fundo

A medição do ruído de fundo no compartimento recetor é realizada, em bandas de um terço de oitava, com a fonte sonora desligada. A duração e o número de medições do ruído de fundo serão as mesmas que se encontram definidas para as medições do nível médio de pressão sonora do local recetor (ponto 3.2.2.5.1).

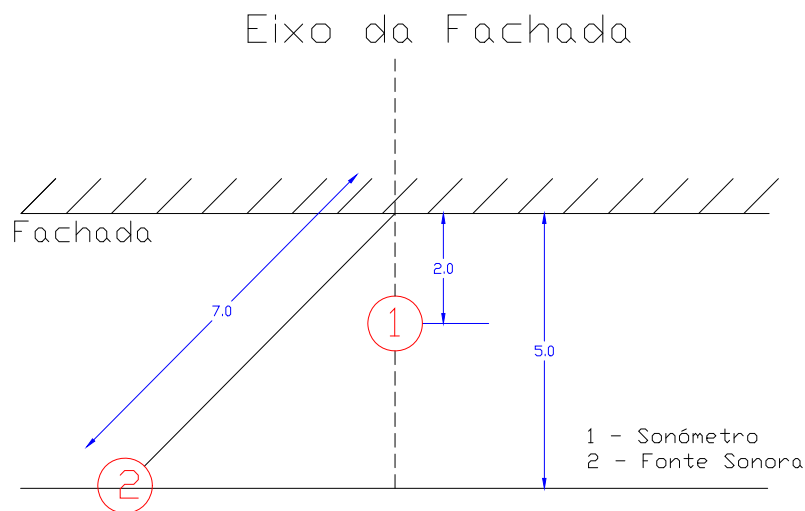
A posição do analisador de ruído deve ser escolhida sempre a pelo menos 1,0 m das paredes ou de qualquer outro elemento refletor do compartimento e a 1,5 m de janelas.

A altura do microfone considerada deve ser cerca de 1,5 m.

3.2.2.5.5. Medição do nível médio da pressão sonora defronte da fachada

O analisador de ruído deve ser colocado no centro da face exterior da fachada a uma distância de $(2,0 \pm 0,2)$ m a partir do plano da fachada ou 1,0 m a partir duma balaustrada ou de outra saliência idêntica. A altura do microfone considerada é de cerca 1,5 m acima da cota do pavimento do local recetor.

Para cada posição do microfone deve ser efetuada uma medição com a duração mínima de oito segundos.



Nota: As distâncias apresentadas encontram-se em metros

Fig.3. 2 - Esquema das distâncias à fachada

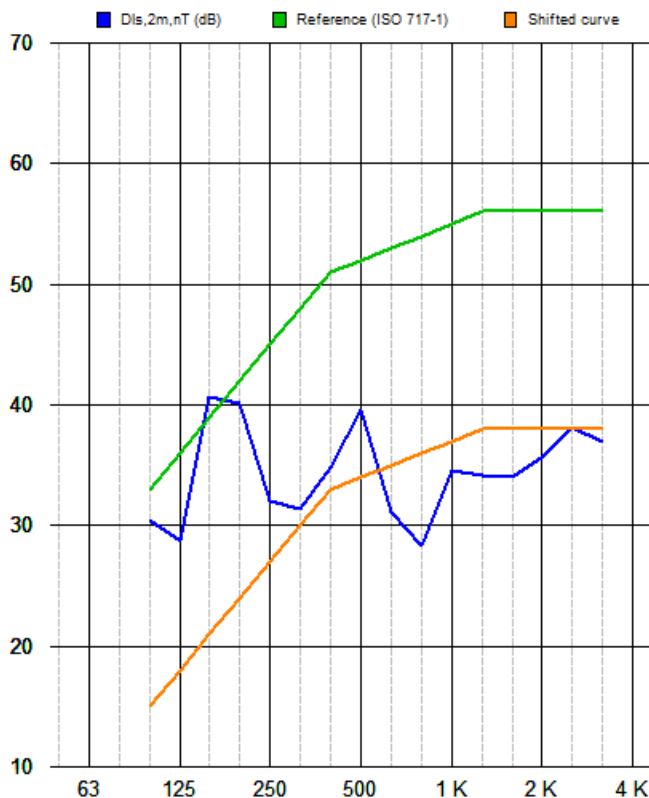
3.2.2.6. Modelo para apresentação de resultados das medições realizadas "in situ" do isolamento sonoro a sons aéreos de fachada.

Este modelo (fig.3.3) apresenta os resultados das medições realizadas "in situ" do isolamento sonoro a sons aéreos de elementos de fachada e de fachadas. A curva dos valores de referência, apresentada no modelo, é retirada da norma ISO 717-1.

**Índice de redução sonora aparente de acordo com a norma ISO 140-5
Medição do isolamento sonoro de fachadas e de elementos de fachada**

Data do ensaio: 30-05-13

Frequência f, (Hz)	$D_{s,2m,nT}$ (1/3 de oitava), dB
100	30,4
125	28,7
160	40,6
200	40,1
250	32,1
315	31,4
400	34,8
500	39,6
630	31,1
800	28,3
1000	34,6
1250	34,1
1600	34,0
2000	35,6
2500	38,2
3150	36,9



Determinação de $D_{ls,2m,nT,w}$ (C ; Ctr) (dB) : (C ; Ctr) = 34 (0 ; -1) conforme a norma ISO 717-1

Determinação baseada nos resultados obtidos por meio de um método de engenharia, com medições realizadas in situ.

Fig. 3. 3 - Modelo para sons aéreos de fachada

3.2.3. Procedimento geral para medição de isolamento a sons aéreos entre compartimentos

3.2.3.1. Âmbito e aplicação

Neste prnto estão descritos os passos necessários para a medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos, que implica a determinação do D_{nT} "Isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos, padronizado". Para além deste parâmetro é necessário medir o T (Tempo de reverberação) e as bandas de um terço de oitava, previsto na norma NP EN ISO 140-4 [N.4].

3.2.3.2. Definições

D_n , Isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos, padronizado - diferença entre o nível médio de pressão sonora medido no compartimento emissor (L_1) produzido por uma ou mais fontes sonoras, e o nível médio de pressão sonora medido no compartimento recetor (L_2), corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor.

Nível médio da pressão sonora de um compartimento

$$L = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \right) \quad (3.7)$$

em que,

L é o nível médio da pressão sonora;

n é o número de medições efetuadas;

L_n é o nível de pressão sonora para n posições de medição, em decibéis.

Correção devida ao ruído de fundo:

O nível de ruído de fundo deve estar, no mínimo, 6 dB (de preferência 10 dB) abaixo do nível do sinal, combinado com o ruído de fundo. Se a diferença de nível for inferior a 10 dB, mas superior a 6 dB, devem calcular-se as correções correspondentes, em conformidade com a equação seguinte:

$$L = 10 \log \left(10^{\frac{L_{sb}}{10}} - 10^{\frac{L_b}{10}} \right) \quad (3.8)$$

em que,

L é o nível de pressão do sinal corrigido, em decibéis;

L_{sb} é o nível de pressão do sinal e do ruído de fundo associados, em decibéis;

L_b é o nível do ruído, em decibéis.

Se a diferença entre os níveis for menor ou igual a 6 dB, em qualquer banda de frequências, deve usar-se a correção de 1,3 dB, correspondente a uma diferença de 6dB.

Isolamento sonoro bruto - D

$$D = L_1 - L_2 \quad (3.9)$$

em que,

D é a diferença, em decibéis, entre os níveis médios da pressão sonora, estabelecidos em dois compartimentos, por uma ou mais fontes sonoras, situadas dentro de um deles;

L_1 é o nível de pressão sonora médio no compartimento emissor;

L_2 é o nível de pressão sonora médio no compartimento recetor.

Isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado - D_n

$$D_n = D - 10 \log \frac{A}{A_0} \text{ dB} \quad (3.10)$$

em que,

D é o isolamento sonoro bruto, em decibéis;

A é a área de absorção sonora equivalente do compartimento recetor, em metros quadrados;

A_0 é a área de absorção sonora de referência, em metros quadrados (para compartimentos de edifícios de habitação, ou com dimensões comparáveis: $A_0 = 10 \text{ m}^2$).

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

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log(T/T_0) \quad (3.11)$$

em que,

T - tempo de reverberação do compartimento recetor, em segundos;

T_0 - tempo de reverberação de referência, em segundos; para compartimentos de habitação ou com dimensões comparáveis, $T_0 = 0,5 \text{ s}$; Quando seja atribuível em projeto, tempo de reverberação o valor de referência a considerar será o do respetivo tempo de dimensionamento.

Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado - D_{nT}

O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea é obtido através dos índices de isolamento sonoro por bandas de frequência e pela ponderação das curvas de isolamento através da curva normalizada de referência presente na Norma ISO 717-1 [N.6].

Para bandas de terço de oitava, o processo de comparação consiste em ajustar a curva de referência à curva de isolamento, até que a soma dos desvios desfavoráveis - entendidos como valores de isolamento real inferiores aos valores da curva de referência - seja a maior possível, mas não superior a 32 dB.

Então, o valor da curva de referência relativo à frequência de 500 Hz, resultante deste procedimento, corresponde ao valor único de índice de isolamento ponderado (D_{nT}).

T , *Tempo de reverberação* - duração requerida para que a média espacial da densidade de energia sonora num compartimento decresça de 60 dB após a emissão sonora ter cessado. O tempo de Reverberação é expresso em segundos.

$$A = \frac{0,16 \times V}{T} \quad (3.12)$$

em que:

A é a área de absorção sonora equivalente, em metros quadrados;

V é o volume do local recetor, em metros cúbicos;

T é o tempo de reverberação do local recetor, em segundos.

3.2.3.3. Equipamento para a medição

Para a execução das medições “in situ” são necessários os seguintes equipamentos:

- ✓ Analisador;
- ✓ Tripé;
- ✓ Microfone;
- ✓ Calibrador;
- ✓ Adaptador de ligação;
- ✓ Fonte sonora omnidirecional;
- ✓ Amplificador de potência;
- ✓ Gerador de sinal;
- ✓ Folha de registo de dados.

3.2.3.4. Regulação do equipamento

Deve-se proceder à regulação do equipamento (regulação inicial) antes de cada conjunto de medições e uma nova regulação após a sua conclusão (regulação final).

Se a divergência entre o valor inicial e o valor final da regulação se afastar de 0,5 dB as medições devem ser repetidas.

3.2.3.5. Procedimento de medição no local

3.2.3.5.1. Medição do nível médio da pressão sonora no local recetor

A fonte sonora deve ser colocada em duas posições diferentes no compartimento e de modo a que a distância do seu centro geométrico aos limites do compartimento não seja inferior a 0,5 m. A distância entre as posições da fonte sonora deverá ser superior a 1,4 m.

Para cada uma das posições da fonte sonora devem ser efetuadas cinco medições com o analisador de ruído em outras tantas posições diferentes distribuídas uniformemente pelo compartimento. As posições de analisador devem ser escolhidas sempre a pelo menos 0,5m das paredes ou de qualquer outro elemento refletor do compartimento, de modo a garantir uma distância mínima de 0,70 m entre cada posição do microfone e de forma a que a distância entre o microfone e a fonte sonora seja, no mínimo, igual a 1,0 m. A altura do microfone considerada deve ser cerca de 1,5 m. Para cada posição do microfone deve ser efetuada uma medição com a duração de seis segundos.

As medições são efetuadas, utilizando filtros de banda de um terço de oitava, tendo como frequências centrais, em hertz: 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500 e 3150.

3.2.3.5.2. Tempo de reverberação

A determinação do tempo de reverberação é realizada de acordo com a norma NP EN ISO 3382-2:2011 [N.9], em recintos fechados, utilizando o método de engenharia descrito na referida norma (procedimentos de medição “in situ”), conforme descrito no ponto 3.2.1.

3.2.3.5.3. Produção do campo sonoro no compartimento recetor

A produção do campo sonoro no compartimento recetor é realizada de forma a garantir:

- ✓ O espectro, no compartimento emissor, não deve apresentar diferenças de nível superiores a 6dB entre bandas de um terço de oitava adjacentes;
- ✓ A potência sonora da fonte deve ser suficiente para que o nível de pressão sonora no compartimento recetor seja, no mínimo, 45 dB mais elevado que o nível do ruído de fundo em qualquer banda de frequências.

3.2.3.5.4. Produção do campo sonoro no compartimento emissor

A produção do campo sonoro no compartimento recetor é realizada de forma a garantir que, o espectro, no compartimento emissor, não deve apresentar diferenças de nível superiores a 6 dB entre bandas de um terço de oitava adjacentes;

A potência sonora da fonte deve ser suficiente para que o nível de pressão sonora no compartimento recetor seja, no mínimo, 10 dB mais elevado que o nível do ruído de fundo em qualquer banda de frequências. Caso não seja possível verificar esta condição devem ser efetuadas as correções previstas na norma NP EN ISO 140-4 [N.3].

3.2.3.5.5. Ruído de fundo

A medição do ruído de fundo no compartimento recetor é realizada, em bandas de um terço de oitava, assegurando que não existe ruído produzido no compartimento emissor. A duração e o número de medições do ruído de fundo serão as mesmas que se encontram definidas para as medições do nível médio de pressão sonora do local recetor (ponto 3.2.3.5.1.).

As posições do analisador de ruído devem ser escolhidas sempre a pelo menos 1,0m das paredes ou de qualquer outro elemento refletor do compartimento e a 1,5 m de janelas. A altura do microfone considerada deve ser cerca de 1,5 m.

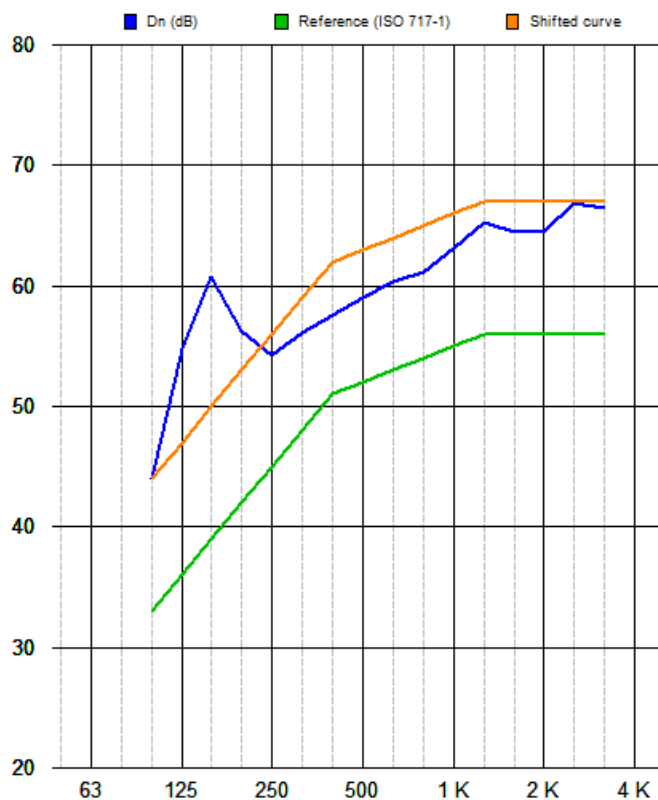
3.2.3.6. Modelo para apresentação de resultados das medições realizadas “in situ” do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos para bandas de um terço de oitava.

