

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
Departamento de Engenharia Civil

Daniela Meurer Lemes

COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE EDIFÍCIOS HABITACIONAIS EM ESTRUTURA LEVE *VERSUS* ESTRUTURA PESADA PARA DIFERENTES CLASSES DE CONFORTO ACÚSTICO

COMPARISON OF ACOUSTIC PERFORMANCE OF BUILDINGS IN LIGHTWEIGHT AND HEAVY STRUCTURES FOR DIFFERENT ACOUSTIC COMFORT STANDARDS

Dissertação de Mestrado em Eficiência Acústica e Energética para uma Construção Sustentável, ramo Acústica e Vibrações em Ambiente Urbano,
orientada pelo Professor Doutor Diogo Manuel Rosa Mateus e pela Professora Doutora Andreia Sofia Carvalho Pereira.

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC
declina qualquer responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões que possa conter.

Março de 2020



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

AGRADECIMENTOS

Aos Professores Andreia Sofia Carvalho Pereira e Diogo Manuel Rosa Mateus, pela sugestão do tema, pela confiança depositada, pelos conhecimentos transmitidos e pela disponibilidade na orientação da dissertação.

Ao Professor Paulo Jorge Rodrigues Amado Mendes, pela atenção e pela disponibilidade sempre demonstradas na coordenação deste Mestrado em Eficiência Acústica e Energética para uma Construção Sustentável.

Aos meus pais, Marlene e Antonio, pelo incentivo e apoio à busca pelo conhecimento.

Aos meus irmãos, Gabriela e Guilherme, pelo apoio e companheirismo.

Parte das soluções construtivas estudadas do âmbito desta dissertação fazem parte do projeto de investigação *Tyre4BuildIns – Recycled tyre rubber resin-bonded for building insulation systems towards energy efficiency* – apoiado pelo FEDER através do Programa Operacional de Fatores de Competitividade – COMPETE – e por fundos nacionais da Fundação para a Ciência e Tecnologia – FCT – no âmbito do projeto POCI-01-0145-FEDER-032061.

RESUMO

No contexto da qualidade do ambiente interior, é indispensável a necessidade de um adequado conforto acústico dos edifícios. Em Portugal, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) propôs, em 2013, um método de classificação acústica para edifícios habitacionais. A metodologia proposta assenta na avaliação de três níveis físicos: Vizinhança, Edifício e Habitação. Relativamente ao nível físico Habitação – nível de maior impacto na avaliação –, e de acordo com o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), são analisados oito elementos de avaliação, aos quais é atribuída uma pontuação. Os elementos de avaliação são ponderados por coeficientes específicos, cujo objetivo é estabelecer um diferencial de acordo com a influência de cada elemento na pontuação final do nível físico habitação. Tendo como base o método LNEC, esta dissertação analisa a viabilidade da obtenção das classificações acústicas do Tipo A (que corresponde a uma qualidade acústica muito boa), do Tipo B (que corresponde à qualidade acústica recomendada) e do Tipo C (que corresponde às condições mínimas de conforto acústico) em habitações de edifícios de estrutura tradicional pesada de estrutura mista (com fachada e pavimento em estrutura pesada e paredes divisórias internas em estrutura de aço leve). Para ilustrar o trabalho desenvolvido, apresenta-se um estudo de caso relativo a um projeto de um edifício de habitação multifamiliar. A análise do desempenho acústico será realizada através da previsão do isolamento sonoro das soluções construtivas estudadas, com base em resultados de ensaios anteriormente verificados e no uso do programa INSUL (baseado na Lei de Sharp), e com recurso à ferramenta de modelagem do comportamento acústico dos edifícios ACOUBAT *Sound*.

Palavras-chave: conforto acústico; classificação acústica; desempenho acústico; RRAE; RGR.

ABSTRACT

In the context of the quality of interior environment, the adequate acoustic comfort in buildings is essential. In Portugal, the Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC – (National Civil Engineering Laboratory) proposed, in 2013, an acoustic classification method for residential buildings. The proposed methodology is based on the assessment of three physical levels: vicinity, building and dwelling. Regarding the physical level of the dwelling – the most significant level –, and in accordance with the Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios – RRAE – (Regulation on Building Acoustic Requirements), eight different elements are evaluated, and a score is assigned to each one. These assessment elements are weighted by its specific coefficients, which objective is to stablish different values according to the influence of each element in the final score of the physical dwelling level. Based on the LNEC methodology, this dissertation will analyse the feasibility to obtaining acoustic classifications Type A (very good acoustic quality), Type B (recommended acoustic quality) and Type C (minimum level of acoustic comfort) in dwellings of buildings of traditional heavy structure and mixed structure (facade and floor with heavy structure and internal partition walls in light steel structure). To illustrate the work developed, a case study will be presented regarding a multifamily housing building. The evaluation of the acoustic performance will be carried out by predicting the sound insulation of the studied construction based on previously verified test results and/or using the program INSUL (based on Sharp’s Law), and acoustic behaviour modelling tool ACOUBAT Sound.

Keywords: acoustic comfort; acoustic classification; acoustic performance; RRAE; RGR.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABELAS	viii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento geral	1
1.2 Objetivos do trabalho.....	2
1.3 Estrutura do trabalho.....	3
2 DESEMPENHO ACÚSTICO DE EDIFÍCIOS	5
2.1 Noções gerais de acústica de edifícios.....	5
2.2 Desempenho acústico de pavimentos	8
2.3 Desempenho acústico de paredes.....	9
3 REGULAMENTOS E NORMAS EM ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS	13
3.1 Requisitos regulamentares em vigor em Portugal	13
3.1.1 Regulamento Geral do Ruído	14
3.1.2 Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios.....	15
3.2 Principais normas no âmbito da acústica de edifícios	17
4 CLASSIFICAÇÃO ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS HABITACIONAIS	20
4.1 Vizinhança	22
4.2 Edifício.....	24
4.3 Habitação	25
5 ESTUDO DE CASO	30
5.1 Descrição do edifício	30
5.2 Soluções construtivas estudadas	32
5.2.1 Fachada.....	32
5.2.2 Pavimento	33
5.2.3 Paredes divisórias entre fogos	34

5.2.4	Paredes divisórias no interior de cada fogo	37
5.3	Análise do desempenho acústico	39
5.4	Aplicação da metodologia LNEC	47
5.4.1	Nível físico: Vizinhança	47
5.4.2	Nível físico: Edifício	47
5.4.3	Nível físico: Habitação	48
6	CONCLUSÕES.....	62
6.1	Considerações finais	62
6.2	Desenvolvimentos futuros	63
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
	ANEXOS.....	65
A	Modelagens INSUL.....	65
B	Fichas Técnicas Ensaio Acústicos	68
C	Resultados ACOUBAT	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – valores típicos de nível e de isolamento sonoro em dB	5
Figura 2.2 – transmissão sonora direta e transmissão sonora marginal	7
Figura 4.1 – avaliação do nível sonoro do ruído ambiente exterior medido; situação <i>a</i>)	23
Figura 4.2 – avaliação do nível sonoro do ruído ambiente exterior medido; situação <i>b</i>)	23
Figura 4.3 – elemento de avaliação 1	26
Figura 4.4 – elemento de avaliação 2	27
Figura 4.5 – elemento de avaliação 3	27
Figura 4.6 – elemento de avaliação 4	27
Figura 4.7 – elemento de avaliação 5	28
Figura 4.8 – elemento de avaliação 6	28
Figura 4.9 – elemento de avaliação 7	28
Figura 4.10 – elemento de avaliação 8	29
Figura 5.1 – planta dos Pisos 1 e 2 (habitações).....	31
Figura 5.2 – planta do Piso 0 (hall de entrada e garagens).....	31
Figura 5.3 – representação do corte K-K'	31
Figura 5.4 –parede da fachada.....	33
Figura 5.5 – pavimento flutuante com aglomerado composto de cortiça.....	34
Figura 5.6 – pavimento flutuante com aglomerado de granulado de borracha	34
Figura 5.7 – pavimento flutuante com poliestireno expandido moldado (EPS).....	34
Figura 5.8 –parede dupla em tijolo cerâmico vazado de 11 cm	35
Figura 5.9 –parede dupla em tijolo cerâmico vazado de 15 cm	35
Figura 5.10 –parede simples em tijolo de 11 cm com reforço em ambas as faces.....	35
Figura 5.11 – parede divisória dupla em estrutura leve, com 176 mm de espessura	36
Figura 5.12 –parede divisória dupla em estrutura leve, com 159 mm de espessura	36
Figura 5.13 –parede divisória dupla em estrutura leve com 220 mm de espessura	37
Figura 5.14 –parede simples em tijolo cerâmico vazado de 9 cm.....	37
Figura 5.15 –parede simples em tijolo cerâmico vazado de 11 cm.....	38
Figura 5.16 –parede simples em tijolo cerâmico vazado de 15 cm.....	38
Figura 5.17 –parede divisória interior em estrutura leve com 73 mm de espessura.....	39
Figura 5.18 –parede divisória interior em estrutura leve com 98 mm de espessura.....	39
Figura 5.19 –parede divisória interior em estrutura leve com 120 mm de espessura.....	39
Figura A.1 – modelagens INSUL para paredes simples em alvenaria de tijolo.....	65
Figura A.2 – modelagens INSUL para paredes duplas em alvenaria de tijolo.....	66
Figura A.3 – modelagens INSUL para vidros duplos	67
Figura B.1 – ensaios acústicos divisórias simples.....	68

Figura B.2 – ensaios acústicos divisórias duplas.....	69
Figura C.1 – elementos de avaliação 1, 2a e 2b do Grupo 1	70
Figura C.2 – elementos de avaliação 3, 5 e 8 do Grupo 1	71
Figura C.3 – elementos de avaliação 1, 2a e 2b do Grupo 2	72
Figura C.4 – elementos de avaliação 3, 5 e 8 do Grupo 2	73
Figura C.5 – elementos de avaliação 1, 2a e 2b do Grupo 3	74
Figura C.6 – elementos de avaliação 3, 5 e 8 do Grupo 3	75
Figura C.7 – elementos de avaliação 1, 2a e 2b do Grupo 4	76
Figura C.8 – elementos de avaliação 3, 5 e 8 do Grupo 4	77
Figura C.9 – elementos de avaliação 1, 2a e 2b do Grupo 5	78
Figura C.10 – elementos de avaliação 3, 5 e 8 do Grupo 5	79
Figura C.11 – elementos de avaliação 1, 2a e 2b do Grupo 6	80
Figura C.12 – elementos de avaliação 3, 5 e 8 do Grupo 6	81

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – R_w e $L_{n,w}$ previstos para pavimentos em estrutura pesada	9
Tabela 2.2 – R_w e C_{tr} previstos para paredes em estrutura pesada	11
Tabela 2.3 – R_w e C_{tr} previstos para paredes em estrutura leve e mista	12
Tabela 3.1 – valores limites de exposição (RGR)	15
Tabela 3.2 – requisitos regulamentares para edifícios habitacionais e mistos (RRAE)	17
Tabela 3.3 – principais normas no âmbito da acústica de edifícios	18
Tabela 4.1 – Nível de Avaliação Acústica (NAA)	21
Tabela 4.2 – fatores de ponderação, W_i , dos níveis físicos a considerar na avaliação	21
Tabela 4.3 – elemento de avaliação 1: disposições gerais	22
Tabela 4.4 – disposições gerais de condicionamento acústico dos espaços comuns	24
Tabela 4.5 – disposições específicas de arquitetura e disposição relativa interior	24
Tabela 4.6 – elementos de avaliação do nível físico Habitação	25
Tabela 4.7 – coeficientes de ponderação para o nível físico Habitação	25
Tabela 5.1 – propriedades dos materiais isotrópicos correntes	40
Tabela 5.2 – previsão do isolamento sonoro de paredes de alvenaria	42
Tabela 5.3 – previsão do isolamento sonoro dos envidraçados	43
Tabela 5.4 – resultados de ensaios acústicos para divisórias em estrutura leve	44
Tabela 5.5 – previsão dos índices para a laje de betão armado	45
Tabela 5.6 – isolamento sonoro a sons de percussão para os pavimentos flutuantes	46
Tabela 5.7 – nível físico Vizinhança	47
Tabela 5.8 – nível físico Edifício	48
Tabela 5.9 – nível físico Habitação para o Grupo 1 de soluções construtivas	51
Tabela 5.10 – NAA Global para o Grupo 1 de soluções construtivas	51
Tabela 5.11 – nível físico Habitação para o Grupo 2 de soluções construtivas	52
Tabela 5.12 – NAA Global para o Grupo 2 de soluções construtivas	53
Tabela 5.13 – nível físico Habitação para o Grupo 3 de soluções construtivas	54
Tabela 5.14 – NAA Global para o Grupo 3 de soluções construtivas	55
Tabela 5.15 – nível físico Habitação para o Grupo 4 de soluções construtivas	56
Tabela 5.16 – NAA Global para o Grupo 4 de soluções construtivas	57
Tabela 5.17 – nível físico Habitação para o Grupo 5 de soluções construtivas	58
Tabela 5.18 – NAA Global para o Grupo 5 de soluções construtivas	59
Tabela 5.19 – nível físico Habitação para o Grupo 6 de soluções construtivas	60
Tabela 5.20 – NAA Global para o Grupo 6 de soluções construtivas	61

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo faz-se um breve enquadramento do trabalho realizado, apresenta-se os seus objetivos e a sua estrutura.

1.1 Enquadramento geral

O sistema construtivo em aço leve, ou *Lightweight Steel Framing* (LSF), face à construção tradicional pesada, aponta vantagens, principalmente no que respeita aos processos construtivos e ao desenvolvimento sustentável. O aço é um material com elevadas percentagem de reciclagem e taxas de reutilização, o que permite um final de ciclo de vida sustentável para a maioria dos resíduos gerados na construção e demolição. Com relação aos componentes e ao processo construtivo, destacam-se (Roque, Santos, & Pereira, 2019):

- a) perfis de aço leve com massa reduzida e elevada resistência mecânica, facilitando transporte e montagem;
- b) sistema adequado à produção industrial, contribuindo para um processo de construção eficiente e permitindo controle de qualidade e produção em massa;
- c) perfis metálicos resistentes à humidade e à atividade biológica, sendo seguros contra variações volumétricas e degradações das propriedades resistentes;
- d) flexibilidade arquitetónica;
- e) sistema construtivo sem a presença de água, reduzindo ou mitigando riscos de patologias relacionadas à humidade provenientes da obra;

Para além dos ganhos construtivos supracitados, o sistema LSF admite incorporar diferentes tipos e configurações de isolamentos, tanto térmicos como acústicos, resultando em edifícios eficientes e sustentáveis. No campo económico, o sistema construtivo em aço leve também apresenta benefícios significativos, principalmente devido à redução notória da fase de obra e à alta durabilidade dos materiais empregados.

No entanto, a sustentabilidade dos edifícios vai além dos usos de materiais e energia, devendo ser considerada em um contexto global de qualidade de uso das edificações. Assim sendo, a

acústica de edifícios, enquanto disciplina científica, tem o propósito de elucidar a propagação sonora, com o intuito de promover a qualidade acústica do ambiente interno.

Visando a harmonização de indicadores de comportamento acústico e de sistemas de classificação da qualidade dos edifícios, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) elaborou o Método LNEC para avaliação e classificação da qualidade acústica de edifícios, no qual propõe uma metodologia de avaliação integrada, considerando o comportamento dos edifícios, ou parte deles, em termos de: ruído ambiente exterior; isolamentos sonoros entre espaços, e entre estes e o exterior; ruído de equipamentos de uso coletivo; tempo de reverberação de espaços; e distribuição de espaços dentro do edifício. A metodologia baseia-se na avaliação de três níveis físicos (Patrício, 2013):

- a) Vizinhança: associado à vizinhança próxima (envolvente ambiental);
- b) Edifício: associado ao próprio edifício (acessos comuns e conceção arquitetónica interior);
- c) Habitação: associado às características de desempenho da unidade habitacional (fogo).

A avaliação baseia-se na quantificação dos indicadores regulamentares estabelecidos na legislação em vigor em Portugal: os indicadores de ruído L_{den} e L_n , para ruído ambiente exterior; o nível de avaliação $L_{Ar, nT}$, para de ruídos de equipamentos; e os índices de isolamento sonoro e de nível sonoro de percussão, padronizados, $D_{2m,nT,w}$, $D_{nT,w}$ e $L'_{nT,w}$, na quantificação do isolamento sonoro entre compartimentos do edifício.

O fenómeno da transmissão sonora entre compartimentos é dito complexo, no sentido que abrange as transmissões diretas e indiretas e as suas diferentes variáveis, bem como as características dos campos sonoros estabelecidos nos compartimentos emissor e recetor. O cálculo do isolamento global entre dois compartimentos, e entre compartimentos de edifícios e o ambiente exterior, é feito com base na série de normas ISO 12354:2017, que define o isolamento sonoro a partir da integração das propagações sonoras pelos diferentes caminhos de transmissão do som.

1.2 Objetivos do trabalho

O objetivo principal do trabalho é analisar a viabilidade da obtenção das classificações acústicas Tipo A (que corresponde à qualidade acústica muito boa), Tipo B (que corresponde à qualidade acústica recomendável), e Tipo C (que corresponde a condições mínimas de conforto acústico), em um edifício, objeto de estudo de caso, de estrutura convencional

pesada e de estrutura mista, ou seja, com fachada e pavimento em estrutura pesada e paredes divisórias internas em estrutura de aço leve.

O trabalho tem ainda, como objetivos secundários:

- a) o estudo dos conceitos associados à acústica nos edifícios (e em particular ao isolamento sonoro);
- b) estimativa de parâmetros de desempenho acústico de soluções construtivas;
- c) estudo e aplicação da metodologia proposta pelo LNEC para classificação da qualidade acústica dos edifícios habitacionais.

Uma vez que o edifício objeto do estudo de caso é um projeto fictício (que não corresponde a um edifício real), é pressuposto, para o desenvolvimento do trabalho, que o edifício objeto de estudo de caso encontra-se inserido em zona mista urbana, de acordo com a definição que consta na alínea v) do Artigo 3º do Regulamento Geral do Ruído (RGR).

O estudo do desempenho acústico das soluções construtivas limita-se ao uso de dados de ensaios anteriormente realizados e publicados, quando disponíveis, e à previsão do isolamento acústico obtida com o uso do *software* INSUL nos demais casos. O desempenho acústico no contexto do edifício limita-se ao uso do *software* de cálculo ACOUBAT para a simulação do comportamento acústico, com base nas metodologias de cálculo propostas no conjunto de normas ISO 12354:2017, partes 1 e 2.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em seis capítulos. Neste Capítulo 1 é apresentado o enquadramento geral do tema, os objetivos do estudo e a estrutura do trabalho.

No Capítulo 2 foram apresentadas as noções gerais de acústica dos edifícios, assim como uma abordagem ao desempenho acústico de paredes e de pavimentos, com a exemplificação de alguns valores esperados de parâmetros desses elementos de construção.

O Capítulo 3 faz referência à regulamentação e normalização no âmbito da acústica de edifícios, no qual são apresentados os limites regulamentares a serem cumpridos em Portugal, assim como as normativas a serem seguidas na realização de medições – em laboratório ou *in situ* – e no estudo de modelos de previsão.

O Capítulo 4 apresenta a metodologia proposta pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) para a avaliação e classificação acústica de edifícios habitacionais.

No Capítulo 5 é desenvolvido o estudo de caso, a partir da descrição do edifício e das soluções construtivas propostas para o estudo. São estimados os desempenhos acústicos dos elementos de construção, relativamente ao isolamento sonoro a sons aéreos e de percussão, bem como são apresentados os resultados das simulações. No final do Capítulo é apresentada a aplicação da metodologia de classificação acústica ao estudo de caso.

Por fim, o Capítulo 6 é dedicado às conclusões finais do estudo realizado e à proposta de trabalhos futuros dentro da mesma temática.

2 DESEMPENHO ACÚSTICO DE EDIFÍCIOS

2.1 Noções gerais de acústica de edifícios

A maneira pela qual o homem percebe o som comanda o modo como ele é medido e descrito, e essa percepção traduz-se principalmente em duas características distintas: o nível (ou volume) e a frequência (ou tom). Os níveis de ruído e os valores de isolamento acústico (ou atenuação) são expressos em decibéis (dB) – nestes, a classificação em dB é uma medida da quantidade na qual o som transmitido de um compartimento para outro é reduzido; e naqueles, a classificação em dB é uma representação do volume do som –, enquanto a frequência é expressa em Hertz (Hz) (Way & Couchman, 2008). A Figura 2.1 apresenta alguns valores típicos de nível e de isolamento sonoros.

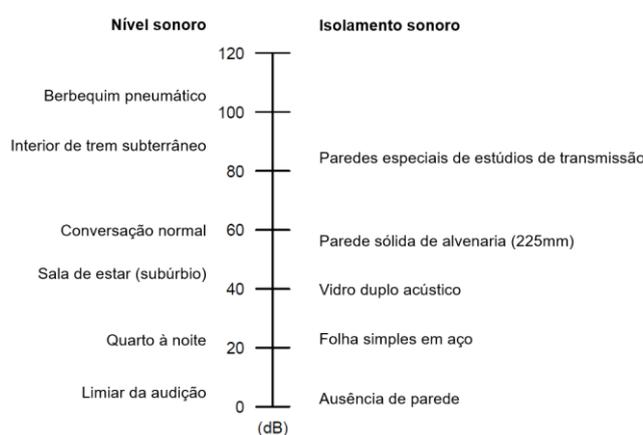


Figura 2.1 – valores típicos de nível e de isolamento sonoro em dB (Way & Couchman, 2008)

O detalhamento construtivo de paredes e pavimentos é a essência do desempenho acústico de um edifício, ou seja, da capacidade de transmissão de som de um compartimento da edificação para outro. Os valores de redução sonora desses elementos, na acústica de edifícios, são medidos no intervalo de frequências de teste de 100 Hz a 3.150 Hz, servindo de base para a caracterização do isolamento dos sons de condução aérea (importante para paredes e pavimentos) e dos sons de percussão (especial relevância para pavimentos) do projeto acústico de edifícios (Way & Couchman, 2008).

O isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos adjacentes é medido a partir da geração de um som estabilizado numa frequência específica, e da comparação com o som medido no compartimento recetor, para a gama de frequências medida. A diferença entre os níveis de pressão dos compartimentos emissor e recetor é o isolamento acústico puro ou bruto, D , que, no entanto, é influenciada pela absorção acústica do compartimento recetor (ISO 16283-1, 2014). De facto, uma frente de onda, ao incidir sobre uma superfície sólida, encontra um meio material com propriedades distintas das do ar presente no compartimento. A frente de onda propaga-se através do material sólido, percorrendo sua espessura, até ao encontro do ar do compartimento adjacente (Way & Couchman, 2008). Para que as medições de isolamento sonoro a sons de condução aérea sejam comparadas, deve-se ajustar as diferenças de nível para um tempo de reverberação de referência, T_0 , obtendo-se assim o isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, D_{nT} (ISO 16283-1, 2014). Elementos de construção isolados (portas e janelas) são testados em laboratório, em camaras acústicas adjacentes devidamente isoladas da ocorrência de transmissões marginais, resultando em valores de redução sonora e , e, conseqüentemente, índices de redução sonora R_w dos elementos.

O isolamento sonoro a sons de percussão entre compartimentos adjacentes é medido no sentido descendente do impacto (de cima para baixo), com o uso de uma fonte de impacto, que consiste numa máquina de percussão composta por martelos automatizados, a atingir o pavimento repetidamente, a uma taxa padrão. O som medido no compartimento recetor é denominado nível sonoro de percussão, L . As medições acústicas em edifícios (*in situ*) são padronizadas para um tempo de reverberação de referência, T_0 , obtendo-se assim os níveis sonoros de percussão padronizados, L'_{nT} (ISO 16283-2, 2015). Os níveis sonoros de percussão normalizados, L_n , são calculados a partir dos níveis de pressão sonora médios – corrigidos para o ruído de fundo, quando necessário – obtidos em testes em laboratório, normalizados para a área e para a absorção (ISO 10140-3, 2010).

Os isolamentos sonoros são, portanto, medidos para uma gama de frequências. No entanto, para a aplicação dos requisitos regulamentares de desempenho de edifícios, é necessária a caracterização do índice de isolamento (valor padrão). O método normatizado de obtenção do índice se dá a partir da comparação dos resultados medidos com a curva de referência definida no conjunto de normas ISO 717:2013, a qual baseia-se na percepção humana relativa das diferentes frequências sonoras. A partir da curva de isolamento sonoro padronizada, D_{nT} , obtém-se o índice de isolamento sonoro padronizado, $D_{nT,w}$. De forma análoga, a partir das curvas de redução sonora, R , nível sonoro de percussão normalizado, L_n , e nível de pressão sonora padronizado, L'_{nT} , obtém-se, respetivamente, os índices, R_w , $L_{n,w}$ e $L'_{nT,w}$ (ISO 717-1, 2013; ISO 717-2, 2013).

A transmissão sonora entre dois compartimentos se dá de forma direta e indireta. Ocorre a transmissão direta quando o som é transportado através do próprio elemento de separação, ou ainda através de eventuais pontos fracos do elemento construtivo (caixa elétrica embutida na parede ou defeitos de construção, por exemplo). A transmissão indireta divide-se em transmissão marginal e transmissão aérea indireta. A primeira, também chamada de transmissão por flancos, ocorre através dos elementos de compartimentação adjacentes ao elemento de separação; enquanto que a segunda, também chamada de parasita, decorre por portas e corredores ou por condutas de ventilação, por exemplo (Mateus, 2012). No que se refere ao desempenho acústico do edifício, no entanto, as transmissões direta e marginal (Figura 2.2) exigem maior atenção, e o isolamento sonoro de ambas pode ser controlado por três características dos componentes: massa, isolamento e vedação (Way & Couchman, 2008).