Este modelo (fig.3.4.) apresenta os resultados das medições realizadas “in situ” do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos. A curva dos valores de referência, apresentada no modelo, é retirada da norma ISO 717-1.

Isolamento sonoro normalizado de acordo com a norma ISO 140-4
Medições do isolamento sonoro "in situ" entre compartimentos

Data do ensaio: 30-05-13

Frequência [Hz]	Dn (1/3 oitava) [dB]
100	44,0
125	54,8
160	60,7
200	56,2
250	54,3
315	56,1
400	57,6
500	59,0
630	60,3
800	61,1
1000	63,1
1250	65,2
1600	64,5
2000	64,5
2500	66,8
3150	66,4



Determinação conforme a norma ISO 717-1 $D_{n,w} (C ; C_{tr}) (dB) : (C ; C_{tr}) = 63 (-1 ; -4)$

Determinação baseada nos resultados obtidos por meio de um método de engenharia, com medições realizadas in situ.

Fig.3. 4 - Modelo para sons aéreos entre compartimentos

3.2.4. Procedimento geral para medição de isolamento a sons de percussão

3.2.4.1. Âmbito e aplicação

Neste prnto estão descritos os passos necessários para a medição do isolamento sonoro a sons de percussão entre compartimentos, que implica a determinação do L'_{nT} "Isolamento sonoro a sons percussão entre compartimentos, padronizado". Para além deste parâmetro é necessário medir o T (Tempo de reverberação) e as bandas de um terço de oitava.

3.2.4.2. Definições

L'_{n} , *Nível sonoro de percussão padronizado:*

O índice de isolamento sonoro a sons de percussão é obtido através dos índices de isolamento sonoro por bandas de frequência e pela ponderação das curvas de isolamento através da curva normalizada de referência presente na Norma EN ISO 717-2.

$$L'_{nT} = L_i - 10 \log(T/T_0) \quad (3.13)$$

em que,

L_i - nível sonoro médio, medido no compartimento recetor, proveniente da excitação de percussão normalizada exercida no pavimento do compartimento emissor;

T - tempo de reverberação do compartimento recetor, em segundos;

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

Para bandas de terço de oitava, o processo de comparação consiste em ajustar a curva de referência à curva de isolamento, até que a soma dos desvios desfavoráveis - entendidos como valores de isolamento real superiores aos valores da curva de referência - seja a maior possível, mas não superior a 32 dB. Então, o valor da curva de referência relativo à frequência de 500 Hz, resultante deste procedimento, corresponde ao valor único de índice de isolamento ponderado (L'_{nT}).

T, *Tempo de reverberação* - duração requerida para que a média espacial da densidade de energia sonora num compartimento decresça de 60 dB após a emissão sonora ter cessado. O tempo de Reverberação é expresso em segundos.

$$A = \frac{0,16 \times V}{T} \quad (3.14)$$

em que:

A é a área de absorção sonora equivalente, em metros quadrados;

V é o volume do local recetor, em metros cúbicos;

T é o tempo de reverberação do local recetor, em segundos.

3.2.4.3. Material para a medição

Para a execução das medições “in situ” são necessários os seguintes equipamentos:

- ✓ Analisador;
- ✓ Tripé;
- ✓ Microfone;
- ✓ Calibrador;

- ✓ Adaptador de ligação;
- ✓ Fonte sonora omnidirecional;
- ✓ Amplificador de potência;
- ✓ Gerador de sinal;
- ✓ Máquina de percussão;
- ✓ Folha de registo de dados.

3.2.4.4. Regulação do equipamento

Deve-se proceder à regulação do equipamento (regulação inicial) antes de cada conjunto de medições e uma nova regulação após a sua conclusão (regulação final).

Se a divergência entre o valor inicial e o valor final da regulação se afastar de 0,5 dB as medições devem ser repetidas.

3.2.4.5. Procedimento de medição no local

3.2.4.5.1. Ruído de fundo

Deve ser realizada a medição do ruído de fundo no compartimento recetor, em bandas de terço de oitava. A medição do ruído de fundo permite verificar de que modo as medições efetuadas no compartimento recetor são afetadas por ruídos perturbadores. A duração e o número de medições do ruído de fundo serão as mesmas que se encontram definidas para as medições do ruído aéreo da máquina de percussão transmitido ao compartimento recetor.

3.2.4.5.2. Medição do ruído aéreo da máquina de percussão transmitido ao compartimento recetor

De modo a contabilizar a influência dos sons aéreos emitidos pelo funcionamento da máquina de percussão nos níveis sonoros captados pelo sonómetro no compartimento recetor é seguida a metodologia apresentada:

- ✓ Medição, no compartimento emissor, do nível sonoro emitido pela máquina de percussão (L1); Devem ser efetuadas pelo menos 4 pontos no local emissor. Por cada ponto do local emissor devem ser efetuadas 4 medições no local recetor; A duração de cada medição é de 10 segundos no mínimo;
- ✓ Cálculo do nível sonoro transmitido ao compartimento recetor, por via aérea, atendendo ao isolamento do elemento de separação (D), obtido pela diferença entre o nível sonoro emitido e o isolamento bruto a sons aéreos (L1-D), para cada frequência.

3.2.4.5.3. Correção dos níveis de ruído no compartimento recetor

Comparação do nível sonoro transmitido por via aérea (L_1-D) com o ruído de fundo (L_b) medido no recetor; o nível sonoro mais alto deve ser usado para a correção do nível sonoro medido no recetor (L_2).

O nível de ruído de fundo deve estar, no mínimo, 6 dB (de preferência 10 dB) abaixo do nível do sinal, combinado com o ruído de fundo. Se a diferença de nível for inferior a 10 dB, mas superior a 6 dB, devem calcular-se as correções correspondentes, em conformidade com a equação seguinte:

$$L = 10 \log \left(10^{(L_2/10)} - 10^{[(L_b \text{ ou } L_1 - D)/10]} \right) \quad (3.15)$$

em que,

L é o nível de pressão do sinal corrigido, em decibéis, medido no recetor;

L_2 é o nível de pressão do sinal e do ruído de fundo associados, em decibéis;

L_b ou L_{1-D} é o nível do ruído de fundo, em decibéis.

Se a diferença entre os níveis for menor ou igual a 6 dB, em qualquer banda de frequências, deve usar-se a correção de 1,3 dB, correspondente a uma diferença de 6 dB.

3.2.4.5.4. Tempo de reverberação

A determinação do tempo de reverberação é realizada de acordo com a norma NP EN ISO 3382-2:2011 [N.9], em recintos fechados, utilizando o método de engenharia descrito na referida norma (procedimentos de medição “in situ”), conforme descrito no ponto 3.2.1.

3.2.4.5.5. Produção do campo sonoro no compartimento recetor

A produção do campo sonoro no compartimento recetor é realizada de forma a garantir:

- ✓ O espectro, no compartimento emissor, não deve apresentar diferenças de nível superiores a 6dB entre bandas de um terço de oitava adjacentes;
- ✓ A potência sonora da fonte deve ser suficiente para que o nível de pressão sonora no compartimento recetor seja, no mínimo, 45 dB mais elevado que o nível do ruído de fundo em qualquer banda de frequências.

3.2.4.5.6. Produção do campo sonoro no compartimento emissor

O ruído de percussão padronizado é gerado por uma máquina de percussão. Esta deverá ser colocada aleatoriamente em quatro posições diferentes no compartimento emissor e de forma a garantir uma distância 0,5m às paredes do compartimento.

No caso em que o piso em estudo não seja constituído por um elemento uniforme, o eixo da máquina de martelos deve ser orientada a 45° em relação às paredes envolventes.

Quando os pisos em estudo tiverem um revestimento muito macio e com elevada capacidade de deformação deverá ser garantido que é possível que os martelos tenham um caimento de, no mínimo, 4 mm a partir do plano em que se encontram os suportes da máquina de martelos. Para cada uma das posições da máquina de martelos devem ser efetuadas quatro medições com o analisador de ruído em outras tantas posições diferentes distribuídas uniformemente pelo compartimento, num mínimo de 6 medições. As posições de analisador devem ser escolhidas sempre a pelo menos 0,5 m das paredes ou de qualquer outro elemento refletor do compartimento, de modo a garantir uma distância mínima de 0,70 m entre cada posição do microfone e de forma a que a distância entre o microfone e o elemento de construção em estudo seja, no mínimo, igual a 1,0 m.

A altura do microfone considerada deve ser cerca de 1,4 m.

Para cada posição do microfone deve ser efetuada uma medição com a duração de seis segundos.

As medições são efetuadas, utilizando filtros de banda de um terço de oitava, tendo como frequências centrais, em hertz: 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500 e 3150.

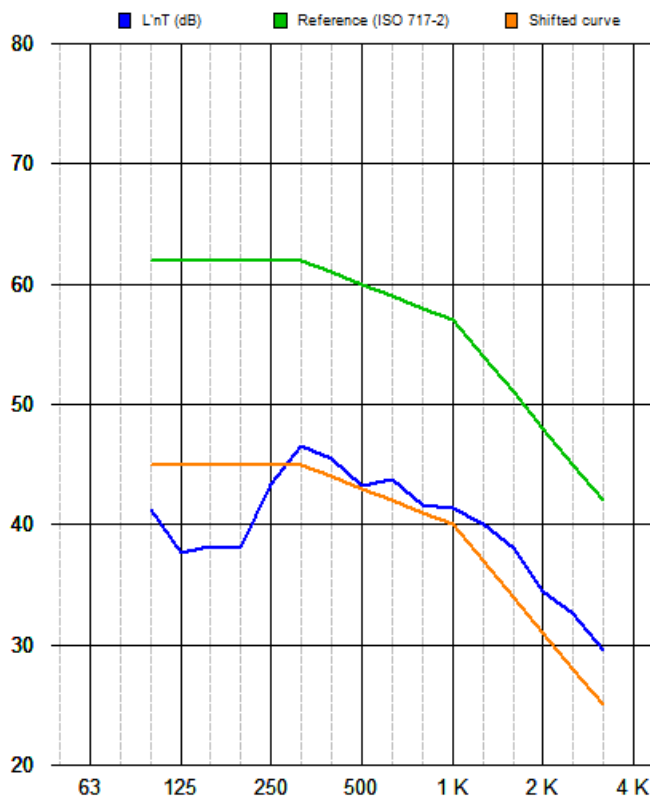
3.2.4.6. Modelo para apresentação de resultados das medições realizadas “in situ” do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos para bandas de um terço de oitava.

Este modelo (fig.3.5) apresenta os resultados das medições realizadas “in situ” do isolamento sonoro a sons de percussão entre compartimentos. A curva dos valores de referência, apresentada no modelo, é retirada da norma ISO 717-1.

Nível sonoro padronizado de percussão de acordo com a ISO 140-7
Medições de isolamento sonoro “in situ” a sons de percussão de pavimentos

Data do ensaio: 30-05-13

Frequência f, (Hz)	L'nT (1/3oitava), dB
100	41,2
125	37,6
160	38,2
200	38,0
250	43,4
315	46,5
400	45,5
500	43,2
630	43,8
800	41,7
1000	41,4
1250	40,1
1600	38,1
2000	34,5
2500	32,6
3150	29,6



Determinação de $L'_{nT,w}(CI)$ (dB): 43 (-4) de acordo com ISO 717-2

Determinação baseada nos resultados obtidos por meio de um método de engenharia, com medições realizadas “in-situ”.

Fig.3. 5 - Modelo para sons de percussão entre compartimentos

3.3. Exigências do regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios

O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), aprovado no Decreto-Lei 129/2002, de 11 de Maio [N.2], com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei 96/2008, de 9 de Junho [N.3], especifica os valores mínimos de isolamento sonoro devem ser observados nas várias partes dos edifícios.

3.3.1. Paredes exteriores

Segundo este regulamento, o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{2m,nT,w}$, entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos deve ser igual ou superior a 28 dB em zonas sensíveis e a 33 dB em zonas mistas.

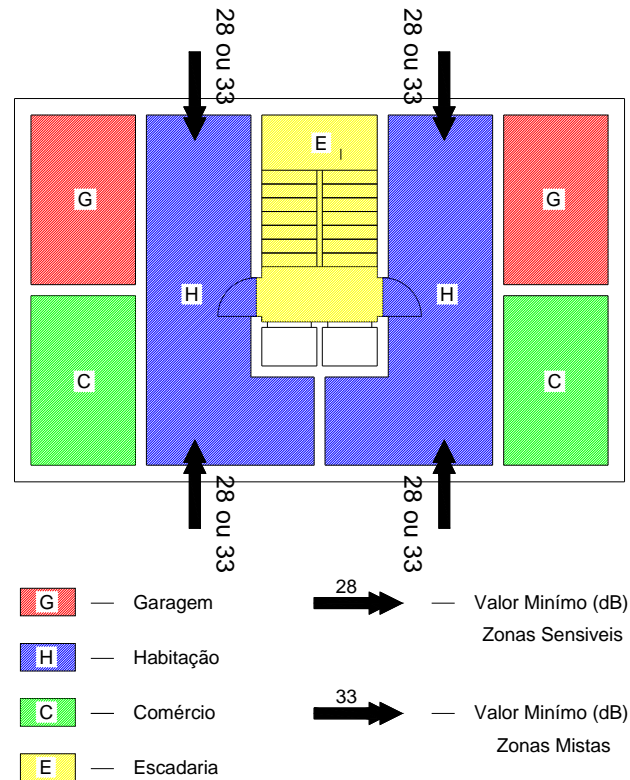


Fig.3. 6 - Planta com valores mínimos para Fachada ($D_{2mnT,w}$)

3.3.2. Paredes interiores

Para paredes interiores, o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$, deve satisfazer o seguinte:

- ✓ $D_{nT,w} \geq 50$ dB entre quartos ou zona de estar de dois fogos;
- ✓ $D_{nT,w} \geq 48$ dB entre zonas de circulação comum do edifício e quartos ou zonas de estar de um fogo;
- ✓ $D_{nT,w} \geq 40$ dB entre um caminho de circulação vertical, quando o edifício seja servido por ascensores e quartos ou zonas de estar de um fogo;
- ✓ $D_{nT,w} \geq 50$ dB entre garagem de estacionamento automóvel e quartos ou zonas de estar de um fogo;

- ✓ $D_{nT,w} \geq 58$ dB entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão e quartos ou zonas de estar de um fogo.

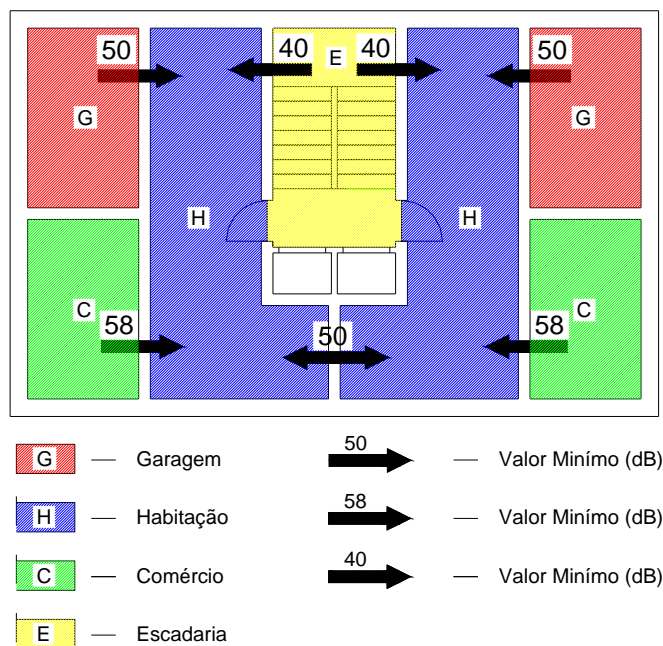


Fig.3. 7 - Planta com valores mínimos para Sons Aéreos ($D_{nT,w}$)

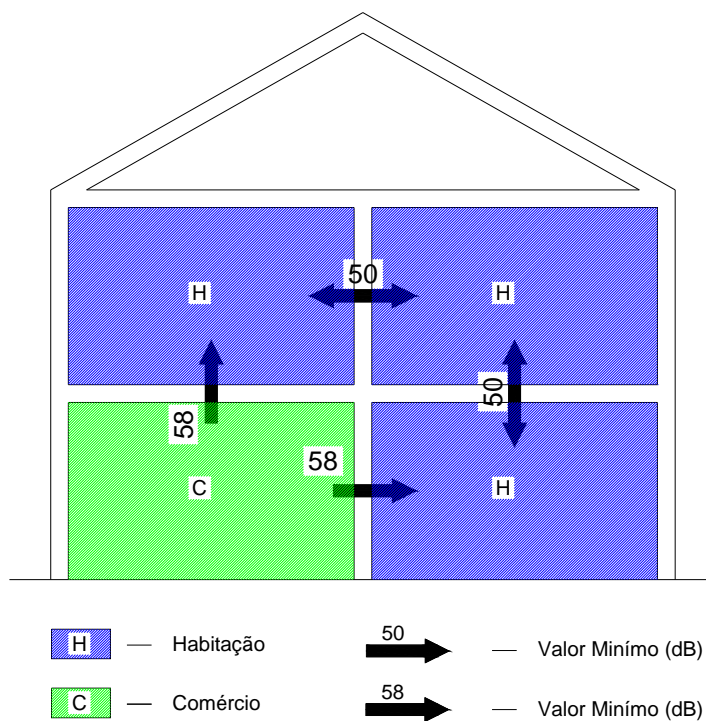


Fig.3. 8 - Corte com valores mínimos para Sons Aéreos ($D_{nT,w}$)

3.3.3. Pavimentos

O índice de isolamento sonoro a sons de percussão, $L'_{nT,w}$, entre uma percussão normalizada sobre pavimentos dos outros fogos ou de locais de circulação comum do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos deve ser igual ou inferior a 60 dB. No caso de ser uma percussão normalizada sobre de locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão e quartos ou zonas de estar dos fogos deve ser igual ou inferior a 50 dB.

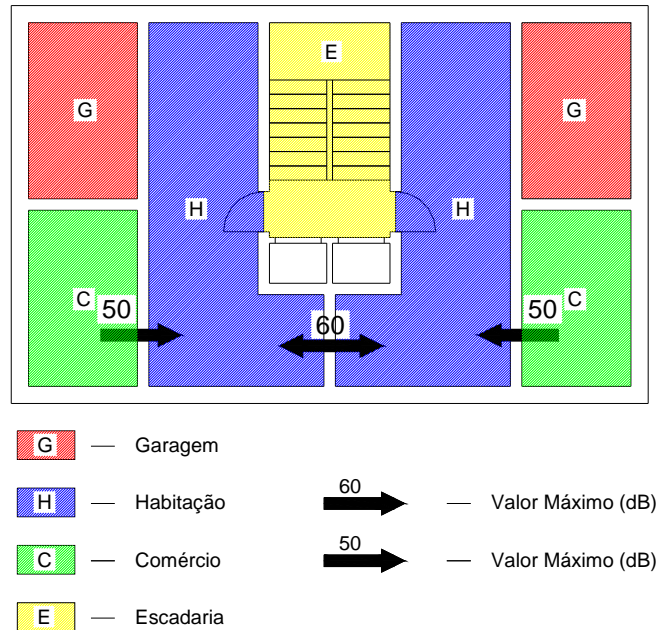


Fig.3. 9 - Planta com valores máximos para Sons de Percussão ($L'_{nT,w}$)

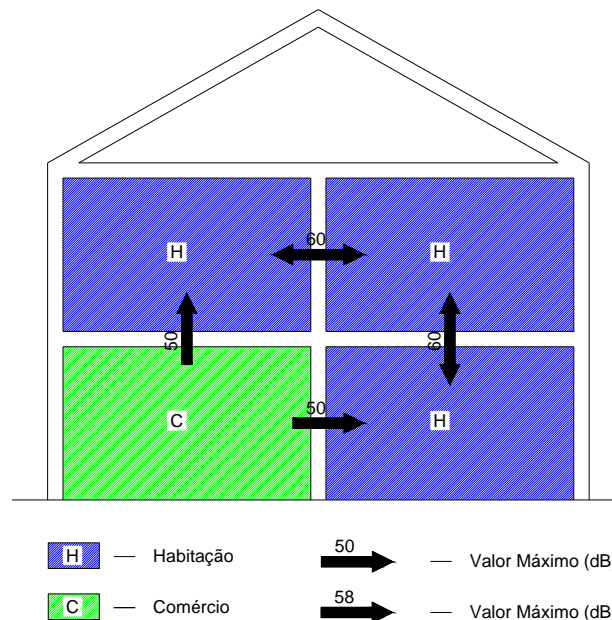


Fig.3. 10 - Corte com valores máximos para Sons de Percussão ($L'_{nT,w}$)

Tabela 3. 3 - Resumo dos requisitos acústicos exigidos em edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras (art.º 5º do RRAE).

Alínea	Elemento / local	Mínimo Regulamentar
1 a) i)	Entre o exterior e quartos ou zonas de estar.	$D_{2m,nT,w} + (C;Ctr) > 33$ dB - em zonas mistas ou zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º1 do art. 11 do RGR.
1 a) ii)		$D_{2m,nT,w} + (C;Ctr) > 28$ dB - em zonas sensíveis reguladas pela alínea b) do n.º1 do art. 11 do RGR;
1 a) iii)		C ou Ctr, somados a $D_{2m,nT,w}$, quando área translúcida superior a 60% do elemento de fachada (em função do tipo de ruído dominante na emissão).
1 b)	Entre compartimentos de um fogo e	$D_{nT,w} > 50$ dB;
1 e)	quartos ou zonas de estar de outro fogo.	$L'_{nT,w} < 60$ dB.
1 c) i)	Entre locais de circulação comum e	$D_{nT,w} > 48$ dB
1 c) ii)	quartos ou zonas de estar dos fogos.	$D_{nT,w} > 40$ dB se o local emissor for um caminho de circulação vertical, quando o edifício seja servido por ascensores;
1 c) iii)		$D_{nT,w} > 50$ dB se o local emissor for uma garagem de estacionamento automóvel.
1 d)	Entre locais do edifício destinados a	$D_{nT,w} > 58$ dB
1 e)	comércio, indústria, serviços ou diversão e quartos ou zonas de estar dos fogos.	$L'_{nT,w} < 50$ dB

3.4. Relatório de ensaio

Conforme indicados nas normas NP EN ISO 140-4, NP EN ISO 140-5 e NP EN ISO 140-7, o relatório de ensaio deve compreender as informações seguintes:

- ✓ Referência à presente parte da norma ISO 140;
- ✓ Nome do organismo que realizou as medições;
- ✓ Nome e morada da entidade ou da pessoa que encomendou o ensaio (cliente);
- ✓ Data do ensaio;
- ✓ Descrição e identificação do tipo de construção e da configuração do ensaio;
- ✓ Volumes dos dois compartimentos;
- ✓ A área da superfície de ensaio (para isolamento a sons aéreos de fachada);
- ✓ O isolamento sonoro bruto normalizado D_n , ou o isolamento sonoro bruto padronizado D_{nT} , ou a redução sonora aparente R' , do elemento de separação em função da frequência, nos diversos casos;
- ✓ O valor da área S usada para a determinação de R' ;
- ✓ Uma breve descrição dos detalhes do procedimento e do equipamento de ensaio;
- ✓ A indicação dos resultados considerados como limites das medições, dados sob a forma de: D_n , D_{nT} ou $R' \geq$ dB, no caso em que o nível de pressão sonora em qualquer banda de frequências não seja mensurável devido ao ruído de fundo (acústico ou elétrico);

- ✓ As transmissões marginais na mesma forma que R' . Tanto quanto possível, deve mencionar-se, claramente, quais as componentes da potência sonora emitida que integram as medições da transmissão marginal;
- ✓ O valor do nível de pressão sonora devido à ação de percussão, normalizado, L'_{n} ou o valor do nível de pressão sonora de percussão, padronizado L'_{nT} , em função da frequência, conforme mais apropriado;
- ✓ A indicação dos resultados que devem ser considerados como limites da medição. Devem ser apresentados sob a forma de L'_{n} ou $L'_{nT} \leq \dots \text{dB}$; isto aplica-se, se existirem bandas onde não seja possível medir o nível de pressão sonora, devido à ocorrência do ruído de fundo (acústico ou elétrico).

Deve ainda constar no relatório de ensaio o símbolo do IPAC com a identificação do número de acreditação do laboratório que executa os ensaios.



Fig.3. 11 - Símbolo de Acreditação dos Laboratórios

Apresentam-se nas figuras 3.12, 3.13, e 3.14 modelos das folhas utilizadas para a apresentação dos relatórios de ensaio.

Medição do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e elementos de fachada e determinação do índice isolamento sonoro (Método global com altifalante)			
Cliente:		Local do ensaio:	
Data do Ensaio:		Tipologia:	Prédio
Compartimento Emissor	Exterior	Compartimento Receptor	Sala (1º Andar)
Equipamento: <u>Sonómetro</u> 01dB, modelo Solo Master, nº série 62003; <u>Calibrador</u> Rion, modelo NC-74, nº série 34504742.		Descrição do Elemento: Paredes exteriores em alvenaria de pedra com 50 cm de espessura. Caixilharia em alumínio com vidros duplos. Portadas interiores.	
Normas Regulamentares: <u>NP EN ISO 140-5/2009;</u> <u>NP EN ISO 717-1/2009.</u>		Leis Regulamentares: Decreto-Lei 129/2002, de 11 de Maio, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei 96/2008, de 9 de Junho.	
Enquadramento Regulamentares: Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras, artigo 5º do Decreto-Lei n.º 96/2008; Incerteza = 3dB, alínea a) do n.º6 do artigo 5º do Decreto-Lei n.º 96/2008.			
$D_{2m,nT,w}$ in situ; $D_{2m,nT,w} = 34 (0; -1)$ dB Quando área translúcida for superior a 60 %, adicionar o termo apropriado C ou C_{tr}		Tempo de Reverberação de Referência 0,50 s	
Considerando o factor de incerteza, $l = 3$ dB Área translúcida – Inferior a 60% $D_{2m,nT,w} + l = 34 + 3 = 37$ dB		Condição Regulamentar: Zonas Mistas: $D_{2m,nT,w} \geq 33$ dB Zonas Sensíveis: $D_{2m,nT,w} \geq 28$ dB	
Conclusão: O valor obtido (37 dB), nas medições efetuadas, CUMPRE os requisitos de isolamento sonoro de fachada e de elementos de fachada, estipulados pelo Decreto-lei n.º 129/2002, com as alterações introduzidas pelo Decreto-lei n.º 96/2008, caso a zona seja classificada como zona sensível. O valor obtido (37 dB), nas medições efetuadas, CUMPRE os requisitos de isolamento sonoro de fachada e de elementos de fachada, estipulados pelo Decreto-lei n.º 129/2002, com as alterações introduzidas pelo Decreto-lei n.º 96/2008, caso a zona seja classificada como zona mista. De acordo com os critérios gerais de amostragem para ensaios e medições acústicas, a utilizar na avaliação acústica dos edifícios, definidos pelo LNEC, a avaliação acústica deve ser instruído com Parecer Técnico, subscrito por técnico qualificado nos termos do número 2 do artigo 3.º do Decreto-Lei nº 96/2008, no qual sejam apreciados os critérios de amostragem seguidos e a conformidade regulamentar em causa, e sem o qual a Avaliação carece de validade processual.			
Data de Emissão:		Ref. do Relatório:	
Observações:			
_____		_____	
(Técnico)		(Técnico Responsável)	