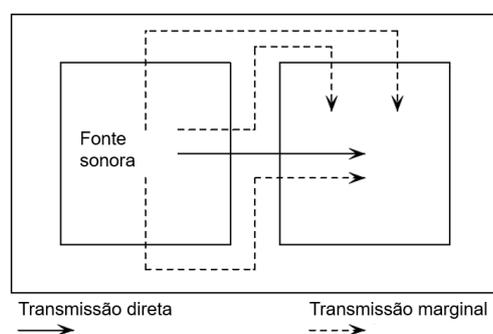


Figura 2.2 – transmissão sonora direta e transmissão sonora marginal (Way & Couchman, 2008)

A transmissão de sons de condução aérea através um elemento construtivo sólido obedece, na teoria, a lei da massa, a qual sugere um acréscimo de cerca de 6 dB no isolamento sonoro de dado elemento ao dobrar a sua massa. A lei é aplicável a elementos de massa entre 10 kg/m² e 1000 kg/m². No entanto, tem sido demonstrado que isolamentos sonoros de elementos individuais, quando formando um elemento de dupla camada com caixa de ar interna, tendem a se combinar em uma relação linear cumulativa simples, e o desempenho global passa a ser obtido através da adição dos índices de redução sonora dos seus constituintes e, conseqüentemente, alcançando valores mais significativos do que aqueles sugeridos pela lei das massas. Por fim, e não menos importante, é a adequada vedação entre pavimentos e divisórias, posto que pequenas falhas são suficientes para comprometer o desempenho acústico (Way & Couchman, 2008).

2.2 Desempenho acústico de pavimentos

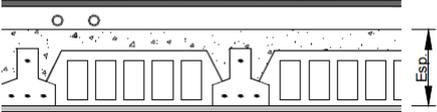
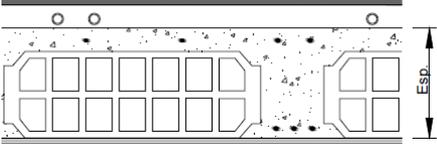
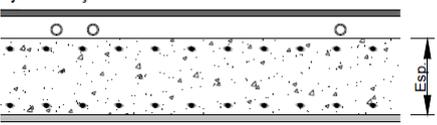
Definem-se pavimentos como os elementos horizontais com função estrutural, podendo ter ou não revestimento em sua face superior (Domingues, 2008). O desempenho acústico dos pavimentos está diretamente ligado ao seu isolamento aos sons de percussão, uma vez que estes elementos de construção transmitem a energia sonora em ampla faixa de frequências, devido ao movimento vibratório induzido pela excitação localizada (Bistafa, 2011). As transmissões mais significativas são registadas no sentido descendente, muito embora também se verifique transmissão sonora laterais ou para pavimentos superiores (Domingues, 2008).

Os níveis de pressão sonora dos ruídos de percussão tendem a ser elevados, mesmo em pavimentos densos e espessos, e, portanto, o aumento da espessura do pavimento visando a redução dos sons de percussão não se torna eficaz, além de elevar custos e causar problemas estruturais. As soluções mais convenientes na redução dos ruídos de percussão desses elementos de construção consistem na aplicação de um revestimento eficaz em termos de redução de ruído, ou na inserção de um material resiliente isolante entre o pavimento estrutural e o piso flutuante. Nestes últimos, no entanto, cabe ressaltar que a correta execução é essencial, no sentido de evitar a transmissão das vibrações induzidas no pavimento a outros pontos da estrutura. A aplicação de pisos flutuantes pode melhorar em até 20 dB o isolamento a sons de percussão dos pavimentos (Bistafa, 2011).

Em reabilitações de edifícios existentes, quando há a necessidade de correção do isolamento a sons de percussão e a intervenção nos elementos estruturais é complexa, pode-se conseguir reduções de até 5 dB ao valor de $L_{n,w}$ com o uso de tetos falsos (dependendo dos elementos de ligação do teto ao pavimento). Na adoção desta solução, no entanto, deve-se ter em atenção a transmissão marginal pelas paredes, a fim de verificar se os ganhos de desempenho acústico justificam os custos envolvidos (Domingues, 2008).

Uma compilação de valores de isolamentos sonoros a sons de condução aérea e a sons de percussão, resultantes de ensaios experimentais de pavimentos em estruturas pesadas, é apresentada na Tabela 2.1. Os resultados, demonstrados sob a forma de intervalo de valores, foram estimados a partir de ensaios laboratoriais, para soluções análogas, e de ensaios *in situ* (Mateus, 2012).

Tabela 2.1 – R_w e $L_{n,w}$ previstos para pavimentos em estrutura pesada (Mateus, 2012)

Pormenor construtivo	Índices previstos		
	R_w	$L_{n,w}$	
<p>Lajes aligeiradas pré-esforçadas</p> 	Esp = 16 cm (12 + 4)	45 a 48 dB	85 a 90 dB
	Esp = 20 cm (16 + 4)	47 a 50 dB	82 a 87 dB
	Esp = 24 cm (20 + 4)	49 a 52 dB	80 a 85 dB
<p>Lajes fungiformes aligeiradas</p> 	Esp = 25 cm (20 + 5)	50 a 53 dB	80 a 85 dB
	Esp = 30 cm (25 + 5)	52 a 55 dB	78 a 83 dB
	Esp = 35 cm (30 + 5)	53 a 56 dB	77 a 82 dB
	Esp = 40 cm (34 + 6)	54 a 57 dB	76 a 81 dB
<p>Lajes maciças</p> 	Esp = 15 cm (20 + 5)	50 a 53 dB	80 a 85 dB
	Esp = 20 cm (25 + 5)	55 a 58 dB	74 a 79 dB
	Esp = 25 cm (30 + 5)	58 a 63 dB	68 a 73 dB
	Esp = 30 cm (34 + 6)	61 a 64 dB	62 a 67 dB
	c/ parquet flutuante	+(0 a 1) dB	-(17 a 20) dB
	c/ betonilha flutuante	+(1 a 4) dB	-(15 a 20) dB

2.3 Desempenho acústico de paredes

O coeficiente de transmissão sonora τ é o parâmetro que caracteriza a capacidade de uma parede transmitir som, e quantifica a percentagem de energia sonora transmitida relativamente à energia sonora incidente na parede. Quanto menor for o valor de τ , menor será a energia sonora transmitida (Bistafa, 2011). No entanto, para o cálculo do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, e conforme a legislação vigente, o parâmetro que se torna necessário é o índice de redução sonora R_w . A equação (1) relaciona os parâmetros τ e R_w e, da sua análise, é possível observar que quanto menor for τ , mais isolante é a parede e, consequentemente, maior o seu R_w .

$$R_w = 10 \times \log \frac{1}{\tau} \quad (1)$$

O índice de redução sonora de um elemento de separação simples é fortemente dependente da frequência sonora incidente nele. O comportamento típico dos elementos simples pode ser dividido em quatro zonas, que revelam a propriedade com maior influência no índice de redução sonora da parede (Bistafa, 2011):

- a) zona controlada pela rigidez (baixas frequências, não audíveis pelo ouvido humano), em que o comportamento do elemento está diretamente relacionado com a sua rigidez, e em que o valor de R diminui com o aumento da frequência;
- b) zona controlada pela ressonância (baixas frequências, por vezes não sensíveis ao ouvido humano), em que o movimento do elemento é amplificado – há a influência da elasticidade –, sendo controlada por vibração transversal pura;
- c) zona controlada pela massa (médias frequências), em que a redução sonora depende da massa superficial do elemento e da frequência do estímulo sonoro (Lei da Massa); e
- d) zona controlada pela coincidência (altas frequências), que corresponde à zona em que existe coincidência entre o estímulo sonoro e a frequência do próprio elemento (frequência crítica).

Já para elementos duplos, devido ao aumento da massa do elemento, é possível atingir maiores valores de isolamento a sons aéreos. Consoante o afastamento entre os elementos, é possível obter aumentos de até 6 dB com a duplicação da densidade superficial dos panos que compõem a parede, na zona controlada pela massa. Essa zona é delimitada, nas baixas frequências, pela zona controlada pela ressonância, e, nas altas frequências, pela zona controlada pela coincidência (Bistafa, 2011).

A Tabela 2.2 apresenta índices de redução sonora R_w e termos de adaptação C_{tr} (obtidos de acordo com a norma aplicável, para um espectro do tipo 2) para paredes em diferentes tipos de soluções construtivas pesadas. Somados, os termos R_w e C_{tr} , permitem obter o índice global de isolamento para um espectro rico em baixas frequências, aproximando-se da exposição ao ruído verificada junto a vias de tráfego urbano, no interior de bares ou discotecas, e em casas de máquinas de equipamentos do tipo AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) (Mateus, 2012).

A Tabela 2.3 apresenta os resultados obtidos para os índices de redução sonora R_w e para os termos de adaptação C_{tr} , para diferentes tipos de soluções construtivas leves, além de uma solução construtiva mista, de alvenaria de tijolos reforçada com elemento sanduiche leve (Mateus, 2012).

Tabela 2.2 – R_w e C_{tr} previstos para paredes em estrutura pesada (Mateus, 2012)

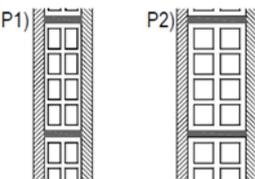
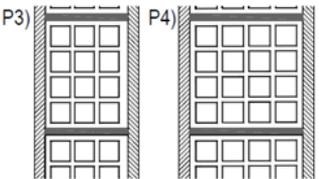
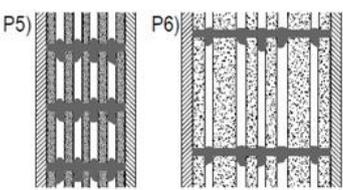
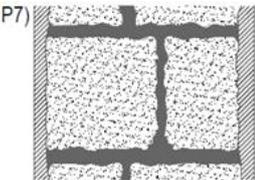
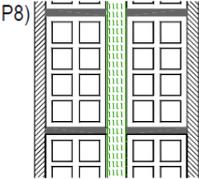
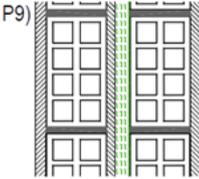
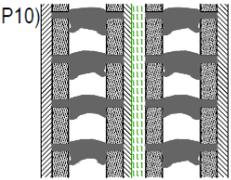
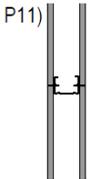
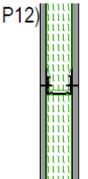
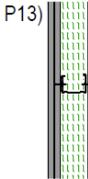
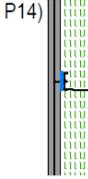
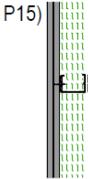
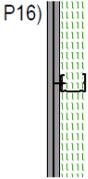
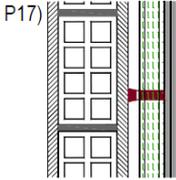
Pormenor construtivo		Índices previstos	
		R_w	C_{tr}
	Parede simples em alvenaria de tijolo com 1,5 + 1,5 cm de reboco		
	P1) tijolo de 7 cm P2) tijolo de 11 cm	35 a 38 dB 39 a 42 dB	-(1 a 3) dB -(2 a 4) dB
	Parede simples em alvenaria de tijolo com 1,5 + 1,5 cm de reboco		
	P3) tijolo de 15 cm P4) tijolo de 22 cm	43 a 46 dB 46 a 49 dB	-(2 a 4) dB -(2 a 4) dB
	Parede simples em alvenaria acústica com 1,5 + 1,5 cm de reboco		
	P5) tijolo de 14 cm ($m_{total} \approx 240 \text{ kg/m}^2$) P6) bloco de 25 cm ($m_{total} \approx 360 \text{ kg/m}^2$)	47 a 50 dB 50 a 53 dB	-(2 a 4) dB -(2 a 4) dB
	Parede simples em alvenaria de pedra rebocada		
	$e_{total} \approx 40 \text{ cm}$	56 a 59 dB	-(2 a 4) dB
	$e_{total} \approx 50 \text{ cm}$	59 a 62 dB	-(2 a 4) dB
	Parede dupla de alvenaria de tijolo de 11 + 11 cm com 1,5 + 1,5 cm de reboco, com material fonoabsorvente na caixa de ar	50 a 53 dB	-(2 a 4) dB
		Parede dupla de alvenaria de tijolo de 11 + 11 cm com material fonoabsorvente na caixa de ar e com três camadas de reboco de 1,5 cm	53 a 56 dB
		Parede dupla de alvenaria de tijolo acústico (quase maciço) de 12,5 + 12,5 cm, com material fonoabsorvente na caixa de ar e com três camadas de reboco de 1,5 cm ($m_{total} \approx 470 \text{ kg/m}^2$)	59 a 63 dB

Tabela 2.3 – R_w e C_{tr} previstos para paredes em estrutura leve e mista (Mateus, 2012)

Pormenor construtivo		Índices previstos		
		R_w	C_{tr}	
		Divisória com estrutura simples (46/48 mm), em gesso cartonado		
		P11) 12,5 + 12,5 mm (c/ caixa de ar vazia)	33 a 36 dB	-(5 a 7) dB
		P12) 12,5 + 12,5 mm (c/ material fonoabsorvente)	40 a 43 dB	-(7 a 9) dB
		Divisória com estrutura simples (46/48 mm), em gesso cartonado, com 2 + 2 placas de 12,5 mm, com material fonoabsorvente	45 a 49 dB	-(7 a 9) dB
		Divisória com estrutura simples de 70 mm, em gesso cartonado, com 2 + 2 placas de 12,5 mm, mas com faixa flexível autoadesiva, entre o montante e o gesso cartonado, com material fonoabsorvente	51 a 54 dB	-(7 a 9) dB
		Divisória com estrutura dupla (2 montantes de 46/48 mm sem ligação), em gesso cartonado, com 2 + 2 placas de 12,5 mm, com material fonoabsorvente	55 a 60 dB	-(8 a 10) dB
		Divisória em estrutura dupla (2 montantes de 46/48 mm sem ligação), em gesso cartonado, com 2 + 1 + 2 placas de 12,5 mm, com material fonoabsorvente	56 a 61 dB	-(8 a 10) dB
		Parede simples em alvenaria de tijolo de 11 cm, com 1,5 + 1,5 cm de reboco, reforçada com 2 placas de 12,5 mm, e material fonoabsorvente (sem ligação rígida)	52 a 57 dB	-(4 a 6) dB

3 REGULAMENTOS E NORMAS EM ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS

Este capítulo apresenta um breve histórico da legislação portuguesa referente a acústica urbana e ao desempenho acústico de edifícios, assim como uma compilação da normalização no âmbito da acústica de edifícios em vigência.

3.1 Requisitos regulamentares em vigor em Portugal

Embora a Constituição da República Portuguesa, nos seus artigos 9º e 66º, mencione o ambiente e a qualidade de vida, foi o Decreto-Lei nº 251/1987, de 24 de junho, o pioneiro no País a estabelecer um quadro legal na proteção contra o ruído. O DL contemplava a acústica de edifícios e o exercício de atividades comerciais, e estabelecia requisitos mínimos de isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão a serem cumpridos nos novos edifícios e condições específicas de emissão de ruído para o licenciamento de estabelecimentos comerciais, de serviços ou similares. Outrossim, para efeitos de zoneamento do uso do solo, definia a classificação acústica de zonas urbanas considerando três zonas acústicas: pouco ruidos, ruidosa e muito ruidosa (Patrício, 2013).

Após o ano 2000, a regulamentação acústica portuguesa subdividiu-se em acústica ambiental – com o Decreto-Lei nº 292/2000, de 14 de novembro, que deu origem ao Regime Legal da Poluição Sonora – e acústica de edifícios – com o Decreto-Lei nº 129/2002, de 11 de maio, que deu origem ao Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios.

O Decreto-Lei nº 146/2006, de 31 de julho, transpõe para a ordem jurídica interna portuguesa a Diretiva nº 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de junho, relativa à avaliação e gestão acústica do ruído ambiente. Nesse contexto, no ano de 2007 é aprovado o Regulamento Geral do Ruído (RGR), e no ano de 2008 é atualizado e aprovado o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE).

3.1.1 Regulamento Geral do Ruído¹

O Regulamento Geral do Ruído (RGR) aplica-se às atividades ruidosas permanentes e temporárias, e a outras fontes de ruído suscetíveis de causar incomodidade, e regulamenta o Licenciamento de Atividades.

O texto apresenta as seguintes definições para os indicadores de ruído:

- a) Indicador de ruído diurno-entardecer-noturno, L_{den} : indicador de ruído, expresso em dB(A), associado ao incomodo global, dado pela equação (2).

$$L_{den} = 10 \times \log \frac{1}{24} \left[13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right] \quad (2)$$

- b) Indicador de ruído diurno, L_d : nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na norma NP 1730-1:1996, determinado durante uma série de períodos diurnos representativos de um ano.
- c) Indicador de ruído entardecer, L_e : nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na norma NP 1730-1:1996, determinado durante uma série de períodos do entardecer representativos de um ano.
- d) Indicador de ruído noturno, L_n : nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na norma NP 1730-1:1996, determinado durante uma série de períodos noturnos representativos de um ano.

Os períodos de referência são os intervalos de tempo a que se referem os indicadores de ruído supracitados, de modo a abranger as atividades humanas típicas, delimitados em período diurno (das 7 às 20 horas); período do entardecer (das 20 às 23 horas); e período noturno (das 23 às 7 horas).

O RGR determina, como zona sensível, a área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, sem funcionamento no período noturno. Em contrapartida, zona mista é a área definida em plano municipal de ordenamento do território cuja ocupação afeta a outros usos, existentes ou previstos, para além dos apresentados na

¹ A subsecção 3.1.1 tem como referência o texto do Decreto-Lei nº 9/2007, de 17 de janeiro, que estabelece o Regulamento Geral do Ruído (RGR, 2007).

definição de zona sensível. A zona sensível ou mista com ocupação estável em termos de edificação é denominada zona urbana consolidada.

A classificação, a delimitação e a disciplina das zonas sensíveis e das zonas mistas é da competência dos municípios, e deve ser realizada no âmbito dos planos municipais de ordenamento do território. O Artigo 11º do RGR refere os valores limite de exposição, em função da classificação da zona como sensível ou mista. Tais valores são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – valores limites de exposição (RGR)

Zona	Requisitos regulamentares
Sensível	$L_{den} \leq 55$ dB(A) $L_n \leq 45$ dB(A)
Mista	$L_{den} \leq 65$ dB(A) $L_n \leq 55$ dB(A)
Zona sensível na proximidade de grande infraestrutura de tráfego (GIT) existente	$L_{den} \leq 65$ dB(A) $L_n \leq 55$ dB(A)
Zona sensível na proximidade de grande infraestrutura de tráfego (GIT) não aéreo em projeto	$L_{den} \leq 60$ dB(A) $L_n \leq 50$ dB(A)
Zona sensível na proximidade de grande infraestrutura de tráfego (GIT) aéreo em projeto	$L_{den} \leq 65$ dB(A) $L_n \leq 55$ dB(A)
Zona não classificada	$L_{den} \leq 63$ dB(A) $L_n \leq 53$ dB(A)

O Artigo 12º, que trata do controlo prévio das operações urbanísticas, salienta que, ao projeto acústico (também designado por projeto de condicionamento acústico) aplica-se o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE).

3.1.2 Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios²

O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) regula o conforto acústico no âmbito da edificação, contribuindo para melhoria da qualidade do ambiente acústico e para o bem estar dos utentes dos edifícios. Uma vez que a autorização para a construção de novos edifícios, assim como para a reabilitação de edifícios existentes, deve observar as disposições legais no que diz respeito à integração ambiental, pode-se concluir que o RRAE está, de forma indireta, dependente dos critérios ambientais preconizados pelo RGR. O texto do

² A subsecção 3.1.2 tem como referência o texto do Decreto-Lei nº 96/2008, de 9 de junho, que alterou e aprovou o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE, 2008).

RRAE contém definições importantes, as quais passam a ser descritas nos próximos parágrafos.

O isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{2m,nT}$, expresso em dB, é definido como a diferença entre o nível médio de pressão sonora exterior, medido a 2 metros de distância da fachada do edifício, e o nível médio de pressão sonora medido no local de receção, corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor, e é calculado pela equação (3).

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (3)$$

O isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, D_{nT} , expresso em dB, é definido como a diferença entre o nível médio de pressão sonora medido no compartimento emissor, produzido por uma ou mais fontes sonoras, e o nível médio de pressão sonora medido no compartimento recetor, corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor, e é calculado pela equação (4).

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (4)$$

O nível sonoro de percussão, padronizado, L'_{nT} , expresso em dB, é definido como o nível sonoro médio medido no compartimento recetor, proveniente de uma excitação de percussão normalizada exercida sobre um pavimento, corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor, e é calculado pela equação (5).

$$L'_{nT} = L_1 - 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (5)$$

O nível de avaliação, padronizado, $L_{Ar,nT}$, expresso em dB(A), é definido como o nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, durante um intervalo de tempo especificado, adicionado da correção devida às características tonais do ruído, K , e corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor, e é calculado pela equação (6).

$$L_{Ar,nT} = L_A + K - 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (6)$$

O termo de adaptação, C ou C_{tr} , é a correção definida na norma ISO 717-1:2013, e é função das características espectrais do ruído na emissão, a anexar ao índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea. O tempo de reverberação no compartimento recetor, T , é o intervalo

de tempo necessário para que a energia volúmica do campo sonoro de um recinto fechado se reduza a um milionésimo do seu valor inicial. O tempo de reverberação de referência, T_0 , para compartimentos de habitação, sempre que não haja indicação contrária em projeto, é igual a 0,5 s.

O Artigo 5º do RRAE estabelece os requisitos acústicos mínimos para edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras. A Tabela 3.2 resume estes requisitos.

Tabela 3.2 – requisitos regulamentares para edifícios habitacionais e mistos (RRAE)

Elemento/local	Requisitos regulamentares
Entre o exterior e quartos ou salas (fachadas com envidraçados), 1a)	$D_{2m,nT,w} \geq 28$ dB em zonas sensíveis (*) $D_{2m,nT,w} \geq 33$ dB em zonas mistas (*)
Entre compartimento de um fogo e quartos e salas de outro fogo, 1b) e 1e)	$D_{nT,w} \geq 50$ dB $L'_{nT,w} \leq 60$ dB
Entre locais de circulação comum e quartos ou salas dos fogos, 1c), 1e) e 1f)	$D_{nT,w} \geq 48$ dB $D_{nT,w} \geq 40$ dB, se a circulação comum for um caminho vertical e existir elevador $D_{nT,w} \geq 50$ dB, se a circulação comum for garagem de estacionamento automóvel $L'_{nT,w} \leq 60$ dB ou não se aplica se a circulação comum for caminho vertical e existir elevador
Entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão e quartos ou salas dos fogos, 1d) e 1g)	$D_{nT,w} \geq 58$ dB $L'_{nT,w} \leq 50$ dB
No interior dos quartos e zonas de estar dos fogos, 1h)	$L'_{Ar,nT} \leq 32$ dB(A), se o funcionamento do equipamento for intermitente $L'_{Ar,nT} \leq 27$ dB(A), se o funcionamento do equipamento for contínuo $L'_{Ar,nT} \leq 40$ dB(A), se o equipamento for um grupo gerador elétrico de emergência

(*) + 3 dB em zonas urbanas consolidadas em que sejam ultrapassados os valores limite de exposição. Quando a área translúcida for superior a 60% do elemento da fachada em análise, deve adicionar-se a $D_{2m,nT,w}$ o termo de adaptação C ou C_{tr} , conforme o ruído dominante (mantendo-se os limites).

3.2 Principais normas no âmbito da acústica de edifícios

A Tabela 3.3 resume algumas das principais normas para o estudo da acústica nos edifícios (International Organization for Standardization, 2020).

Tabela 3.3 – principais normas no âmbito da acústica de edifícios

Objetivo	Norma	Parte
Curvas de isolamento em frequência por bandas de oitava ou de 1/3 de oitava – medições <i>in situ</i> e em laboratório	ISO 16283:2014 <i>Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements</i>	<i>Part 1: Airborne sound insulation</i> <i>Part 2: Impact sound insulation</i> <i>Part 3: Façade sound insulation</i>
	ISO 10140:2016 <i>Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements</i>	<i>Part 1: Applications rules for specific products</i> <i>Part 2: Measurement of airborne sound insulation</i> <i>Part 3: Measurement of impact sound insulation</i> <i>Part 4: Measurement procedures and requirements</i> <i>Part 5: Requirements for test facilities and equipment</i>
	ISO 354:2003. <i>Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room</i>	
	ISO 3382:2009 <i>Acoustics – Measurement of room acoustic parameters</i>	<i>Part 1: Performance spaces</i> <i>Part 2: Reverberation time in ordinary rooms</i> <i>Part 3: Open plan offices</i>
Índices globais de isolamento a partir das curvas em frequência	ISO 717:2013. <i>Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements</i>	<i>Part 1: Airborne sound</i> <i>Part 2: Impact sound</i>
	ISO 12354:2017 <i>Building acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements</i>	<i>Part 1: Airborne sound insulation between rooms</i> <i>Part 2: Impact sound insulation between rooms</i> <i>Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound</i> <i>Part 4: Transmission of indoor sound to the outside</i>
Modelos de previsão		

O conjunto de normas ISO 12354:2017 apresenta métodos de cálculo para avaliar o desempenho acústico dos edifícios a partir do desempenho acústico dos elementos construtivos que os compõem. A parte 1 do documento especifica dois tipos de modelos de cálculo elaborados para estimar o isolamento acústico a sons de condução aérea entre salas adjacentes em edifícios com o uso de dados medidos que caracterizam as transmissões diretas e marginais, através dos elementos de construção integrantes – designados por modelo

detalhado e modelo simplificado – e métodos teóricos de propagação de som em elementos estruturais (ISO 12354-1, 2017).