Fig.3. 12 - Modelo para isolamento a sons aéreos de fachada

Medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos e determinação do índice de isolamento sonoro			
Cliente:		Local do ensaio:	
Data do Ensaio:		Tipologia:	Prédio
Compartimento Emissor	Estabelecimento Comercial (R/Chão)	Compartimento Recetor	Sala (1º Andar)
Equipamento: Sonómetro 01dB, modelo Solo Master, nº série 62003; Calibrador Rion, modelo NC-74, nº série 34504742.	Descrição do Elemento: Lage em betão armado e pavimento da sala (1º Andar) em mosaico cerâmico.		
Normas Regulamentares: NP EN ISO 140-4/2009; NP EN ISO 717-1/2009.	Leis Regulamentares: Decreto-Lei 129/2002, de 11 de Maio, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei 96/2008, de 9 de Junho.		
Enquadramento Regulamentares: Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras, artigo 5º do Decreto-Lei n.º 96/2008; Incerteza = 3dB, alínea a) do n.º 6 do artigo 5º do Decreto-Lei n.º 96/2008.			
$D_{nT,w}$ in situ; $D_{nT,w} = 63$ dB		Tempo de Reverberação de Referência 0,50 s	
Considerando o factor de incerteza, $l = 3$ dB $D_{nT,w} + l = 63 + 3 = 66$ dB		Condição Regulamentar: <input type="checkbox"/> Entre Fogos: $D_{nT,w} \geq 50$ dB <input checked="" type="checkbox"/> Entre Comércio e Fogo: $D_{nT,w} \geq 58$ dB	
Conclusão: O valor obtido (66 dB), nas medições efetuadas, CUMPRE os requisitos de isolamento sonoro a sons aéreos, estipulados pelo Decreto-lei n.º 129/2002, com as alterações introduzidas pelo Decreto-lei n.º 96/2008. De acordo com os critérios gerais de amostragem para ensaios e medições acústicas, a utilizar na avaliação acústica dos edifícios, definidos pelo LNEC, a avaliação acústica deve ser instruído com Parecer Técnico, subscrito por técnico qualificado nos termos do número 2 do artigo 3.º do Decreto-Lei n.º 96/2008, no qual sejam apreciados os critérios de amostragem seguidos e a conformidade regulamentar em causa, e sem o qual a Avaliação carece de validade processual.			
Data de Emissão:		Ref. do Relatório:	
Observações:			
_____		_____	
(Técnico)		(Técnico Responsável)	

Fig.3. 13 - Modelo para isolamento a sons aéreos entre compartimentos

Medição do isolamento sonoro a sons de percussão de pavimentos e determinação do índice de isolamento sonoro			
Cliente:		Local do ensaio:	
Data do Ensaio:		Tipologia:	Prédio
Compartmento Emissor	Estabelecimento Comercial (R/Chão)	Compartmento Recetor	Sala (1º Andar)
Equipamento: Sonómetro 01dB, modelo Solo Master, nº série 62003; Calibrador Rion, modelo NC-74, nº série 34504742.	Descrição do Elemento: Lage em betão armado e pavimento da sala (1º Andar) em mosaico cerâmico.		
Normas Regulamentares: NP EN ISO 140-7/2008; NP EN ISO 717-2/2009.	Leis Regulamentares: Decreto-Lei 129/2002, de 11 de Maio, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei 96/2008, de 9 de Junho.		
Enquadramento Regulamentares: Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras, artigo 5º do Decreto-Lei n.º 96/2008; Incerteza = 3dB, alínea b) do n.º 96 do artigo 5º do Decreto-Lei n.º 96/2008.			
$L'_{nT,w}$ in situ; $L'_{nT,w} = 43$ dB		Tempo de Reverberação de Referência 0,50 s	
Considerando o factor de incerteza, $I = 3$ dB $L'_{nT,w} - I = 43 - 3 = 40$ dB		Condição Regulamentar: <input type="checkbox"/> Entre Fogos: $L'_{nT,w} \leq 60$ dB <input checked="" type="checkbox"/> Entre Comércio e Fogo: $L'_{nT,w} \leq 50$ dB	
Conclusão: O valor obtido (40 dB), nas medições efetuadas, CUMPRE os requisitos de isolamento sonoro a sons de percussão, estipulados pelo Decreto-lei n.º 129/2002, com as alterações introduzidas pelo Decreto-lei n.º 96/2008. De acordo com os critérios gerais de amostragem para ensaios e medições acústicas, a utilizar na avaliação acústica dos edifícios, definidos pelo LNEC, a avaliação acústica deve ser instruído com Parecer Técnico, subscrito por técnico qualificado nos termos do número 2 do artigo 3.º do Decreto-Lei nº 96/2008, no qual sejam apreciados os critérios de amostragem seguidos e a conformidade regulamentar em causa, e sem o qual a Avaliação carece de validade processual.			
Data de Emissão:		Ref. do Relatório:	
Observações: Pavimento do estabelecimento comercial em mosaico cerâmico.			
_____ (Técnico)		_____ (Tiago Antunes – Técnico Responsável)	

Fig.3. 14 - Modelo para isolamento a sons de percussão entre compartimentos

3.5. Proposta de classificação do nível de satisfação dos requisitos acústicos dos edifícios

Na Europa foi criada a ação internacional COST TU0901, com o objetivo de integrar e harmonizar os aspetos de isolamento de som em construções sustentáveis. Cerca de dez (10) países europeus já têm um sistema próprio para classificar o desempenho acústico de edifícios de habitações novas e existentes.

A Tabela 3.4 apresenta de forma resumida, os sistemas de classificação nos diferentes países da Europa objeto de estudo [W.4].

Tabela 3. 4 - Classificação do desempenho acústico de edifícios de habitações [W.4]

Country	Class denotations ⁽¹⁾	CS Reference (latest version)	Link BC to CS	BC Reference to CS	Comment	Classes for new dwellings	Classes for "old" dwellings
DK	A/B/C/D	DS 490 (2007)	[4]	+	Class C	A, B, C	D
FI	A/B/C/D	SFS 5907 (2004)	[5]	(-)	None	BC = Class C	A, B, C
IS	A/B/C/D	IST 45 (2011)	[6]	+ ⁽²⁾	Class C ⁽²⁾	(3)	A, B, C
NO	A/B/C/D	NS 8175 (2008)	[7]	+	Class C	A, B, C	D
SE	A/B/C/D	SS 25267 (2004)	[8]	+	Class C	A, B, C	D
LT	A/B/C/D/E	STR 2.01.07 (2003)	[9]	+	Class C	A, B, C	D, E
NL	I/II/III/IV/V	NEN 1070 (1999)	[10]	-	None	BC ~ Class III	I/II/III
IT	I/II/III/IV	UNI 11367 (2010)	[11]	-	None	BC ~ Class III	I/II/III
DE	III/II/I	VDI 4100 (2007) (5)	[12]	-	None	BC ~ Class I	III, II, I
FR	QLAC / QL ⁽²⁾	Qualitel (2008)	[13]	-	None	(4)	QLAC / QL

Abbreviations: BC = Building Code (regulatory requirements); CS = Classification scheme
 (1) Classes are indicated in descending order, i.e. the best class first.
 (2) The indicated class denotations are applied for sound insulation between dwellings, but there is only one performance level for e.g. facade sound insulation.
 (3) Criteria as for Class C were published as "recommended values" in 1998. A proposal for a new building code includes a reference to Class C, approval expected late 2011. For more information, see [16].
 (4) Class/label QL for airborne sound insulation between dwellings equals BC requirement. For impact sound level, QL is 3 dB stricter than the BC.
 (5) Moreover, the German Society of Acoustics (DEGA) has published a recommendation for labelling of acoustic quality of new and existing buildings. The labelling system has seven classes described by the letters A-F and a colour code, the lower classes intended for old buildings.
 Ref.: DEGA-Empfehlung 103. "Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutzausweis", March 2009. <http://dega-schallschutzausweis.de/>.

Em Portugal também estão disponíveis vários métodos e propostas de métodos de avaliação da qualidade acústica em edifícios de habitação, nomeadamente a proposta do Prof. João Carlos Gonçalves Lanzinha contida no documento "Reabilitação de Edifícios - Metodologia de Diagnóstico e Intervenção" [2] e o Método LNEC para a avaliação e classificação da qualidade acústica de edifícios habitacionais [5].

3.5.1. Proposta de metodologia de avaliação exigencial (MEXREB)

Os aspetos relativos ao comportamento acústico avaliados nesta proposta de 21 parâmetros para avaliação exigencial, são os elementos verticais (zona opaca e envidraçados). As zonas são analisadas separadamente. Nas figuras 3.15 e 3.16, são apresentados os modos de avaliação, os critérios e os níveis de classificação.

São atribuídos níveis de qualidade individualmente, que terão a ver com o grau de satisfação das exigências e que são estabelecidas da seguinte forma: Nível 1 - Insuficiente (sempre que o valor obtido seja inferior ao mínimo); Nível 2 - Suficiente; Nível 3 - Bom; Nível 4 - Muito bom; Nível 5 - Excelente.

ELEMENTO	VERTICAL	ZONA OPACA	EXIGÊNCIA	ISOLAMENTO ACÚSTICO	A1.3
DESCRIÇÃO	Pretende-se com esta exigência garantir um nível de conforto acústico adequado nas zonas da habitação onde se exerçam actividades humanas que requeiram concentração e sossego (quartos e zonas de estar dos fogos).				
MODO DE EXPRESSÃO	Determinação do Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da parede R_p				
ASPECTOS COMPLEMENTARES A VERIFICAR	Esta exigência deverá ser complementada pela verificação dos requisitos de isolamento acústico dos envidraçados.				
MODO DE AVALIAÇÃO	1 – Verificação dos elementos constantes dos elementos escritos e desenhados do projecto, nomeadamente do eventual projecto de condicionamento acústico / verificação dos requisitos acústicos do edifício 2 – Determinação dos valores do índice de isolamento sonoro, por comparação com elementos tabelados 3 – Medição in situ das condições de isolamento acústico (neste caso, deverá ter-se em conta a contribuição dos envidraçados)				
QUANTIFICAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS COM ATRIBUIÇÃO DE NÍVEIS DE QUALIDADE	Grau de satisfação das exigências regulamentares:				
		ZONA MISTA		ZONA SENSÍVEL	
	Nível 5	$R_p \geq 48$ dB		$R_p \geq 43$ dB	
	Nível 4	$45 \leq R_p < 48$		$40 \leq R_p < 43$	
	Nível 3	-		-	
	Nível 2	$43 \leq R_p < 45$		$38 \leq R_p < 40$	
ELEMENTOS COMPLEMENTARES	Nível 1		$R_p < 43$		$R_p < 38$
	Os Decretos-Lei 292/2000 de 14 de Novembro e 129/2002 regulam os requisitos acústicos a satisfazer pelos edifícios de habitação. No caso de não existir ainda classificação da zona onde se localiza o edifício, deverá considerar-se como zona mista. Por ser comum que os envidraçados têm menores índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea, considera-se que a satisfação dos valores regulamentares por parte das paredes opacas é suficiente para o cumprimento da actual exigência. Na verificação in situ deverá ter-se em conta o factor de incerteza de 3 dB.				

Nota : A definição dos requisitos considerados teve como base o RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (Decreto-Lei 129/2002 de 11 de Maio) em vigor na data de definição da exigência. Neste Regulamento o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado, era definido pelo símbolo D_n , $D_{n,w}$ ou $D_{2m,n,w}$. R_p , resistência da parede = R_w .

Fig.3. 15 - Exigência de isolamento acústico em paredes exteriores [2]

ELEMENTO	VERTICAL	ZONA	ENVIDRAÇADOS	EXIGÊNCIA	ISOLAMENTO ACÚSTICO	A2.4
DESCRIÇÃO	Pretende-se com esta exigência garantir um nível de conforto acústico adequado nas zonas da habitação onde se exerçam actividades humanas que requeiram concentração e sossego (quartos e zonas de estar dos fogos).					
MODO DE EXPRESSÃO	Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea do envidraçado – R_{env}					
ASPECTOS COMPLEMENTARES A VERIFICAR	A determinação dos valores de isolamento acústico deverá ser efectuada em conjunto com os elementos relativos à parte opaca das paredes. Deverão verificar-se igualmente as condições de vedação dos envidraçados e dos sistemas de recolha de estores.					
MODO DE AVALIAÇÃO	1 – Verificação dos elementos constantes dos elementos escritos e desenhados do projecto, nomeadamente do eventual projecto de condicionamento acústico / verificação dos requisitos acústicos do edifício 2 – Determinação dos valores do índice de isolamento sonoro, por comparação com elementos tabelados 3 – Verificação das condições de vedação dos envidraçados e do sistema de recolha de estores 3 – Medição in situ das condições de isolamento acústico					
QUANTIFICAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS COM ATRIBUIÇÃO DE NÍVEIS DE QUALIDADE	Grau de satisfação das exigências regulamentares:					
		ZONA MISTA		ZONA SENSÍVEL		
	Nível 5	$R_{env} \geq 38 - 10 \log (A_t/A_v)$		$R_{env} \geq 33 - 10 \log (A_t/A_v)$		
	Nível 4	$35 - 10 \log (A_t/A_v) \leq R_{env} < 38 - 10 \log (A_t/A_v)$		$30 - 10 \log (A_{total}/A_{env.}) \leq R_{env} < 33 - 10 \log (A_t/A_v)$		
	Nível 3	-		-		
	Nível 2	$33 - 10 \log (A_t/A_v) \leq R_{env} < 35 - 10 \log (A_t/A_v)$		$28 - 10 \log (A_{total}/A_{env.}) \leq R_{env} < 30 - 10 \log (A_t/A_v)$		
Nível 1	$R_{env} < 33 - 10 \log (A_t/A_v)$		$R_{env} < 28 - 10 \log (A_t/A_v)$			
ELEMENTOS COMPLEMENTARES	Nota: Na determinação simplificada do índice de isolamento sonoro do envidraçado exigido, considera-se que a parte opaca tem um isolamento de pelo menos 10 dB acima do verificado nos elementos envidraçados, situação corrente nos edifícios de habitação. A_t – área total da parede A_v – área envidraçada Os Decretos-Lei 292/2000 de 14 de Novembro e 129/2002 de regulam os requisitos acústicos a satisfazer pelos edifícios de habitação. No caso de não existir ainda classificação da zona onde se localiza o edifício, deverá considerar-se como zona mista. Pela importância dos envidraçados no valor do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, da envolvente dos edifícios de habitação, o rigor da verificação do cumprimento desta exigência é fundamental. Na verificação in situ deverá ter-se em conta o factor de incerteza de 3 dB.					

Nota : A definição dos requisitos considerados teve como base o RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (Decreto-Lei 129/2002 de 11 de Maio) em vigor na data de definição da exigência. Neste Regulamento, o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado, era definido pelo símbolo D_n , $D_{n,w}$ ou $D_{2m,n,w}$, sendo obtido a partir dos valores dos índices de isolamento das partes opacas e envidraçados e tendo em consideração as áreas respectivas no conjunto da parede.