A parte 2 do documento especifica modelos de cálculo elaborados para estimar o isolamento acústico a sons de percussão entre compartimentos em um edifício utilizando dados medidos que caracterizam as transmissões diretas e marginais através dos elementos construtivos integrantes da estrutura, e de métodos teóricos de propagação do som em elementos estruturais (ISO 12354-2, 2017).

A parte 3 do documento especifica o modelo de cálculo para estimar o isolamento sonoro ou o a diferença de nível de pressão sonora de fachadas e demais superfícies externas dos edifícios. O cálculo é baseado no índice de redução sonora dos diferentes componentes da fachada, incluído as transmissões diretas e marginais (ISO 12354-3, 2017).

4 CLASSIFICAÇÃO ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS HABITACIONAIS³

A metodologia elaborada pelo LNEC tem como objetivo a padronização de uma classificação acústica para edifícios habitacionais localizados em zonas urbanas por meio da avaliação do comportamento do edifício (ou de parte dele) face ao ruído ambiente exterior; ao isolamento sonoro entre espaços interiores, e entre estes e o exterior; ao ruído de equipamentos coletivos; aos tempos de reverberação dos espaços; e à distribuição dos espaços dentro do edifício.

A metodologia baseia-se na avaliação de três realidades físicas do edifício, fazendo uso de indicadores apropriados para cada uma delas:

- a) nível físico Vizinhança, relacionado com a envolvente ambiental;
- b) nível físico Edifício, relacionado com as características interiores do edifício (acesso comuns e conceção arquitetónica interior);
- c) nível físico Habitação, relacionado com as características de desempenho da unidade habitacional (fogo).

A avaliação da qualidade acústica é fundamentada nos dispositivos legais aplicáveis, nomeadamente RGR – que regulamenta o nível do ruído ambiente exterior, determinando a qualidade acústica da envolvente do edifício – e RRAE – que regulamenta o conforto acústico no interior das unidades habitacionais. Por meio da quantificação de indicadores regulamentares (quando aplicáveis) ou da apreciação de condições específicas propostas, é atribuída uma pontuação de valoração (Pt), a qual serve de base para a avaliação do nível de qualidade de cada realidade física considerada. O nível de avaliação acústica (NAA) de cada nível físico corresponderá aos limites apresentados na Tabela 4.1.

³ O Capítulo 4 e suas subdivisões têm como referência o texto Método LNEC para a avaliação e classificação da qualidade acústica de edifícios habitacionais (Patrício, 2013).

Tabela 4.1 – Nível de Avaliação Acústica (NAA)

NAA	Classificação	Descrição
$NAA \geq 2,5$	Tipo A	Assegura padrões de conforto acústico de alto nível de exigência (qualidade muito boa).
$1,5 \leq NAA < 2,5$	Tipo B	Cumprir exigência de conforto acústico superior à indicada pela regulamentação aplicável (qualidade recomendável).
$1,0 \leq NAA < 1,5$	Tipo C	Cumprir genericamente com o disposto na regulamentação aplicável e/ou assegurar condições mínimas de conforto acústico.
$NAA < 1,0$	Tipo D	Não conforme à legislação e/ou não assegurar desempenho acústico adequado.

Para fins da classificação da qualidade acústica global da fração habitacional em avaliação, o respetivo nível é calculado pela equação (7).

$$NAA = \frac{\sum_i W_i P_{t_i}}{\sum_i W_i} \quad (7)$$

Em que:

W_i – fatores de ponderação dos níveis físicos em avaliação,

P_{t_i} – número de pontos atribuído a cada nível físico em avaliação.

A Tabela 4.2 apresenta os fatores de ponderação, W_i , a serem utilizados, em função da tipologia do edifício: multifamiliar ou unifamiliar (isolado ou em banda, ou sempre que não haja acessos comuns integrados na edificação, ou aspetos de disposição de arquitetura interior a considerar).

Tabela 4.2 – fatores de ponderação, W_i , dos níveis físicos a considerar na avaliação (Patrício, 2013)

Tipologia	Vizinhança	Edifício	Habitação
Edifícios multifamiliares	0,25	0,10	0,65
Edifícios unifamiliares	0,30	-	0,70

A determinação dos índices $D_{2m,nT,w}$, $D_{nT,w}$, $L'_{n,w}$, bem como de T e de $L_{Ar,nT}$, se dá em conformidade com a normalização portuguesa aplicável. Caso não exista, deverá ser utilizada a normalização europeia ou internacional em vigor. Ainda, relativamente aos elementos de avaliação:

- sempre que os subelementos de avaliação não existam nos diferentes níveis físicos da vizinhança ou do edifício, não será atribuído qualquer valor,

diminuindo assim o correspondente número para efetivação da média, na mesma proporção;

- b) no caso de quantificações com bases nos índices de comportamentos, sempre que o elemento exista, mas não tenha sido quantificado ou medido, para fins de avaliação, o valor a atribuir será 1 Pts (valor referente à conformidade legal);
- c) sempre que o valor do ruído ambiente não tenha sido medido ou seja superior ao valor que origina 0 Pts, considera-se 0 Pts;
- d) sempre que o valor do índice de isolamento a sons de condução aérea seja inferior ao valor que origina 0 Pts, considera-se 0 Pts;
- e) sempre que o valor do índice de isolamento a sons de percussão seja superior ao valor que origina 0 Pts, considera-se 0 Pts;
- f) sempre que o valor do ruído de equipamentos seja superior ao valor que origina 0 Pts, considera-se 0 Pts;
- g) na avaliação do desempenho acústico dos espaços comuns, no nível físico Edifício, dado não existirem exigências regulamentares aplicáveis, a correspondente avaliação deve ser feita com base em elementos de projeto disponíveis e na eventual inspeção da sua implementação.

A metodologia de avaliação dos níveis físicos Vizinhaça, Edifício e Habitação fundamenta-se na apreciação de características e condições gerais (efetuada na forma de aplicação de perguntas objetivas, com respostas do tipo verdadeiro ou falso) e na aplicação de ábacos dirigidos aos indicadores regulamentares em vigor, que passam a ser apresentadas a seguir.

4.1 Vizinhaça

A avaliação do nível físico Vizinhaça é dividida em dois elementos de avaliação: disposições gerais e nível sonoro do ruído ambiente exterior medido. O elemento de avaliação 1 – disposições gerais – tem base na Tabela 4.3, e a sua pontuação corresponde à média aritmética dos subelementos *a*, *b* e *c*.

Tabela 4.3 – elemento de avaliação1: disposições gerais (Patrício, 2013)

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

O elemento de avaliação 2 – nível sonoro do ruído ambiente exterior medido (L_{den} , L_n) – é avaliado com base no ábaco da Figura 4.1 ou da Figura 4.2, de acordo com a situação aplicável (*a* ou *b*). Deve-se considerar o diferencial mais elevado em relação ao valor regulamentar.

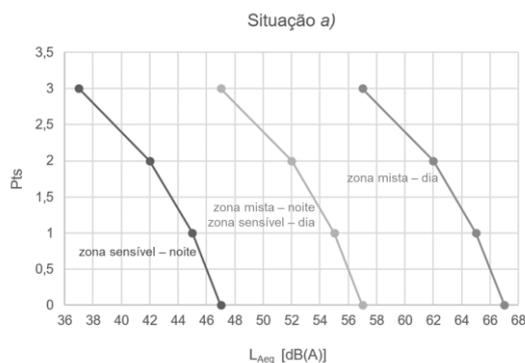


Figura 4.1 – avaliação do nível sonoro do ruído ambiente exterior medido; situação *a*) (Patrício, 2013)

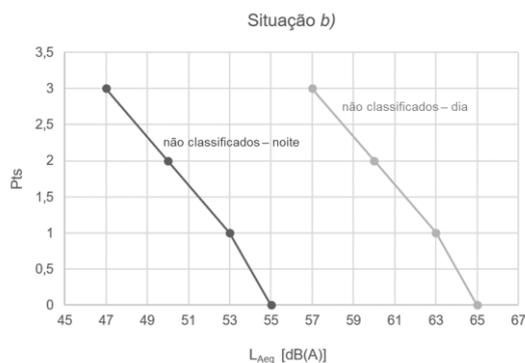


Figura 4.2 – avaliação do nível sonoro do ruído ambiente exterior medido; situação *b*) (Patrício, 2013)

A avaliação do nível físico Vizinhaça é então determinada com base na equação (8).

$$Vizinhaça = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P t_i \quad (8)$$

Em que:

N – número de elementos considerados para a avaliação ($N=2$).

4.2 Edifício

Os elementos de avaliação disposições gerais e disposições específicas são analisados de acordo com a Tabela 4.4 e com a Tabela 4.5, respetivamente.

Tabela 4.4 – disposições gerais de condicionamento acústico dos espaços comuns (Patrício, 2013)

Pergunta Objetiva	Pontuação	
a) Na entrada do edifício foram consideradas exigências de isolamento a sons aéreos relativamente ao exterior?	V = 2 Pts	F = 1 Pts
b) Nos espaços e acessos comuns foram consideradas disposições visando a redução do tempo de reverberação?	V = 5 Pts	F = 0 Pts
c) Nos espaços e acessos comuns foram consideradas disposições de condicionamento do ruído de equipamentos de carácter coletivo?	V = 3 Pts	F = 0 Pts
d) Nos espaços e acessos comuns foram consideradas disposições de condicionamento do ruído de instalações de escoamento de águas e esgotos?	V = 3 Pts	F = 1 Pts
e) Foi providenciada análise relativa ao isolamento sonoro da cobertura, quando há corpo de escadas de acesso coletivo?	V = 2 Pts	F = 0 Pts

Tabela 4.5 – disposições específicas de arquitetura e disposição relativa interior (Patrício, 2013)

Pergunta objetiva	Pontuação	
a) Não existe sobreposição vertical de compartimentos com vocação de utilização diferenciada (ex. salas sobre quartos)?	V = 2 Pts	F = 0 Pts
b) Não existe adjacência na horizontal de compartimentos principais com vocação de utilização diferenciada (ex. cozinhas anexas a quartos)?	V = 2 Pts	F = 0 Pts
c) Os compartimentos de dormir e de estar não se encontram virados para zonas potencialmente ruidosas (ex. vias de tráfego terrestre)?	V = 3 Pts	F = 1 Pts
d) Não existem no edifício espaços comerciais, de serviços ou de diversão?	V = 5 Pts	F = 0 Pts

A avaliação global do nível físico Edifício é então determinada com base na seguinte equação (9).

$$Edifício = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Pt_i \quad (9)$$

Em que:

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

4.3 Habitação

Os diplomas legais atuais sobre acústica de edifícios centram as exigências de conforto acústico no nível físico da Habitação e, portanto, os indicadores constantes na regulamentação aplicável são os considerados na avaliação. A estes indicadores regulamentares adicionam-se a avaliação associada ao isolamento sonoro entre compartimentos do mesmo fogo, os aspetos de disposição arquitetónica interior, e a inter-relação com outros espaços de uso potencialmente ruidoso existentes no edifício. A Tabela 4.6 resume os elementos de avaliação do nível físico Habitação.

Tabela 4.6 – elementos de avaliação do nível físico Habitação

Elemento de avaliação	Local
1 $D_{2m,nT,w}$	Entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos
2 $D_{nT,w}$	Entre compartimentos de um fogo (emissão) e quartos ou zonas de outro fogo (recepção)
3 $D_{nT,w}$	Entre locais de circulação comum do edifício (emissão) e quartos ou zonas de estar dos fogos (recepção)
4 $D_{nT,w}$	Entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão (emissão) e quartos ou zonas de estra dos fogos (recepção)
5 $L'_{nT,w}$	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 $L'_{nT,w}$	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 $L_{Ar,nT}$	No interior dos quartos e zonas de estar dos fogos
8 $D_{nT,w}$	Entre compartimentos de estar e dormir do mesmo fogo

A metodologia tem ainda atenção aos aspetos que, potencialmente, podem contribuir mais para o conforto acústico interior. A Tabela 4.7 apresenta os valores a aplicar na ponderação final do nível físico em questão.

Tabela 4.7 – coeficientes de ponderação para o nível físico Habitação (Patrício, 2013)

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

Uma vez que podem ser obtidos, para soluções construtivas equivalentes, índices de comportamento diferentes e que ainda assim cumpram as exigências regulamentares aplicáveis, considerar o índice de comportamento acústico da solução construtiva mais desfavorável pode condenar uma avaliação equilibrada. Portanto, para a utilização dos seguintes ábacos, deve ser calculada a média energética dos desempenhos em causa, na forma da equação (10), para isolamentos, ou (11), para campo sonoro.

$$I_{final} = -10 \log \left[\frac{1}{k} \sum_1^k 10^{-D_i/10} \right] \quad (10)$$

$$I_{final} = -10 \log \left[\frac{1}{k} \sum_1^k 10^{-L_i/10} \right] \quad (11)$$

Em que:

I_{final} – índice médio final

D_i – isolamento da solução construtiva i ;

L_i – campo sonoro no espaço i ;

k – número de soluções construtivas consideradas.

Entre a Figura 4.3 e a Figura 4.10, estão ilustrados os ábacos do elementos de avaliação 1 ao elemento de avaliação 8 que podem ser considerados no nível físico Habitação.

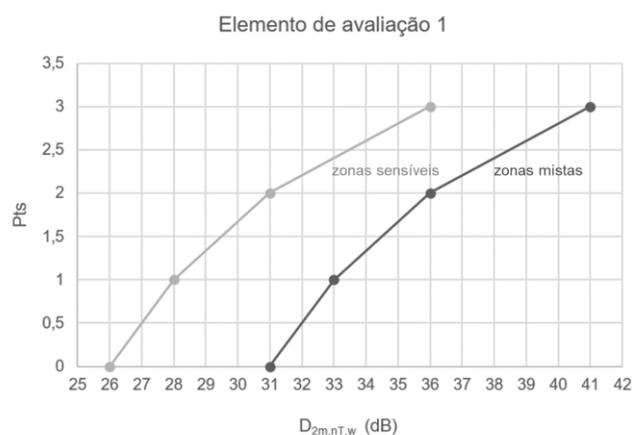


Figura 4.3 – elemento de avaliação 1 (Patrício, 2013)

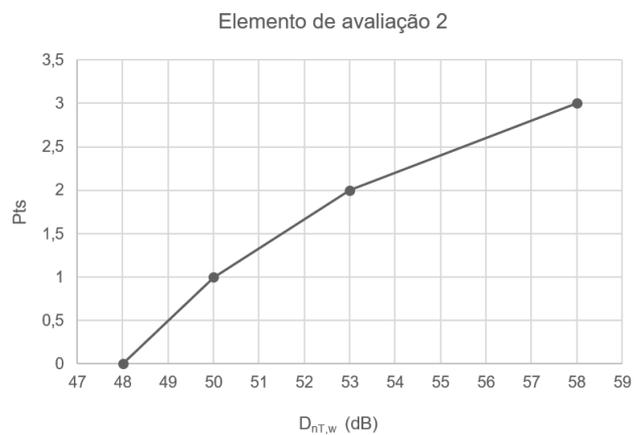


Figura 4.4 – elemento de avaliação 2 (Patrício, 2013)

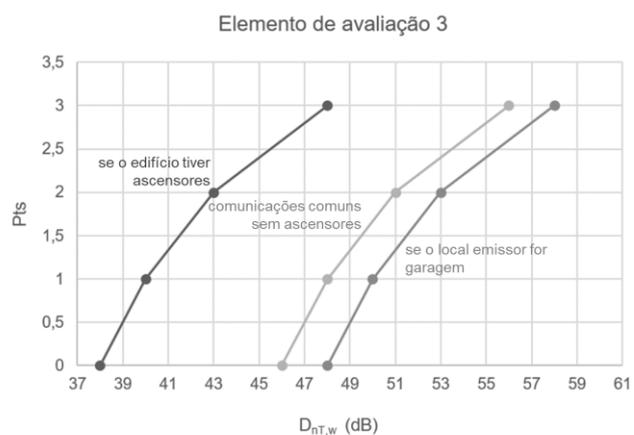


Figura 4.5 – elemento de avaliação 3 (Patrício, 2013)

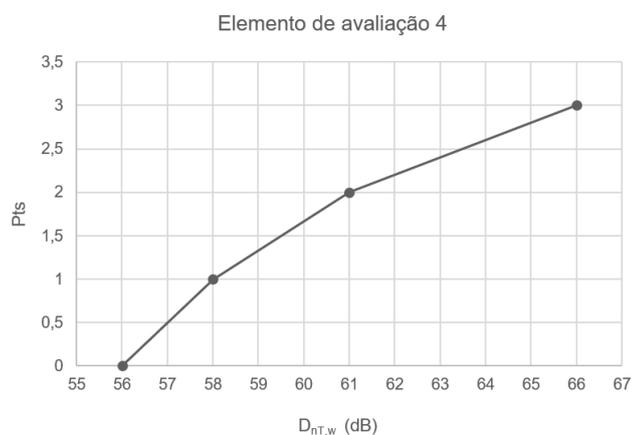


Figura 4.6 – elemento de avaliação 4 (Patrício, 2013)

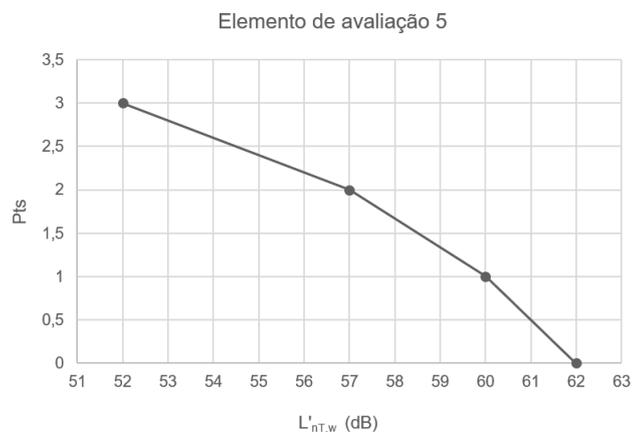


Figura 4.7 – elemento de avaliação 5 (Patrício, 2013)

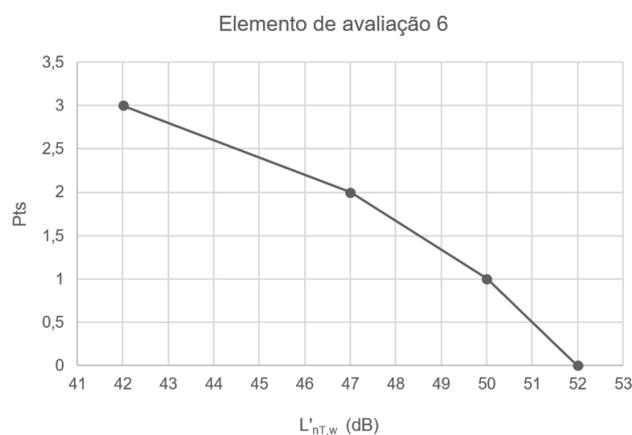


Figura 4.8 – elemento de avaliação 6 (Patrício, 2013)

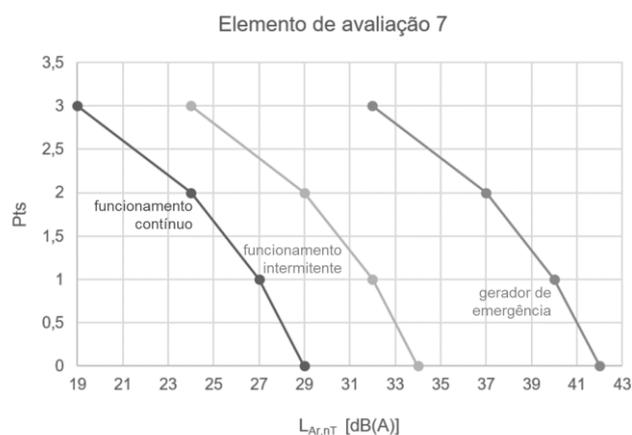


Figura 4.9 – elemento de avaliação 7 (Patrício, 2013)

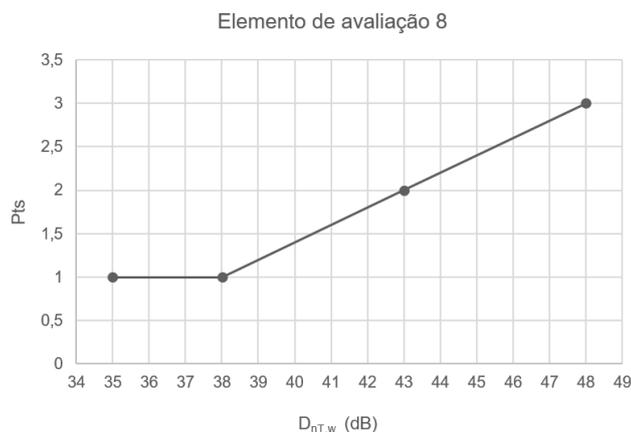


Figura 4.10 – elemento de avaliação 8 (Patrício, 2013)

A avaliação global do nível físico Habitação está relacionada à média ponderada dos subelementos que constituem os elementos de avaliação, e é calculada com base na equação (12).

$$Habitação = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i P t_i}{\sum_{i=1}^N \alpha_i} \quad (12)$$

Em que:

N – número de elementos considerados para a avaliação;

$P t_i$ – pontuação média atribuída a cada elemento;

α_i – ponderação correspondente (Tabela 4.7).

5 ESTUDO DE CASO

Apresenta-se neste capítulo o exemplo ilustrativo da aplicação da metodologia de avaliação e classificação em um projeto de um edifício multifamiliar. Para o efeito, consideraram-se três enquadramentos distintos para cada estrutura proposta ao objeto do estudo de caso (estrutura pesada e estrutura mista), os quais permitem obter cada um dos tipos de classificação acústica da metodologia LNEC: Tipo A, Tipo B e Tipo C.

5.1 Descrição do edifício

O objeto do estudo de caso é um projeto fictício de um edifício de habitação multifamiliar, com três pisos. No Piso 0 situam-se as garagens e o hall de entrada que dá acesso às habitações. Os restantes pisos (Piso 1 e Piso 2) são compostos por habitações de tipologias T2 e T4.

As habitações de tipologia T2, denominadas T2D, situam-se à direita de quem acede o piso pelas escadas e são compostas por hall de entrada (5 m²), sala (18,47 m²), cozinha com arrumos (13,22 m²), quarto Q1 (13,40 m²), quarto Q2 (12,69 m²) e instalação sanitária (4,89 m²). As habitações de tipologia T4, denominadas T4E, situam-se à esquerda de quem acede o piso pelas escadas e são compostas por hall de entrada (7,46 m²), cozinha (13,22 m²), sala (23,84 m²), quarto Q1 (13,92 m²), quarto Q2 (14,82 m²), quarto Q3 (13,40 m²) quarto Q4(12,69 m²) e duas instalações sanitárias (5,14 m² e 3,15 m²).

A distribuição dos espaços interiores dos pisos para habitação é verificada na planta da Figura 5.1. A planta da Figura 5.2 detalha a distribuição dos espaços no Piso 0, e a Figura 5.3 detalha o corte K-K' representado nas plantas baixas dos pisos.



Figura 5.1 – planta dos Pisos 1 e 2 (habitações)

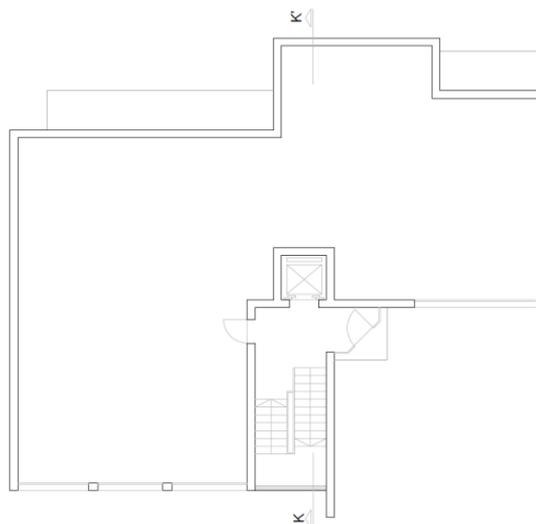


Figura 5.2 – planta do Piso 0 (hall de entrada e garagens)

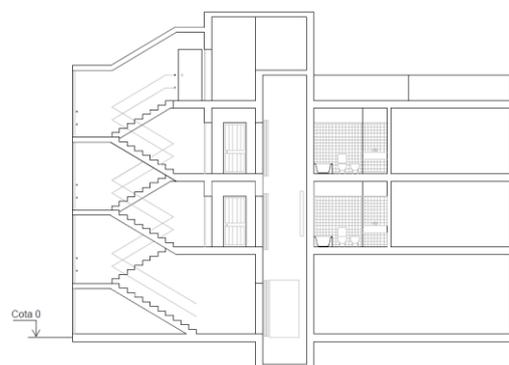


Figura 5.3 – representação do corte K-K'

Para fins da classificação acústica global, a qual envolve os três níveis físicos abordados pelo método (Vizinhança, Edifício e Habitação), admite-se que:

- a) o edifício encontra-se localizado em zona definida administrativamente como mista;
- b) o projeto em estudo não integra frações autónomas para exercício de atividade comercial;
- c) o projeto em estudo possui salas e quartos virados para as vias de tráfego, consideradas fontes sonoras potencialmente ruidosas;
- d) no que respeita as comunicações comuns, não foi indicado no projeto do edifício nenhuma referência a medidas específicas de condicionamento acústico;
- e) relativamente às instalações de abastecimento de água e de escoamento de águas residuais, foram consideradas regras de boa prática construtiva;
- f) não há informações em projeto sobre a potência sonora dos equipamentos de carácter coletivo a serem instalados no edifício, pelo que o valor a atribuir ao elemento de avaliação 7 será aquele que corresponde à conformidade legal.