Fig.3. 16 - Exigência de isolamento acústico em elementos envidraçados [2]

3.5.2. Proposta de avaliação de qualidade acústica LNEC

Esta proposta foi publicada em 2013, já no decorrer da realização desta dissertação, pelo Professor Investigador Principal Jorge Patrício, no documento com o título “Método LNEC para avaliação e classificação da qualidade acústica de edifícios habitacionais”[5].

Esta proposta apresenta uma metodologia na avaliação de três realidades físicas (níveis), usando indicadores apropriados. Esses níveis são: vizinhança próxima (envolvente ambiental), o próprio edifício (acessos comuns e conceção arquitetónica interior) e também as características do desempenho da unidade habitacional (fogo).

Esta nova metodologia de avaliação aplica-se tanto a edifícios novos como a usados. O nível de avaliação acústica final para edifícios novos vai de A a D, sendo A= qualidade muito boa, B= qualidade recomendável, C= qualidade mínima de conforto acústico e D= não cumpre o desempenho acústico adequado.

A avaliação global depende dos três níveis referidos. Cada nível tem vários elementos de avaliação. Esses elementos são baseados em questionários e aplicação de ábacos. Cada pergunta tem uma ponderação consoante a resposta seja verdadeira ou falsa e os ábacos são utilizados consoante os valores medidos “in situ”. A informação associada a cada edifício inclui as respostas à parte das perguntas através de “Verdadeiro ou Falso”. O isolamento sonoro é caracterizado com a realização de ensaios “in situ”, a avaliação associada a cada realidade física e o resultado da avaliação global efetuada.

O nível físico com a designação “Vizinhança” é composto por um questionário com 3 perguntas e a aplicação de um ábaco [5].

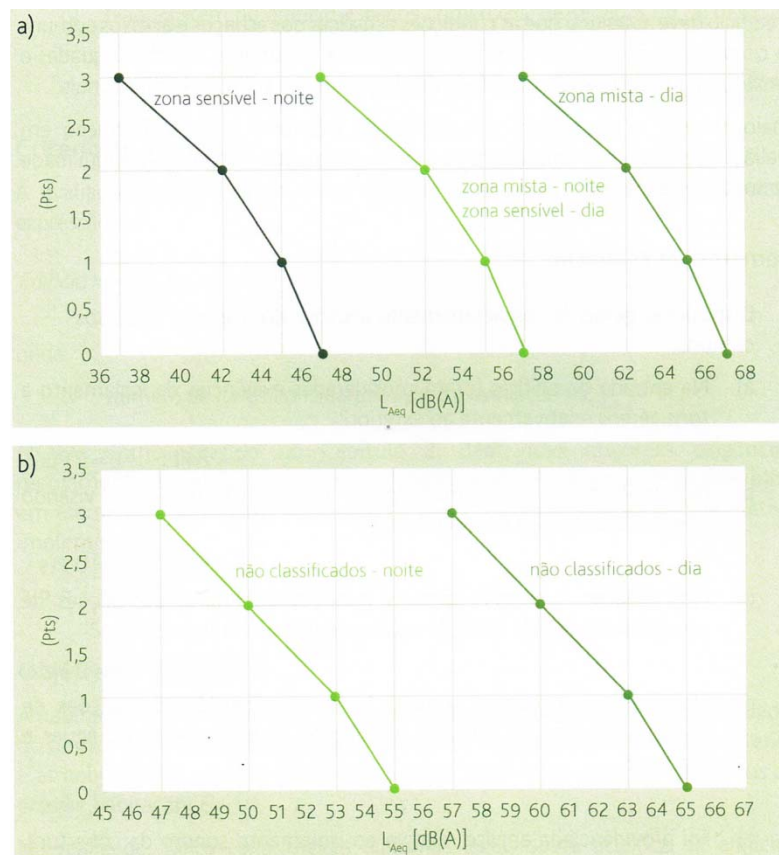


Fig.3. 17 - Ábacos do nível sonoro do ruído ambiente exterior medido (L_{den}, L_n) [5]

O critério de avaliação é calculado com base na seguinte expressão:

$$Vizinhança = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Pt_i \quad (3.16)$$

em que,

N - número de elementos considerados para a avaliação.

O nível físico com a designação “Edifício” é composto por um questionário com 9 perguntas.

O índice de avaliação é calculado com base na seguinte expressão:

$$Edifício = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Pt_i \quad (3.17)$$

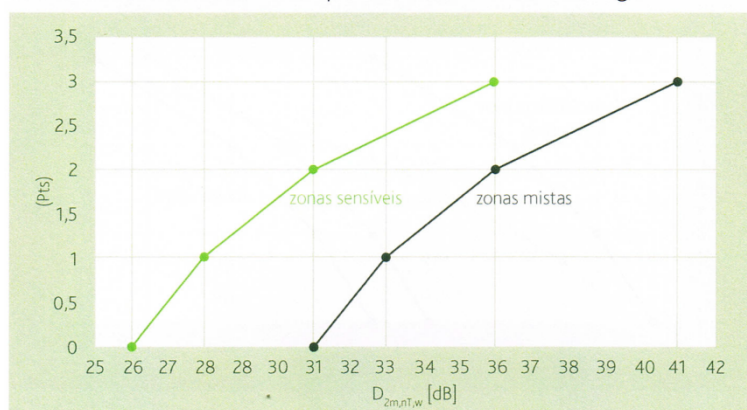
em que,

N - número de elementos considerados para a avaliação ($N_{\text{máximo}}=9$).

A avaliação do nível físico com a designação “Habitação” é composta pela aplicação de oito ábacos representando as seguintes situações:

1. Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{2m,nT,w}$;
2. Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{nT,w}$, entre compartimentos de um fogo (emissão) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (recepção);
3. Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{nT,w}$, entre locais de circulação comum do edifício (emissão) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (recepção);
4. Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{nT,w}$, entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão (emissão) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (recepção);
5. Índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT,w}$, no interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos (recepção), proveniente de uma percussão normalizada exercida sobre pavimentos de outros fogos ou locais de circulação comum (emissão);
6. Índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT,w}$, no interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos (recepção), proveniente de uma percussão normalizada exercida sobre pavimentos de locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão (emissão);
7. Nível de avaliação, $L_{Ar,nT}$, do ruído particular de equipamentos coletivos do edifício, tais como ascensores, grupos hidropressores, sistemas centralizados de ventilação mecânica, automatismos de portas de garagem, postos de transformação e escoamento de águas no interior dos quartos e zonas de estar dos fogos;
8. Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{nT,w}$, entre compartimentos de estar e dormir do mesmo fogo.

- 1 Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{2m,nT,w}$ entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos



- 2 Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{nT,w}$ entre compartimentos de um fogo (emissão) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (recepção)

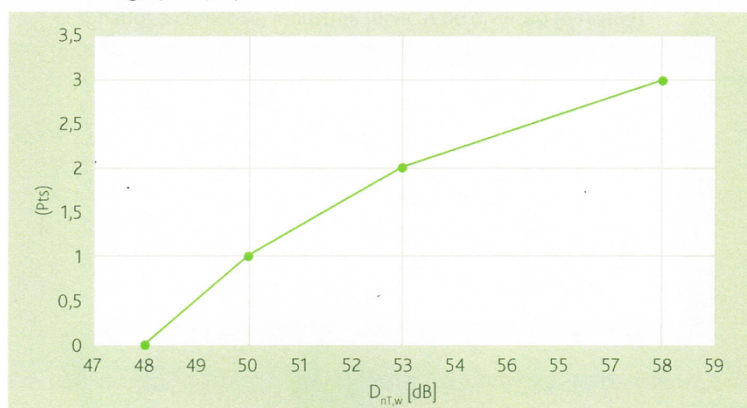


Fig.3. 18 - Exemplo de ábacos dos elementos de avaliação do nível com a designação “Habitação” [5]

Aos elementos de avaliação são atribuídos coeficiente de ponderação. Os coeficientes são os seguintes:

Tabela 3. 5 - Coeficientes de ponderação [5]

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

O índice de avaliação é calculado com base na seguinte expressão:

$$Habitação = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i P_{t_i}}{\sum_{i=1}^N \alpha_i} \quad (3.18)$$

em que,

N - número de elementos considerados para a avaliação;

P_{t_i} - pontuação média atribuída a cada elemento;

α_i - ponderação correspondente.

O nível de avaliação acústica (NAA), para cada nível físico é determinado de acordo com a tabela seguinte:

Tabela 3. 6 - Nível de avaliação acústica (NAA) [5]

NAA ≥ 2,5	Tipo A
1,5 ≤ NAA < 2,5	Tipo B
1,0 ≤ NAA < 1,5	Tipo C
NAA < 1,0	Tipo D

A classificação global da fração habitacional em avaliação é calculada com base na seguinte expressão:

$$\text{Nível de avaliação acústica (NAA)} = \frac{\sum_i W_i P_{t_i}}{\sum_i W_i} \quad (3.19)$$

em que,

W_i - fatores de ponderação dos níveis físicos em avaliação considerados, respetivamente: vizinhança (0,25); edifício (0,10); e habitação (0,65);

P_{t_i} - número de pontos atribuídos a cada nível físico em avaliação.

Na figura 3.19 apresenta-se um exemplo de aplicação da metodologia proposta pelo LNEC.

	requisito	resposta	pontuação	classificação
vizinhança	1 a)	F	0	2,3 (Tipo B)
	1 b)	V	4	
	1 c)	V	3	
	2	43	2,3	
edifício	1 a)	F	1	2,1 (Tipo B)
	1 b)	F	0	
	1 c)	V	3	
	1 d)	V	3	
	1 e)	F	0	
	2 a)	V	2	
	2 b)	V	2	
	2 c)	V	3	
	2 d)	V	5	
		1	35	
habitação	2	53	2	2,3 (Tipo A)
	3	46	3	
	4	—	—	
	5	45	3	
	6	—	—	
	7	—	1 *	
	8	—	1 *	
	global			

* Esta pontuação significa que não houve valores medidos, mas que a avaliação deve ser considerada.

Fig.3. 19 - Exemplo de aplicação da metodologia (NAA) [5]

3.5.3. Nova proposta

A legislação em vigor sobre avaliação acústica de edifícios simplesmente identifica valores mínimos ou máximos a cumprir nas medições “in situ”. No entanto e como já existe noutras áreas, por exemplo no RCCTE [N.10] em que se classificam os imóveis em 9 classe energéticas. Esta nova proposta pretende classificar também os imóveis segundo o grau de satisfação dos requisitos acústicos dos edifícios.

É proposta, uma classificação por cada ensaio realizado “in situ” e uma classificação global. A classificação de cada ensaio e de classificação final é feita de acordo com a tabela seguinte:

Tabela 3. 7 - Classificação dos ensaios

1	Fraco
2	Razoável
3	Bom
4	Muito Bom
5	Excelente

Os patamares de classificação foram atribuídos com um escalonamento de 3 em 3 dB. A escolha deste valor prende-se pelo fato de na legislação estarem previstos incertezas nas medições efetuadas, sendo o valor destas incertezas de 3 dB.

A legislação em vigor prevê diferentes tipos de ensaios para diferentes tipologias de habitações. A proposta prevê analisar os seguintes ensaios acústicos:

1. Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{2m,nT,w}$ (zonas sensíveis ou zonas mistas);
2. Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{2m,nT,w}$ (zonas sensíveis ou zonas mistas);
3. Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{nT,w}$, entre compartimentos de um fogo (emissão) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (receção) localizados horizontalmente;
4. Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{nT,w}$, entre compartimentos de um fogo (emissão) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (receção) localizados verticalmente;
5. Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{nT,w}$, entre locais de circulação comum do edifício (emissão) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (receção);
6. Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{nT,w}$, entre locais de circulação vertical com ascensor (emissão) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (receção);
7. Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{nT,w}$, entre garagens de estacionamento (emissão) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (receção);
8. Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{nT,w}$, entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão (emissão) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (receção);
9. Índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT,w}$, no interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos (receção), proveniente de uma percussão normalizada exercida sobre pavimentos de outros fogos ou locais de circulação comum (emissão) localizados horizontalmente;
10. Índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT,w}$, no interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos (receção), proveniente de uma percussão normalizada exercida sobre pavimentos de outros fogos ou locais de circulação comum (emissão) localizados verticalmente;
11. Índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT,w}$, no interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos (receção), proveniente de uma percussão normalizada exercida sobre pavimentos de locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão (emissão).

A classificação global será dada pela seguinte expressão:

$$\text{Classificação Global} = \frac{\sum C_{ens}}{N} \quad (3.20)$$

em que,

C_{ens} - Cotação dos ensaios analisados;

N - número de ensaios.

Esta proposta prevê efetuar-se uma análise por cada ensaio realizado e uma análise global dos imóveis em avaliação. A análise por ensaio tem o objetivo de identificar qual(ais) os ensaios que podem ser melhorados para classificação global melhorar.

Caso a análise seja para cumprimento da legislação, os valores mínimos ou máximos das medições “in situ” são os seguintes:

Tabela 3. 8 - Valores mínimos /máximos para as medições efetuadas para cumprimentos em edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras (art.º 5º do RRAE).

Alínea	Elemento / local	Mínimo Regulamentar
1 a) i)	Entre o exterior e quartos ou zonas de estar.	$D_{2m,nT,w} + (C;Ctr) > 30 \text{ dB}$ - em zonas mistas ou zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º1 do art.º 11 do RGR.
1 a) ii)		$D_{2m,nT,w} + (C;Ctr) > 25 \text{ dB}$ - em zonas sensíveis reguladas pela alínea b) do n.º1 do art. 11 do RGR;
1 a) iii)		C ou Ctr, somados a $D_{2m,nT,w}$, quando área translúcida superior a 60% do elemento de fachada (em função do tipo de ruído dominante na emissão).
1 b)	Entre compartimentos de um fogo e	$D_{nT,w} > 47 \text{ dB}$;
1 e)	quartos ou zonas de estar de outro fogo.	$L'_{nT,w} < 63 \text{ dB}$.
1 c) i)	Entre locais de circulação comum e	$D_{nT,w} > 45 \text{ dB}$;
1 c) ii)	quartos ou zonas de estar dos fogos.	$D_{nT,w} > 37 \text{ dB}$ se o local emissor for um caminho de circulação vertical, quando o edifício seja servido por ascensores;
1 c) iii)		$D_{nT,w} > 47 \text{ dB}$ se o local emissor for uma garagem de estacionamento automóvel.
1 d)	Entre locais do edifício destinados a	$D_{nT,w} > 55 \text{ dB}$;
1 e)	comércio, indústria, serviços ou diversão e quartos ou zonas de estar dos fogos.	$L'_{nT,w} < 53 \text{ dB}$.