5.2 Soluções construtivas estudadas

Os elementos construtivos dividem-se em quatro categorias: fachada, pavimento, paredes divisórias entre fogos e paredes divisórias entre compartimento de um mesmo fogo. Para cada uma dessas categorias, foram estudadas três alternativas de solução construtiva por estrutura (pesada e mista), a fim de obter cada uma das três classificações possíveis do Método LNEC (que cumpram os regulamentos em vigor em Portugal).

5.2.1 Fachada

As soluções construtivas para o elemento fachada mantêm-se iguais para a análise do projeto tanto em estrutura pesada como em estrutura mista. Como, para a análise do desempenho acústico da fachada, a zona envidraçada é determinante, em detrimento da zona opaca, manteve-se a mesma solução construtiva para a componente opaca, variando-se a componente envidraçada. A componente opaca da fachada foi estudada em alvenaria dupla de tijolo cerâmico vazado, com pano exterior com espessura nominal de 0,11 m e pano interior com espessura nominal de 0,15 m, os quais formam caixa de ar com 0,03 m espessura (Figura 5.4).

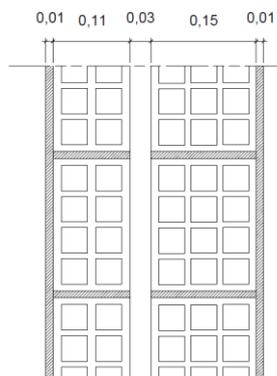


Figura 5.4 –parede da fachada

Para as zonas envidraçadas, foram adotadas as seguintes soluções:

- a) vidro duplo composto por vidro comum de 4 mm de espessura em pano interior e exterior, espaçados por caixa de ar de 6 mm;
- b) vidro duplo composto por vidro comum de 8 mm de espessura em pano interior e vidro comum de 6 mm em pano exterior, espaçados por caixa de ar de 12 mm;
- c) vidro duplo composto por vidro acústico laminado de 8 mm de espessura em pano interior e vidro comum de 8 mm de espessura em pano exterior, espaçados por caixa de ar de 12 mm.

5.2.2 Pavimento

À semelhança da fachada, as soluções construtivas para o elemento pavimento mantém-se iguais para a análise do projeto tanto em estrutura pesada como em estrutura mista. Fixou-se o elemento estrutural em laje maciça de betão armado não revestida, com 17 cm de espessura e massa superficial de 408 kg/m², e foram propostos três pavimentos flutuantes, constituídos por materiais resilientes, que suportam uma lajeta armada, e que são assentes sobre o elemento estrutural. Os pavimentos flutuantes são descritos a seguir:

- a) lajeta de betão armado, com 40 mm de espessura, assente sobre placas de aglomerado composto de cortiça de 6 mm de espessura e massa volúmica de 240 kg/m³ (Figura 5.5);
- b) lajeta de betão de 40 mm de espessura, assente sobre manta de granulado de borracha, aglomerado com resina, com espessura de 8 mm e massa volúmica de 710 kg/m³ (Figura 5.6);

- c) lajeta de betão com 40 mm de espessura, assente sobre camada de poliestireno expandido moldado (EPS), com espessura de 20 mm e massa volúmica de 10,5 kg/m³ (Figura 5.7).

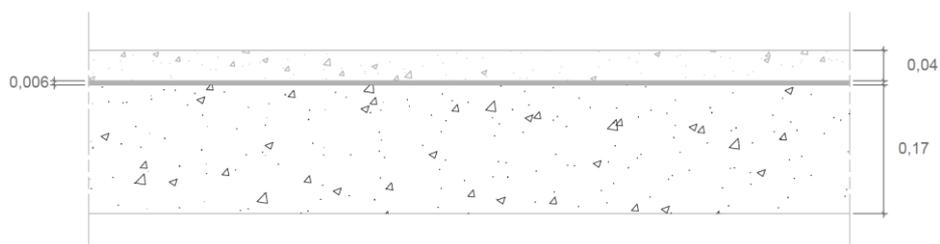


Figura 5.5 – pavimento flutuante com aglomerado composto de cortiça

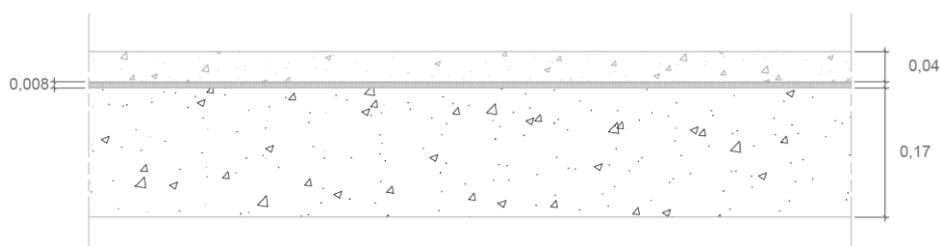


Figura 5.6 – pavimento flutuante com aglomerado de granulado de borracha

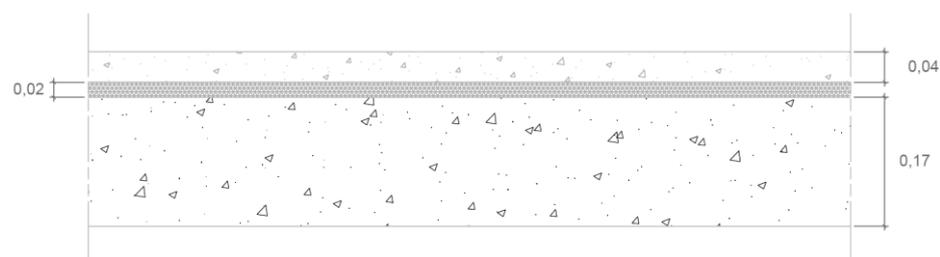


Figura 5.7 – pavimento flutuante com poliestireno expandido moldado (EPS)

5.2.3 Paredes divisórias entre fogos

Para a análise do desempenho acústico do projeto em estrutura pesada, foram adotadas as seguintes soluções construtivas para o elemento de separação horizontal entre fogos:

- a) parede dupla com dois panos em tijolo vazado de 11 cm, separados por caixa de ar com 3 cm, sem preenchimento, rebocada nas duas faces exteriores (Figura 5.8);
- b) parede dupla com dois panos em tijolo vazado de 15 cm, separados por caixa de ar com 3 cm, sem preenchimento, rebocada nas duas faces exteriores (Figura 5.9);
- c) parede simples em alvenaria de tijolo cerâmico vazado de 11 cm, reforçada com placa de gesso cartonado de 12,5 mm em cada uma das faces, ligadas à parede por meio de apoios antivibráteis de 48 mm de espessura. A cavidade é preenchida com lã de rocha (40 kg/m³), com 40 mm de espessura (Figura 5.10).

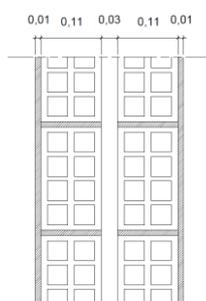


Figura 5.8 –parede dupla em tijolo cerâmico vazado de 11 cm

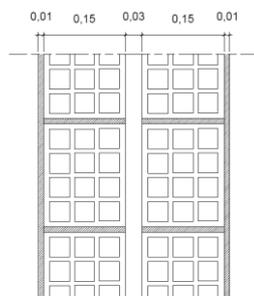


Figura 5.9 –parede dupla em tijolo cerâmico vazado de 15 cm

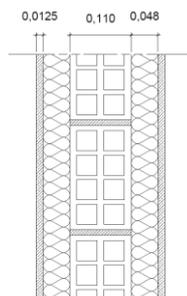


Figura 5.10 –parede simples em tijolo de 11 cm com reforço em ambas as faces

Para o estudo de caso do projeto em estrutura mista, foram adotadas as seguintes soluções construtivas para o elemento em questão:

- a) parede divisória interior constituída por estrutura metálica dupla com perfis de 48 mm (afastados a cada 600 mm), nos quais são fixadas duas camadas de placas de gesso cartonado de 12,5 mm em cada uma das faces exteriores, perfis verticais ligados entre si e caixa de ar parcialmente preenchida com camada dupla de lã mineral de 50 mm de espessura (Figura 5.11);
- b) parede divisória interior constituída por estrutura metálica dupla com perfis de 48 mm (afastados a cada 600 mm), nos quais são fixadas duas camadas de placas de gesso cartonado de 12,5 mm em cada uma das faces exteriores, placa intermediária de gesso cartonado de 12,5 mm entre os perfis metálicos e caixa de ar preenchida com camada dupla de lã mineral de 50 mm de espessura (Figura 5.12);
- c) parede divisória interior constituída por estrutura metálica dupla e independente com perfis de 70 mm (afastados a cada 600 mm), nos quais são fixadas duas camadas de placas de gesso cartonado de 12,5 mm em cada uma das faces exteriores, e caixa de ar parcialmente preenchida com camada dupla de lã mineral de 60 mm de espessura (Figura 5.13).

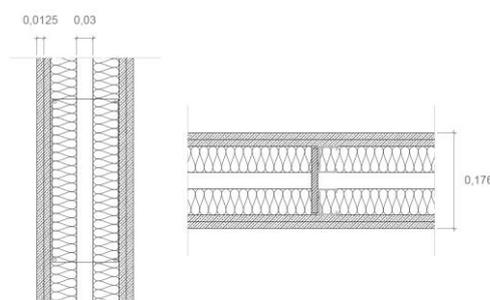


Figura 5.11 – parede divisória dupla em estrutura leve, com 176 mm de espessura

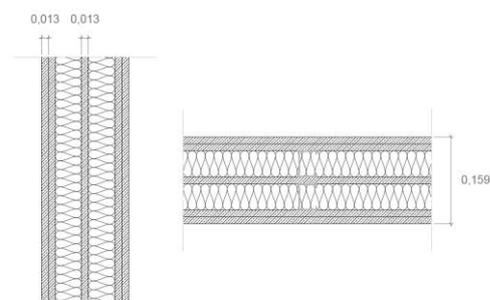


Figura 5.12 – parede divisória dupla em estrutura leve, com 159 mm de espessura

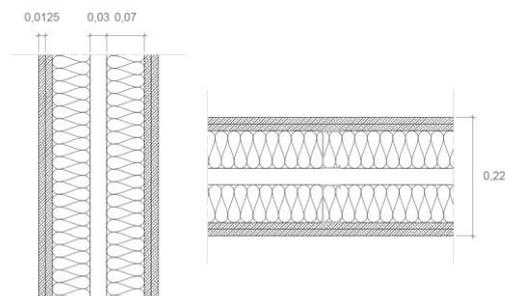


Figura 5.13 –parede divisória dupla em estrutura leve com 220 mm de espessura

5.2.4 Paredes divisórias no interior de cada fogo

Para a análise do desempenho acústico do projeto em estrutura pesada, foram adotadas as seguintes soluções construtivas para o elemento de separação entre compartimentos no interior de cada fogo:

- parede simples em tijolo vazado de 9 cm, rebocada em ambas as faces (Figura 5.14);
- parede simples em tijolo vazado de 11 cm, rebocada em ambas as faces (Figura 5.15);
- parede simples em tijolo vazado de 15 cm, rebocada em ambas as faces (Figura 5.16).

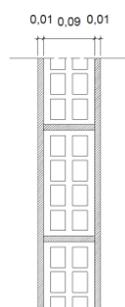


Figura 5.14 –parede simples em tijolo cerâmico vazado de 9 cm

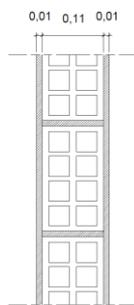


Figura 5.15 –parede simples em tijolo cerâmico vazado de 11 cm

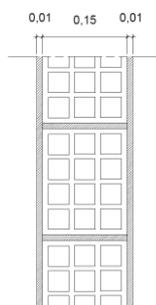


Figura 5.16 –parede simples em tijolo cerâmico vazado de 15 cm

Para o estudo de caso do projeto em estrutura mista, foram adotadas as seguintes soluções construtivas para as divisórias entre compartimentos no interior dos fogos:

- a) parede divisória interior constituída por estrutura metálica simples com perfis de 48 mm (afastados a cada 600 mm), na qual é fixada uma camada de placa de gesso cartonado de 12,5 mm em ambas as faces, formando caixa de ar preenchida com lã mineral de 50 mm de espessura (Figura 5.17);
- b) parede divisória interior constituída por estrutura metálica simples com perfis de 48 mm (afastados a cada 600 mm), na qual são fixadas duas camadas de placas de gesso cartonado de 12,5 mm em ambas as faces, formando caixa de ar preenchida com lã mineral de 50 mm de espessura (Figura 5.18);
- c) parede divisória interior constituída por estrutura metálica simples com perfis de 70 mm (afastados a cada 600 mm), na qual são fixadas duas placas de gesso cartonado de 12,5 mm em ambas as faces, formando caixa de ar parcialmente preenchida com camada dupla de lã mineral de 60 mm (Figura 5.19).