Apresenta-se nas figuras 3.20 e 3.21 a proposta de modelo de avaliação da qualidade acústica em edifícios habitacionais.

CLASSIFICAÇÃO DOS REQUISITOS ACÚSTICOS DOS EDIFÍCIOS HABITACIONAIS

Identificação do fogo: _____

Fachada, D2m,nT,w

Zonas Sensíveis

	Classificação	
$D_{2m,nT,w} \leq 28$	1	
$28 < D_{2m,nT,w} \leq 31$	2	
$31 < D_{2m,nT,w} \leq 34$	3	
$34 < D_{2m,nT,w} \leq 37$	4	
$37 < D_{2m,nT,w}$	5	

Zonas Mistas

	Classificação	
$D_{2m,nT,w} \leq 33$	1	
$33 < D_{2m,nT,w} \leq 36$	2	
$36 < D_{2m,nT,w} \leq 39$	3	
$39 < D_{2m,nT,w} \leq 42$	4	
$42 < D_{2m,nT,w}$	5	

Sons Aéreos, DnT,w

Entre Fogos (Horizontalmente)

	Classificação	
$D_{nT,w} \leq 50$	1	
$50 < D_{nT,w} \leq 53$	2	
$53 < D_{nT,w} \leq 56$	3	
$56 < D_{nT,w} \leq 59$	4	
$59 < D_{nT,w}$	5	

Entre Fogos (Verticalmente)

	Classificação	
$D_{nT,w} \leq 50$	1	
$50 < D_{nT,w} \leq 53$	2	
$53 < D_{nT,w} \leq 56$	3	
$56 < D_{nT,w} \leq 59$	4	
$59 < D_{nT,w}$	5	

Zonas de Circulação Comum

	Classificação	
$D_{nT,w} \leq 48$	1	
$48 < D_{nT,w} \leq 51$	2	
$51 < D_{nT,w} \leq 53$	3	
$53 < D_{nT,w} \leq 56$	4	
$56 < D_{nT,w}$	5	

Circulação Vertical com ascensor

	Classificação	
$D_{nT,w} \leq 40$	1	
$40 < D_{nT,w} \leq 43$	2	
$43 < D_{nT,w} \leq 46$	3	
$46 < D_{nT,w} \leq 49$	4	
$49 < D_{nT,w}$	5	

Garagem de Estacionamento

	Classificação	
$D_{nT,w} \leq 50$	1	
$50 < D_{nT,w} \leq 53$	2	
$53 < D_{nT,w} \leq 56$	3	
$56 < D_{nT,w} \leq 59$	4	
$59 < D_{nT,w}$	5	

Comércio, Indústria, Serviços

	Classificação	
$D_{nT,w} \leq 58$	1	
$58 < D_{nT,w} \leq 61$	2	
$61 < D_{nT,w} \leq 63$	3	
$63 < D_{nT,w} \leq 66$	4	
$66 < D_{nT,w}$	5	

Pág. 1/2

Fig.3. 20 - Página 1 do modelo de aplicação da nova proposta

CLASSIFICAÇÃO DOS REQUISITOS ACÚSTICOS DOS EDIFÍCIOS HABITACIONAIS

Sons Percussão, L'nT,w

Entre Fogos (Horizontalmente)

Entre Fogos (Verticalmente)

		Classificação
L'nT,w ≤	60	1
60 < L'nT,w ≤	57	2
57 < L'nT,w ≤	54	3
54 < L'nT,w ≤	51	4
51 < L'nT,w		5

		Classificação
L'nT,w ≤	60	1
60 < L'nT,w ≤	57	2
57 < L'nT,w ≤	54	3
54 < L'nT,w ≤	51	4
51 < L'nT,w		5

Comércio, Industria, Serviços

		Classificação
L'nT,w ≤	50	1
50 < L'nT,w ≤	47	2
47 < L'nT,w ≤	44	3
44 < L'nT,w ≤	43	4
43 < L'nT,w		5

Somatório dos ensaios =
 N.º de ensaios =

$$Classificação\ Global = \frac{\sum C_{ens}}{N} =$$

0

Níveis de Classificação Global Obtida:

1	Fraco
2	Razoável
3	Bom
4	Muito Bom
5	Excelente

Instruções de Preenchimento:

	(ex. 45)	Colocar o valor do ensaio "in situ"
	(ex. 4)	Quantificar o n.º de ensaios "in situ"

Fig.3. 21 - Página 2 do modelo de aplicação da nova proposta

CAP. 4 - Análise de resultados

CAP.4 - Análise de resultados

4.1. Introdução

Neste capítulo são analisadas as medições acústicas realizadas *“in situ”* a 140 edifícios, durante o ano 2012 e o ano 2013 por um laboratório acreditado pelo Instituto Português de Acreditação (IPAC) e nas quais o autor participou. Todos os edifícios analisados estão enquadrados no artigo 5º do Decreto-lei no 96/2008, de 9 de Junho. Os parâmetros a analisar serão por tipo de requisito, constituição dos elementos a analisar, tipo de caixilharias, tipo de proteção dos vãos envidraçados. Será também aplicada a nova proposta de avaliação da qualidade acústica descrita no ponto 3.5.3.

4.2. Tipos de requisitos

Os tipos de requisitos em análise são três: isolamento a sons aéreos de fachada, isolamento a sons aéreos entre compartimentos e isolamento a sons de percussão.

Dos 140 ensaios realizados *“in situ”*, 110 contêm medições de isolamentos a sons aéreos de fachada, 39 contêm medições de sons aéreos entre compartimentos e 39 contêm medições de isolamento a sons de percussão.

Para todos os requisitos serão apresentadas as médias das medições efetuadas.

4.2.1. Isolamento a sons aéreos de fachada

As medições acústicas realizadas a sons aéreos de fachada incidiram em edifícios novos (81) e edifícios usados (29). Serão apresentadas várias tabelas com as médias obtidas para os diferentes tipos de requisitos.

Na tabela 4.1 são identificadas as médias para paredes constituídas por alvenaria de pedra e alvenaria de tijolo com diferentes tipos de proteção dos vãos envidraçados (caixa-de-estores, portadas exteriores e sem proteção). Todas as medições têm em comum os seguintes requisitos: edifícios novos, caixilharias em alumínio e vidros duplos.

Tabela 4. 1 - Médias das medições efetuadas a isolamento a sons aéreos de fachada de paredes em alvenaria de pedra e em alvenaria de tijolo

	Caixa-de-estores	Portadas exteriores	Sem proteção
Pedra	27 dB	34 dB	38 dB
Tijolo	35 dB	38 dB	36 dB

Na tabela 4.1 podemos observar que nos edifícios novos com caixilharias em alumínio com vidros duplos, com caixa-de-estores e com portadas exteriores apresentam médias mais

elevadas nas paredes em alvenaria de tijolo. As paredes sem qualquer tipo de proteção dos vãos envidraçados apresentam valores próximos em ambas as soluções, sendo que as paredes em alvenaria de pedra são ligeiramente mais resistentes aos ruídos provenientes do exterior das habitações.

Na tabela 4.2 são identificadas as médias para caixilharias executadas em alumínio e em madeira com diferentes tipos de proteção dos vãos envidraçados (caixa-de-estores, portadas exteriores e sem proteção). Todas as medições têm em comum os seguintes requisitos: edifícios usados paredes em alvenaria de tijolo e vidros simples.

Tabela 4. 2 - Médias das medições efetuadas a isolamento a sons aéreos de fachada com caixilharias em alumínio e em madeira

	Caixa-de-estores	Portadas exteriores	Sem proteção
Alumínio	30 dB	29 dB	26 dB
Madeira	30 dB	25 dB	27 dB

Da tabela 4.2 podemos afirmar que nos edifícios usados com paredes em alvenaria de tijolo e vidros simples, a caixa-de-estores não é o elemento que influencia a resistência da constituição da fachada, pois em ambos os tipos de caixilharias as médias são de 30 dB. Os edifícios que contêm portadas exteriores com caixilharias em alumínio são mais eficientes. Nos edifícios sem proteção dos vãos envidraçados a caixilharia de madeira é mais eficiente.

Com o intuito de efetuar a comparação dos resultados dos ensaios com construções mais antigas, foram realizadas medições a sons aéreos de fachada em edifícios construídos nas décadas de 50, 60 e 70. Foi ainda efetuada uma medição a sons aéreos de fachada de uma construção em tabique. Os resultados obtidos foram os seguintes:

Tabela 4. 3 - Medições efetuadas em edifícios de épocas diferentes

D2m,nTw	
Tabique	29 dB
Anos 50	39 dB
Anos 60	32 dB
Anos 70	34 dB

Com os dados da tabela 4.3, podemos afirmar que a construção tem vindo a melhorar ao longo dos anos. A habitação dos anos 50 obteve os melhores valores devido a uma alteração que o proprietário efetuou na fachada (aplicou caixilharias em alumínio com vidros duplos). Por este motivo não pode ser comparada diretamente com as restantes.

4.2.2. Isolamento a sons aéreos entre compartimentos

As medições acústicas realizadas a sons aéreos entre compartimentos incidiram em edifícios novos (12) e edifícios usados (27). Os requisitos a avaliar serão entre edifícios novos e usados. As constituições dos elementos são os seguintes: laje em betão armado, betonilha de regularização e pavimentos em mosaico cerâmico no recetor. Os pavimentos dos compartimentos emissores são os seguintes: mosaico cerâmico, madeira e vinil. Na tabela 4.4 são identificadas as médias para os diferentes tipos de edifícios.

Tabela 4. 4 - Médias das medições efetuadas a isolamento a sons aéreos de condução aérea entre compartimentos

	Mosaico cerâmico	Madeira	Vinil
Usados	58 dB	57 dB	55 dB
Novos	59 dB	58 dB	58 dB

Com os dados da tabela 4.43 podemos afirmar que as médias obtidas para edifícios novos são semelhantes aos edifícios usados embora mais elevados. Estes valores são semelhantes devido a que não houve muitas alterações a nível de constituição de elementos de separação de compartimentos.

4.2.3. Isolamento a sons de percussão entre compartimentos

As medições acústicas realizadas a sons de percussão entre compartimentos incidiram em edifícios novos (12) e edifícios usados (27). Os requisitos a avaliar serão entre edifícios novos e usados. As constituições dos elementos são os seguintes: laje em betão armado, betonilha de regularização e pavimentos em mosaico cerâmico no recetor. Os pavimentos dos compartimentos emissores são os seguintes: mosaico cerâmico, madeira e vinil. Na tabela 4.5 são identificadas as médias para os diferentes tipos de edifícios.

Tabela 4. 5 - Médias das medições efetuadas a isolamento a sons de percussão entre compartimentos

	Mosaico cerâmico	Madeira	Vinil
Usados	35 dB	39 dB	37 dB
Novos	42 dB	39 dB	40 dB

Com os dados da tabela 4.5 podemos afirmar que as médias obtidas para edifícios usados são melhores que para os edifícios novos.

4.3. Aplicação da nova proposta apresentada no ponto 3.5.3

As medições executadas “in situ” foram efetuadas por forma a dar cumprimento à legislação em vigor, que identifica simplesmente os valores máximos/mínimos que os elementos de compartimentação têm de cumprir.

Das 140 medições, 101 foram realizadas em moradias isoladas, 5 em moradias geminadas e 34 em edifícios mistos (espaços comerciais).

Importa salientar que a classificação proposta tem como objetivo a classificação de frações habitacionais. Desta forma serão apenas classificadas as moradias isoladas e as moradias geminadas.

4.3.1. Exemplo de aplicação da nova proposta

A aplicação da metodologia proposta às 106 medições encontra-se no anexo I. As medições foram caracterizadas segundo o tipo de edifício, o seu estado, tipo de medição (sons aéreos de fachada, sons aéreos entre compartimentos e sons de percussão entre compartimentos) e por classificação (zonas sensíveis e mistas). Na figura 4.1 é apresentado o cabeçalho e a forma de organização dos resultados das medições “in situ”.

Medições "In situ"											
N.º do Edifício	Tipo de Edifício	Estado	Fachada, DZm,nT,w			S. Aéreos, DnT,W		S. Percussão, L'nTw		Classificação Global	
			Valores "in situ"	Classificação		Valores "in situ"	Classif.	Valores "in situ"	Classif.	Classificação Global	
				Zonas Sensíveis	Zonas Mistas					Zonas Sensíveis	Zonas Mistas

Fig.4. 1 - Medições “in situ”

Apresenta-se de seguida um exemplo da aplicação da nova metodologia de classificação de imóveis segundo o grau de satisfação dos requisitos acústicos dos edifícios.

O ensaio apresentado foi analisado com as seguintes características:

- ✓ Moradia geminada nova inserida numa zona classificada como mista (fração 1);
- ✓ Paredes exteriores em alvenaria de tijolo com reboco em ambas as faces;
- ✓ Caixilharias em alumínio com vidros duplos;
- ✓ Portadas exteriores;
- ✓ Laje de separação dos fogos em betão armado;
- ✓ Revestimento dos pavimentos dos fogos em mosaico cerâmico;
- ✓ Ensaio de sons aéreos e percussão entre compartimentos verticais.

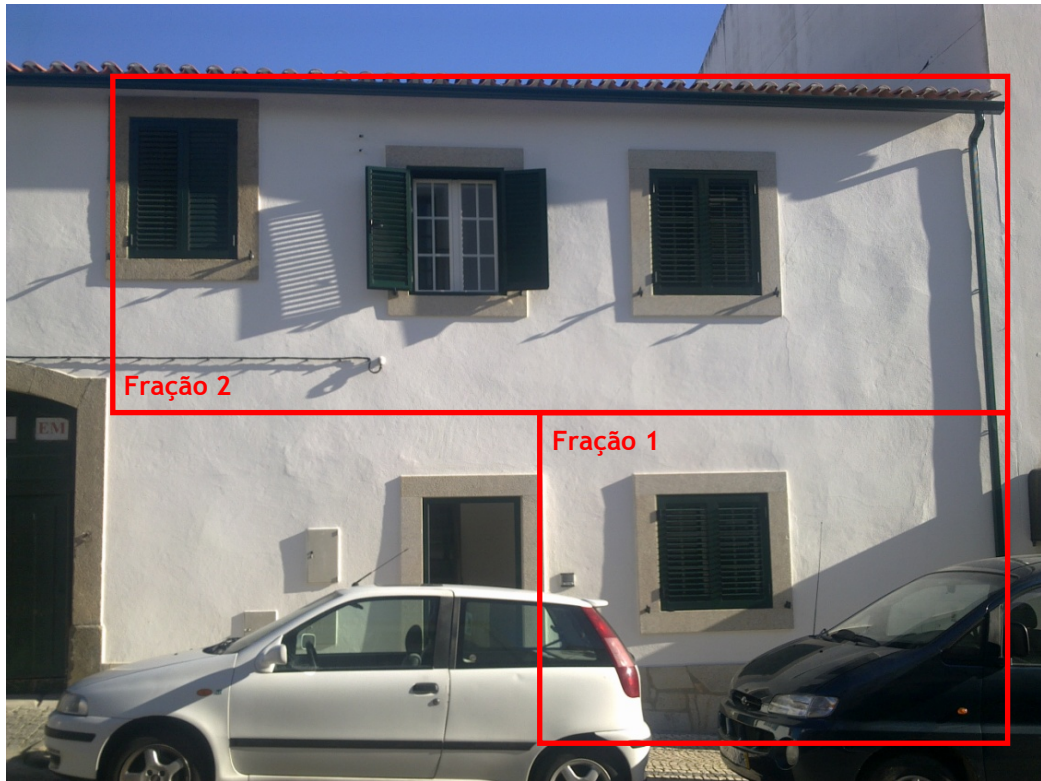


Fig.4. 2 - Fotografia da fachada

CLASSIFICAÇÃO DOS REQUISITOS ACÚSTICOS DOS EDIFÍCIOS HABITACIONAIS

Identificação do fogo: edifício n.º 7

Fachada, D2m,nT,w

Zonas Sensíveis

	Classificação
$D2m,nT,w \leq 28$	1
$28 < D2m,nT,w \leq 31$	2
$31 < D2m,nT,w \leq 34$	3
$34 < D2m,nT,w \leq 37$	4
$37 < D2m,nT,w$	5

40 Zonas Mistas

	Classificação
$D2m,nT,w \leq 33$	1
$33 < D2m,nT,w \leq 36$	2
$36 < D2m,nT,w \leq 39$	3
$39 < D2m,nT,w \leq 42$	4
$42 < D2m,nT,w$	5

Sons Aéreos, DnT,w

Entre Fogos (Horizontalmente)

	Classificação
$DnT,w \leq 50$	1
$50 < DnT,w \leq 53$	2
$53 < DnT,w \leq 56$	3
$56 < DnT,w \leq 59$	4
$59 < DnT,w$	5

49 Entre Fogos (Verticalmente)

	Classificação
$DnT,w \leq 50$	1
$50 < DnT,w \leq 53$	2
$53 < DnT,w \leq 56$	3
$56 < DnT,w \leq 59$	4
$59 < DnT,w$	5

Zonas de Circulação Comum

	Classificação
$DnT,w \leq 48$	1
$48 < DnT,w \leq 51$	2
$51 < DnT,w \leq 53$	3
$53 < DnT,w \leq 56$	4
$56 < DnT,w$	5

Circulação Vertical com ascensor

	Classificação
$DnT,w \leq 40$	1
$40 < DnT,w \leq 43$	2
$43 < DnT,w \leq 46$	3
$46 < DnT,w \leq 49$	4
$49 < DnT,w$	5

Garagem de Estacionamento

	Classificação
$DnT,w \leq 50$	1
$50 < DnT,w \leq 53$	2
$53 < DnT,w \leq 56$	3
$56 < DnT,w \leq 59$	4
$59 < DnT,w$	5

Comércio, Industria, Serviços

	Classificação
$DnT,w \leq 58$	1
$58 < DnT,w \leq 61$	2
$61 < DnT,w \leq 63$	3
$63 < DnT,w \leq 66$	4
$66 < DnT,w$	5

Pág. 1/2

Fig.4. 3 - Edifício 7 - Página 1

CLASSIFICAÇÃO DOS REQUISITOS ACÚSTICOS DOS EDIFÍCIOS HABITACIONAIS

Sons Percussão, L'nT,w

 Entre Fogos (Horizontalmente)

43 Entre Fogos (Verticalmente)

		Classificação
L'nT,w ≤	60	1
60 < L'nT,w ≤	57	2
57 < L'nT,w ≤	54	3
54 < L'nT,w ≤	51	4
51 < L'nT,w		5

		Classificação
L'nT,w ≤	60	1
60 < L'nT,w ≤	57	2
57 < L'nT,w ≤	54	3
54 < L'nT,w ≤	51	4
51 < L'nT,w		5

 Comércio, Industria, Serviços

		Classificação
L'nT,w ≤	50	1
50 < L'nT,w ≤	47	2
47 < L'nT,w ≤	44	3
44 < L'nT,w ≤	43	4
43 < L'nT,w		5

Somatório dos ensaios = 10
 N.º de ensaios = 3

$$Classificação\ Global = \frac{\sum C_{ens}}{N} = 3$$

Bom

Níveis de Classificação Global Obtida:

1	Fraco
2	Razoável
3	Bom
4	Muito Bom
5	Excelente

Instruções de Preenchimento:

 (ex. 45) Colocar o valor do ensaio "in situ"
 (ex. 4) Quantificar o n.º de ensaios "in situ"

Fig.4. 4 - Edifício 7 - Página 2

4.3.2. Análise dos resultados obtidos

Uma vez classificados todos os ensaios realizados “in situ”, foi efetuada uma análise aos resultados obtidos. Devido a não existir a classificação de zonas (sensíveis e mistas), os resultados serão analisados para ambas as situações.

4.3.2.1. Resultados para zonas classificadas como sensíveis

Caso todos os edifícios analisados estejam inseridos em zonas sensíveis, temos as seguintes classificações globais:

Tabela 4. 6 - Quantidade dos níveis de classificação - zonas sensíveis

Níveis de classificação	Quantidades
Fraco	14
Razoável	18
Bom	17
Muito Bom	19
Excelente	38

4.3.2.2. Resultados para zonas classificadas como mistas

Caso todos os edifícios analisados estejam inseridos em zonas mistas, temos as seguintes classificações globais:

Tabela 4. 7 - Quantidade dos níveis de classificação - zonas mistas

Níveis de classificação	Quantidades
Fraco	43
Razoável	18
Bom	24
Muito Bom	10
Excelente	11

4.3.2.3. Conclusão dos resultados obtidos

Dos resultados obtidos podemos afirmar que a classificação de zonas (sensíveis ou mista) influencia a classificação global. Caso as medições efetuadas sejam todas em zonas sensíveis, o nível que tem maior número é o 5 (excelente) e o que tem menor número é o 1 (fraco). Se as medições efetuadas tenham sido realizadas em zonas mistas o nível que tem maior número é o 1 (fraco) e o que tem menor número é o 5 (excelente).

De seguida apresenta-se um gráfico comparativo entre as duas zonas (sensíveis e mistas).

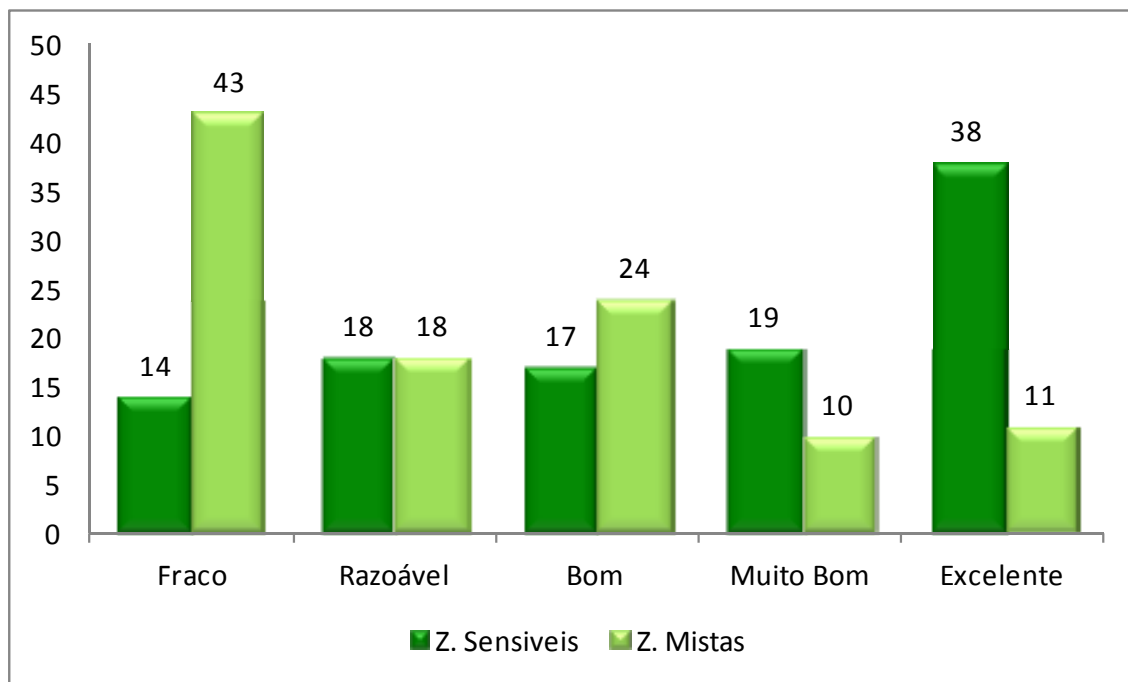


Fig.4. 5 - Gráfico comparativo da classificação por zona

Pelos dados apresentados na Fig. 4.5, podemos afirmar que a escala parece correta para as zonas que se encontram classificadas como mistas. Como poucos edifícios habitacionais obtivera uma classificação de “excelente” e devido à construção no nosso país ainda não ser a desejada para a qualidade acústica dos edifícios, podemos afirmar que a escala adotada parece adequada e está perto da realidade da construção do nosso país.

CAP. 5 - Conclusões

CAP.5 - Conclusões

5.1 Síntese dos trabalhos realizados e suas conclusões

O presente trabalho teve como objetivo principal a classificação da qualidade acústica em edifícios habitacionais para garantir uma qualidade acústica tanto no bem-estar como na saúde dos habitantes. No capítulo 2 introduziu-se a evolução da regulamentação acústica, algumas considerações teóricas e o equipamento de medição. No capítulo 3 apresentam-se os procedimentos gerais adotados nos ensaios, exemplos dos modelos de apresentação dos resultados das medições realizada “in situ”, e também as exigências do regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios. Foram também apresentadas propostas de avaliação da qualidade acústica já publicadas e uma nova proposta elaborada pelo autor. Esta proposta tem uma aplicação com base em medições “in situ”, o que torna o método bastante realista. No capítulo 4 foram analisados vários conjuntos de materiais utilizados em fachadas. Para as medições a isolamentos de sons de fachada, as soluções que obtiveram os valores mais elevados foram: as paredes constituída por alvenaria de pedra, caixilharia em alumínio com vidros duplos e sem proteção dos vãos envidraçados (com um valor de 38 dB) e as paredes constituídas por alvenaria de tijolo, caixilharia em alumínio com vidros duplos e com proteção exterior dos vão envidraçados (38 dB). Como hoje em dia praticamente já não se constroem habitações em alvenaria de pedra, podemos concluir que a melhor solução para existir conforto acústico é a parede em alvenaria de tijolo, com caixilharias em alumínio com vidros duplos e portadas exteriores. Relativamente às medições a isolamentos a sons aéreos entre compartimentos e às medições a isolamentos a sons de percussão, as medições não foram muito conclusivas uma vez que os valores medidos são semelhantes para as diferentes constituições. Neste capítulo foi ainda aplicada a proposta do autor para a classificação da qualidade acústica de edifícios habitacionais. Os resultados obtidos foram analisados para ambas as classificações de zonas (sensíveis e mistas). Na classificação de zonas como sensíveis foram obtidos 38 ensaios com classificação de excelente e 14 com classificação de fraco. Na classificação de zonas como mistas foram obtidos 11 ensaios com a classificação de excelente e 43 com classificação de fraco. Deste dados podemos afirmar que a construção no nosso país ainda se encontra muito fraca qualidade a nível de conforto acústico, pois as habitações quando solicitadas a cumprir requisitos de uma situação mais desfavorável (zonas mistas), poucos são os edifícios a obter uma classe de excelente.

5.2 Trabalhos futuros

Como recomendação para trabalhos futuros, salienta-se o facto de esta dissertação incidir sobre os edifícios habitacionais e mistos e unidades hoteleiras (artigo 5.º do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios), pelo que se poderá propor analisar a viabilidade de

classificar os restantes edifícios constantes do RRAE, nomeadamente: edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais (artigo 6.º); edifícios escolares e similares, e de investigação (artigo 7.º); edifícios hospitalares e similares (artigo 8.º); recintos desportivos (artigo 9.º); estações de transportes de passageiros (artigo 10.º); Auditórios e salas (artigo 10.º-A).

Nesta dissertação também não foi tido em conta avaliar o ruído particular de equipamentos coletivos do edifício, tais como ascensores, grupos hidropressores, sistemas centralizados de ventilação mecânica, automatismos de portas de garagem, postos de transformação de corrente elétrica e instalações de escoamento de águas, previsto na alínea h, do artigo 5.º. Como a proposta apresentada classifica individualmente as frações de habitação, poderá também ser importante estudar a influência destes equipamentos em algumas frações.

Outro tema que seria interessante ter continuidade era a comparação entre os dados obtidos “in situ” com os valores calculados em projeto. Esta comparação não foi possível, pois não eram conhecidos os valores considerados na fase de projeto.

Bibliografia

Bibliografia

Livros e teses

- [1] - Patrício, J. (2010). Acústica nos Edifícios. Lisboa: Verlag Dashöfer.
- [2] - João Carlos Gonçalves Lanzinha (2009). Reabilitação de Edifícios, Metodologia de Diagnóstico e Intervenção: Fundação Nova Europa - UBI, Covilhã.
- [3] - Leif Akerlof (1996). Acoustic Guide - Selection of Acoustic Quality in Buildings: Swedish Council for Building Research.
- [4] - Gonçalo Tomaz Lopes Almeida - Análise de Soluções Construtivas para a Verificação de Requisitos Térmicos e Acústicos em Edifícios de Habitação, Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, 2009;
- [5] - Patrício, J. (2013). Método LNEC para avaliação e classificação da qualidade acústica de edifícios habitacionais. LNEC.

Normas e regulamentos

- [N.1] - Regulamento Geral do Ruído (RGR) - Decreto- Lei n.º 9/2007, de 17 de janeiro;
- [N.2] - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) - Decreto-lei no 96/2008, de 9 de Junho;
- [N.3] - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) - Decreto-lei no 96/2008, de 9 de Junho;
- [N.4] - NP EN ISO 140 - 4:2009 - Acústica: Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção - Parte 4: Medição *"in situ"* do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos;
- [N.5] - NP EN ISO 140 - 5:2009 - Acústica: Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção - Parte 5: Medição *"in situ"* do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e de elementos de fachada;
- [N.6] - NP EN ISO 140 - 7:2008 - Acústica: Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção - Parte 7: Medição *"in situ"* do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão;
- [N.7] - NP EN ISO 717 - 1:2009 - Acústica: Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção - Parte 1: Isolamento sonoro a sons de condução aérea;
- [N.8] - NP EN ISO 717 - 2:2009 - Acústica: Determinação do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção - Parte 1: Isolamento sonoro a sons de percussão;
- [N.9] - NP EN ISO 3382 - 2:2011 - Acústica: Medição de parâmetros de acústica de salas - Parte 2: Tempo de reverberação em salas correntes;
- [N.10] - RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios - Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril;

[N.11] - OEC013 -IPAC - Requisitos específicos de acreditação - Laboratórios de ensaios de acústica e vibrações.

Internet e publicações eletrónicas

[W.1] - http://www.aulas-fisica-quimica.com/8f_07.html [consultado a 15 de Setembro de 2013];

[W.2] - <http://anasaes1.wordpress.com/2011/01/31/som-e-caracteristicas-do-som-frequecia-amplitude-e-timbre> [consultado a 15 de Setembro de 2013];

[W.3] - http://mikrotech.blogspot.pt/2009_10_01_archive.html [consultado a 15 de Setembro de 2013];

[W.4]

http://vbn.aau.dk/ws/files/55053344/FA2011_Paper534BiR_SoundClassificationSchemesEurope.pdf consultado a 15 de Setembro de 2013];

Anexos

Anexo I - Medições “in situ”

Dados das Medições “in situ”

Medições "In situ"

N.º do Edifício	Tipo de Edifício	Estado	Fachada, DZm,nT,w				S. Aéreos, DnT,W			S. Percussão, L'nTw		Classificação Global					
			Valores "in situ"	Classificação		Valores "in situ"	Classif.	Valores "in situ"	Classif.	Zonas Sensíveis		Zonas Mistas					
				Zonas Sensíveis	Zonas Mistas					Zonas Sensíveis	Zonas Mistas						
1	M. Isolada	Novo	32	3	Bom	1	Fraco						3	Bom	1	Fraco	
2	M. Isolada	Novo	38	5	Excelente	3	Bom						5	Excelente	3	Bom	
3	M. Isolada	Novo	39	5	Excelente	3	Bom						5	Excelente	3	Bom	
4	M. Isolada	Novo	38	5	Excelente	3	Bom						5	Excelente	3	Bom	
5	M. Isolada	Novo	37	5	Excelente	3	Bom						5	Excelente	3	Bom	
6	M. Isolada	Novo	28	1	Fraco	1	Fraco						1	Fraco	1	Fraco	
7	M. Geminada	Novo	40	5	Excelente	4	Muito Bom	49	1	Fraco	43	5	Excelente	4	Muito Bom	3	Bom
9	M. Geminada	Usado	32	3	Bom	1	Fraco	51	2	Razoável	59	2	Razoável	2	Razoável	2	Razoável
10	M. Isolada	Novo	37	4	Muito Bom	3	Bom						4	Muito Bom	3	Bom	
11	M. Isolada	Novo	36	4	Muito Bom	2	Razoável						4	Muito Bom	2	Razoável	
12	M. Isolada	Usado	31	2	Razoável	1	Fraco						2	Razoável	1	Fraco	
13	M. Isolada	Usado	26	1	Fraco	1	Fraco						1	Fraco	1	Fraco	
15	M. Geminada	Novo	37	4	Muito Bom	3	Bom	57	4	Muito Bom	47	5	Excelente	4	Muito Bom	4	Muito Bom
16	M. Isolada	Novo	35	4	Muito Bom	2	Razoável						4	Muito Bom	2	Razoável	
17	M. Isolada	Novo	42	5	Excelente	4	Muito Bom						5	Excelente	4	Muito Bom	
18	M. Isolada	Novo	39	5	Excelente	3	Bom						5	Excelente	3	Bom	
19	M. Isolada	Novo	38	5	Excelente	3	Bom						5	Excelente	3	Bom	
21	M. Isolada	Novo	33	3	Bom	1	Fraco						3	Bom	1	Fraco	
24	M. Isolada	Novo	48	5	Excelente	5	Excelente						5	Excelente	5	Excelente	
25	M. Isolada	Novo	29	2	Razoável	1	Fraco						2	Razoável	1	Fraco	
26	M. Isolada	Novo	39	5	Excelente	3	Bom						5	Excelente	3	Bom	
28	M. Isolada	Usado	26	1	Fraco	1	Fraco						1	Fraco	1	Fraco	
29	M. Isolada	Novo	35	4	Muito Bom	2	Razoável						4	Muito Bom	2	Razoável	
30	M. Isolada	Novo	43	5	Excelente	5	Excelente						5	Excelente	5	Excelente	
32	M. Isolada	Novo	33	3	Bom	1	Fraco						3	Bom	1	Fraco	
33	M. Isolada	Novo	28	1	Fraco	1	Fraco						1	Fraco	1	Fraco	
34	M. Isolada	Novo	43	5	Excelente	5	Excelente						5	Excelente	5	Excelente	
35	M. Isolada	Novo	29	2	Razoável	1	Fraco						2	Razoável	1	Fraco	
37	M. Isolada	Novo	39	5	Excelente	3	Bom						5	Excelente	3	Bom	
38	M. Isolada	Novo	29	2	Razoável	1	Fraco						2	Razoável	1	Fraco	
40	M. Isolada	Usado	29	2	Razoável	1	Fraco						2	Razoável	1	Fraco	
41	M. Isolada	Novo	39	5	Excelente	3	Bom						5	Excelente	3	Bom	
42	M. Isolada	Novo	36	4	Muito Bom	2	Razoável						4	Muito Bom	2	Razoável	
46	M. Isolada	Novo	38	5	Excelente	3	Bom						5	Excelente	3	Bom	
47	M. Isolada	Novo	46	5	Excelente	5	Excelente						5	Excelente	5	Excelente	
49	M. Isolada	Novo	35	4	Muito Bom	2	Razoável						4	Muito Bom	2	Razoável	
50	M. Isolada	Usado	32	3	Bom	1	Fraco						3	Bom	1	Fraco	
51	M. Isolada	Novo	35	4	Muito Bom	2	Razoável						4	Muito Bom	2	Razoável	
52	M. Isolada	Novo	48	5	Excelente	5	Excelente						5	Excelente	5	Excelente	
53	M. Geminada	Novo	37	4	Muito Bom	3	Bom	71	5	Excelente	34	5	Excelente	5	Excelente	4	Muito Bom
54	M. Isolada	Novo	46	5	Excelente	5	Excelente						5	Excelente	5	Excelente	
56	M. Isolada	Novo	33	3	Bom	1	Fraco						3	Bom	1	Fraco	
58	M. Isolada	Usado	32	3	Bom	1	Fraco						3	Bom	1	Fraco	
59	M. Isolada	Usado	35	4	Muito Bom	2	Razoável						4	Muito Bom	2	Razoável	
60	M. Isolada	Usado	28	1	Fraco	1	Fraco						1	Fraco	1	Fraco	
61	M. Isolada	Usado	35	4	Muito Bom	2	Razoável						4	Muito Bom	2	Razoável	
62	M. Isolada	Novo	33	3	Bom	1	Fraco						3	Bom	1	Fraco	
63	M. Isolada	Novo	32	3	Bom	1	Fraco						3	Bom	1	Fraco	
64	M. Isolada	Novo	31	2	Razoável	1	Fraco						2	Razoável	1	Fraco	
65	M. Isolada	Novo	32	3	Bom	1	Fraco						3	Bom	1	Fraco	
66	M. Isolada	Usado	31	2	Razoável	1	Fraco						2	Razoável	1	Fraco	
67	M. Isolada	Novo	38	5	Excelente	3	Bom						5	Excelente	3	Bom	
68	M. Isolada	Usado	36	4	Muito Bom	2	Razoável						4	Muito Bom	2	Razoável	
69	M. Isolada	Novo	28	1	Fraco	1	Fraco						1	Fraco	1	Fraco	
70	M. Isolada	Novo	38	5	Excelente	3	Bom						5	Excelente	3	Bom	
73	M. Isolada	Usado	28	1	Fraco	1	Fraco						1	Fraco	1	Fraco	
74	M. Isolada	Usado	30	2	Razoável	1	Fraco						2	Razoável	1	Fraco	
77	M. Isolada	Novo	38	5	Excelente	3	Bom						5	Excelente	3	Bom	
80	M. Isolada	Novo	41	5	Excelente	4	Muito Bom						5	Excelente	4	Muito Bom	
81	M. Isolada	Novo	31	2	Razoável	1	Fraco						2	Razoável	1	Fraco	
82	M. Isolada	Usado	37	4	Muito Bom	3	Bom						4	Muito Bom	3	Bom	
84	M. Isolada	Novo	41	5	Excelente	4	Muito Bom						5	Excelente	4	Muito Bom	
85	M. Isolada	Novo	37	4	Muito Bom	3	Bom						4	Muito Bom	3	Bom	
87	M. Isolada	Usado	34	3	Bom	2	Razoável						3	Bom	2	Razoável	
88	M. Geminada	Novo	32	3	Bom	1	Fraco	51	2	Razoável	59	2	Razoável	2	Razoável	2	Razoável
89	M. Isolada	Novo	37	4	Muito Bom	3	Bom						4	Muito Bom	3	Bom	
90	M. Isolada	Novo	43	5	Excelente	5	Excelente						5	Excelente	5	Excelente	

Medições "In situ"

N.º do Edifício	Tipo de Edifício	Estado	Fachada, D2m,nT,w				S. Aéreos, DnT,W		S. Percussão, L'nTw		Classificação Global				
			Valores "in situ"	Classificação			Valores "in situ"	Classif.	Valores "in situ"	Classif.	Zonas Sensíveis		Zonas Mistas		
				Zonas Sensíveis	Zonas Mistas										
91	M. Isolada	Usado	31	2	Razoável	1	Fraco					2	Razoável	1	Fraco
92	M. Isolada	Usado	25	1	Fraco	1	Fraco					1	Fraco	1	Fraco
93	M. Isolada	Novo	25	1	Fraco	1	Fraco					1	Fraco	1	Fraco
95	M. Isolada	Novo	31	2	Razoável	1	Fraco					2	Razoável	1	Fraco
97	M. Isolada	Novo	36	4	Muito Bom	2	Razoável					4	Muito Bom	2	Razoável
98	M. Isolada	Novo	27	1	Fraco	1	Fraco					1	Fraco	1	Fraco
99	M. Isolada	Novo	34	3	Bom	2	Razoável					3	Bom	2	Razoável
100	M. Isolada	Usado	43	5	Excelente	5	Excelente					5	Excelente	5	Excelente
101	M. Isolada	Usado	32	3	Bom	1	Fraco					3	Bom	1	Fraco
103	M. Isolada	Usado	27	1	Fraco	1	Fraco					1	Fraco	1	Fraco
105	M. Isolada	Novo	34	3	Bom	2	Razoável					3	Bom	2	Razoável
106	M. Isolada	Usado	30	2	Razoável	1	Fraco					2	Razoável	1	Fraco
107	M. Isolada	Novo	42	5	Excelente	4	Muito Bom					5	Excelente	4	Muito Bom
108	M. Isolada	Usado	41	5	Excelente	4	Muito Bom					5	Excelente	4	Muito Bom
109	M. Isolada	Novo	36	4	Muito Bom	2	Razoável					4	Muito Bom	2	Razoável
110	M. Isolada	Usado	32	3	Bom	1	Fraco					3	Bom	1	Fraco
111	M. Isolada	Novo	25	1	Fraco	1	Fraco					1	Fraco	1	Fraco
112	M. Isolada	Novo	28	1	Fraco	1	Fraco					1	Fraco	1	Fraco
115	M. Isolada	Novo	47	5	Excelente	5	Excelente					5	Excelente	5	Excelente
116	M. Isolada	Novo	37	4	Muito Bom	3	Bom					4	Muito Bom	3	Bom
117	M. Isolada	Usado	42	5	Excelente	4	Muito Bom					5	Excelente	4	Muito Bom
118	M. Isolada	Novo	45	5	Excelente	5	Excelente					5	Excelente	5	Excelente
119	M. Isolada	Novo	39	5	Excelente	3	Bom					5	Excelente	3	Bom
120	M. Isolada	Novo	33	3	Bom	1	Fraco					3	Bom	1	Fraco
122	M. Isolada	Novo	39	5	Excelente	3	Bom					5	Excelente	3	Bom
123	M. Isolada	Novo	39	5	Excelente	3	Bom					5	Excelente	3	Bom
124	M. Isolada	usado	31	2	Razoável	1	Fraco					2	Razoável	1	Fraco
125	M. Isolada	Novo	34	3	Bom	2	Razoável					3	Bom	2	Razoável
126	M. Isolada	Novo	31	2	Razoável	1	Fraco					2	Razoável	1	Fraco
127	M. Isolada	Novo	33	3	Bom	1	Fraco					3	Bom	1	Fraco
128	M. Isolada	Novo	41	5	Excelente	4	Muito Bom					5	Excelente	4	Muito Bom
131	M. Isolada	Usado	40	5	Excelente	4	Muito Bom					5	Excelente	4	Muito Bom
132	M. Isolada	Novo	30	2	Razoável	1	Fraco					2	Razoável	1	Fraco
133	M. Isolada	Novo	44	5	Excelente	5	Excelente					5	Excelente	5	Excelente
134	M. Isolada	Novo	36	4	Muito Bom	2	Razoável					4	Muito Bom	2	Razoável
135	M. Isolada	Novo	39	5	Excelente	3	Bom					5	Excelente	3	Bom
136	M. Isolada	Usado	31	2	Razoável	1	Fraco					2	Razoável	1	Fraco
139	M. Isolada	Usado	25	1	Fraco	1	Fraco					1	Fraco	1	Fraco
140	M. Isolada	Novo	38	5	Excelente	3	Bom					5	Excelente	3	Bom