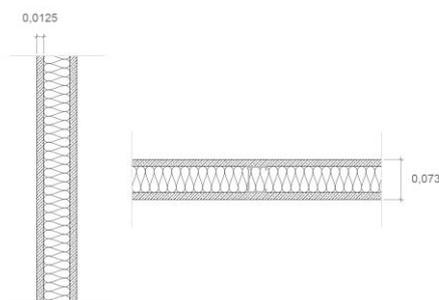


Figura 5.17 –parede divisória interior em estrutura leve com 73 mm de espessura

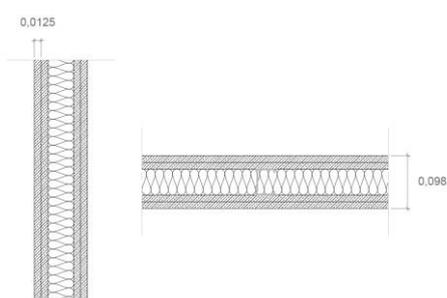


Figura 5.18 –parede divisória interior em estrutura leve com 98 mm de espessura

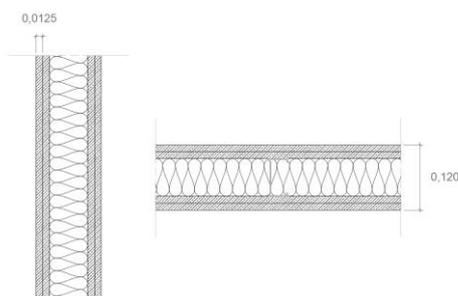


Figura 5.19 –parede divisória interior em estrutura leve com 120 mm de espessura

5.3 Análise do desempenho acústico

Definidas as soluções construtivas a serem analisadas, passou-se ao estudo dos respectivos desempenhos acústicos. Para tal, recorreu-se a resultados de ensaios realizados por entidades acreditadas, quando foi possível. Nas situações em que não foi possível recorrer a ensaios confiáveis, fez-se uso do *software* INSUL para a previsão do isolamento acústico, o qual fundamenta-se na Lei de Sharp. Nestes casos, foram utilizadas as propriedades dos materiais isotrópicos correntes, conforme a Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – propriedades dos materiais isotrópicos correntes

Material	Modulo de Elasticidade E (GPa)	Coefficiente de Poisson ν	Massa Volúmica ρ (kg/m ³)	Fator de Perdas η
Betão	29	0,15	2400	0,01
Gesso cartonado	2,5	0,27	800	0,02
Vidro	72	0,22	2500	0,005
Tijolo cerâmico vazado	6	0,20	1000 ⁴	0,01 ⁵

As curvas de isolamento sonoro e os respectivos índices de redução sonora das soluções construtivas que envolvem paredes de alvenaria foram previstas no INSUL. Os resultados obtidos estão reunidos na Tabela 5.2.

Também no INSUL foram previstos os comportamentos acústicos das soluções construtivas estudadas para os envidraçados. Em um caso real, para o conjunto composto pelo vidro e caixilharia, deveria tentar-se a obtenção da curva de isolamento junto ao fornecedor. No caso em estudo, como forma de simular a influência da caixilharia no desempenho acústico dos vidros, a partir dos resultados obtidos no *software*, identificou-se a frequência de ressonância da caixa de ar e, três bandas a seguir à ocorrência da quebra, procedeu-se a um ajuste da curva. O ajuste, visando a aproximação das perdas de isolamento sonoro provocadas pelas caixilharias que acontecem na prática, foi pensado para caixilhos de batente, com classe de permeabilidade ao ar A4. A Tabela 5.3 apresenta os valores obtidos, após os ajustes. Os ajustes obedeceram ao seguinte:

- a) $R_w < 33$ dB: não é necessário ajustar a curva;
- b) $33 \leq R_w < 36$ dB: aplica-se um ajuste de - (2 a 3) dB à curva;
- c) $36 \leq R_w < 40$ dB: aplica-se um ajuste de - (4 a 5) dB à curva;
- d) $R_w \geq 40$ dB: aplica-se um ajuste de - 6 dB à curva.

As curvas de isolamento sonoro e os respectivos índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea para as paredes divisórias interiores em estrutura leve – constituídas por estrutura com perfis metálicos (horizontais e verticais) e placas de gesso cartonado – usados

⁴ Para efeitos de simulação no *software* INSUL, foi adotado um valor de massa volúmica ligeiramente menor do que o habitual, e considerou-se a espessura final da solução construtiva (tijolo cerâmico vazado rebocado).

⁵ Nos elementos duplos, uma vez que não há condições para a ocorrência do efeito de coincidência completo (e como este efeito é muito penalizador em elementos duplos de panos iguais), foi propositadamente admitido um fator de perdas exagerado ($\eta = 0,05$) na previsão do isolamento sonoro destas soluções construtivas.

são provenientes de ensaios acústicos realizados por entidade acreditada⁶. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5.4.

A previsão do isolamento sonoro do pavimento no tosco, que foi fixado como sendo o elemento com função estrutural de separação entre os pisos, e no qual foram adicionadas as opções de pavimento flutuante para melhoria do desempenho acústico da solução construtiva, foi realizada no INSUL. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5.5

As características de isolamento sonoro a sons de percussão para os pavimentos flutuantes foram obtidas a partir de ensaios efetuados em laboratório, realizados pelo LNEC, e reunidos em publicação. A redução sonora no domínio da frequência é independente do isolamento a sons de percussão do pavimento não revestido (Domingues, 2008). Os resultados dos ensaios são apresentados na Tabela 5.6. Os valores ensaiados são para as frequências 100 a 3150 Hz, dado que os ensaios são anteriores à atual normalização. Foram mantidos os valores medidos para a frequência de 3150 Hz nas frequências de 4000 e 5000 Hz.

Todas as fichas resultantes das previsões de isolamento sonoro das soluções construtivas obtidas através do *software* INSUL, estão disponíveis no Anexo A. As fichas técnicas dos ensaios acústicos das divisórias interiores em estrutura de aço leve utilizadas, estão disponíveis no Anexo B.

⁶ Disponíveis em: <<http://gypteciberica.no-ip.org/fmi/iwp/cgi?-db=Recursos&-loadframes>>.

Tabela 5.2 – previsão do isolamento sonoro de paredes de alvenaria

Solução construtiva							
	f (Hz)	R (dB)					
Parede simples em tijolo vazado de 9 cm, rebocada	100	34	35	36	33	33	22
Parede simples em tijolo vazado de 11 cm, rebocada	125	34	35	34	35	34	34
Parede simples em tijolo vazado de 15 cm, rebocada	160	34	34	30	36	34	43
Parede dupla em tijolo vazado de 11 cm + 11 cm, caixa de ar de 3 cm, rebocada nas faces exteriores	200	32	29	32	35	39	54
Parede dupla em tijolo vazado de 15 cm + 15 cm, caixa de ar de 3 cm, rebocada nas faces exteriores	250	28	31	35	39	42	62
Parede dupla em tijolo vazado 15 cm + 11 cm, caixa de ar de 3 cm, rebocada nas faces exteriores	315	31	33	38	43	46	68
Parede simples em tijolo vazado de 11 cm, reforçada com 1 placa de gesso cartonado 12,5 mm + lâ de rocha	400	34	36	40	47	50	70
	500	36	39	43	51	54	72
	630	39	42	46	54	57	74
	800	42	44	48	58	61	75
	1000	45	47	51	62	65	77
	1250	47	50	54	66	69	78
	1600	50	53	57	70	73	78
	2000	53	55	59	74	77	78
	2500	56	58	62	78	81	74
	3150	59	61	65	82	84	86
	4000	62	64	68	86	88	88
	5000	64	67	71	90	92	90
R_w (dB)	41	43	47	52	54	53	59
C (dB)	-1	-1	-1	-2	-2	-1	-9
C_{tr} (dB)	-3	-4	-5	-6	-8	-6	-17

Tabela 5.3 – previsão do isolamento sonoro dos envidraçados

Solução construtiva				
	<i>f</i> (Hz)	<i>R</i> (dB)	<i>R</i> (dB)	<i>R</i> (dB)
<p>Vidro duplo com panos interior e exterior em vidro simples de 4 mm, espaçados por caixa de ar de 6 mm</p> <p>Vidro duplo com pano interior em vidro simples de 8 mm e pano exterior em vidro simples de 6 mm, espaçados por caixa de ar de 12 mm</p> <p>Vidro duplo com pano interior em vidro acústico laminado de 8 mm e pano exterior em vidro simples de 8 mm, espaçados por caixa de ar de 12 mm</p>	100	21	25	26
	125	22	24	25
	160	23	21	23
	200	24	16	22
	250	23	24	27
	315	19	30	32
	400	19	31	30
	500	26	34	33
	630	31	37	35
	800	35	38	37
	1000	38	39	38
	1250	40	38	37
	1600	41	34	35
	2000	41	34	44
	2500	39	32	39
	3150	27	36	43
	4000	32	40	47
	5000	36	44	51
	<i>R_w</i> (dB)	30	34	36
	<i>C</i> (dB)	-1	-2	-1
<i>C_{tr}</i> (dB)	-3	-5	-4	

Tabela 5.4 – resultados de ensaios acústicos para divisórias em estrutura leve

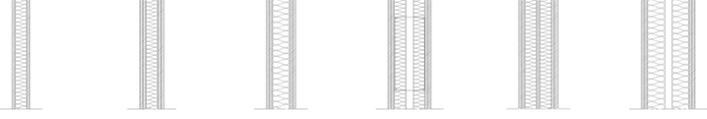
Solução construtiva						
	f (Hz)	R (dB)				
Estrutura metálica simples com perfis de 48 mm, gesso cartonado 12,5 mm e lã mineral na caixa de ar	100	20,0	22,9	28,7	34,5	42,7
Estrutura metálica simples com perfis de 48 mm, camada dupla de gesso cartonado 12,5 mm e lã mineral na caixa de ar	125	13,2	19,0	24,1	35,4	44,3
Estrutura metálica simples com perfis de 70 mm, camada dupla de gesso cartonado 12,5 mm e lã mineral na caixa de ar	160	17,1	26,4	29,8	41,2	48,6
Estrutura metálica dupla com perfis de 48 mm, ligados entre si, camada dupla de gesso cartonado 12,5 mm e lã mineral na caixa de ar	200	24,0	33,9	37,7	43,9	50,2
Estrutura metálica dupla com perfis de 48 mm, camada dupla de gesso cartonado 12,5 mm, gesso cartonado 12,5 mm entre perfis, e lã mineral na caixa de ar	250	32,8	39,4	43,0	48,6	55,7
Estrutura metálica dupla com perfis de 70 mm, camada dupla de gesso cartonado 12,5 mm, e lã mineral na caixa de ar	315	37,6	43,4	47,8	54,2	61,2
	400	45,2	50,0	50,9	56,6	63,8
	500	50,0	53,2	55	60,7	71,2
	630	52,2	56,5	59,7	62,8	72,6
	800	55,0	57,7	62,2	64,7	74,3
	1000	58,3	59,3	63,9	66,8	73,6
	1250	61,2	61,9	66,2	70,8	74,2
	1600	60,7	62,6	66,3	72,1	73,9
	2000	56,2	61,3	63,3	70,6	72,1
	2500	48,1	53,1	54,0	66,3	71,5
	3150	46,0	51,9	55,7	67,4	69,6
	4000	49,0	54,5	58,3	64,2	65,4
	5000	52,2	55,1	57,7	56,6	56,6
R_w (dB)	40	47	51	59	65	67
C (dB)	-4	-4	-3	-2	-4	-5
C_{tr} (dB)	-10	-11	-10	-9	-9	-9

Tabela 5.5 – previsão dos índices para a laje de betão armado

Solução construtiva	laje maciça em betão armado, não revestida, com 170 mm de espessura massa superficial de 408 kg/m ²			
	f (Hz)	R (dB)	L_n (dB)	
	100	42	59	
	125	39	63	
	160	42	67	
	200	44	68	
	250	47	69	
	315	50	69	
	400	52	69	
	500	55	69	
	630	57	69	
	800	60	69	
	1000	63	69	
	1250	65	69	
	1600	68	69	
	2000	71	70	
	2500	73	70	
	3150	76	69	
	4000	79	69	
	5000	81	68	
	R_w (dB)	58	L_{n,w} (dB)	76
	C (dB)	-1	C₁ (dB)	-10
	C_{tr} (dB)	-6		

Tabela 5.6 – isolamento sonoro a sons de percussão para os pavimentos flutuantes
(Domingues, 2008)

Solução construtiva	Lajeta de betão armado com 40 mm de espessura assente sobre placas de aglomerado composto de cortiça de 6 mm de espessura e massa volúmica de 240 kg/m ³			Lajeta de betão armado com 40 mm de espessura assente sobre manta de granulado de borracha, aglomerado com resina, com espessura de 8 mm e massa volúmica de 710 kg/m ³			Lajeta de betão armado com 40 mm de espessura assente sobre camada de poliestireno expandido moldado (EPS), com espessura de 20 mm e massa volúmica de 10,5 kg/m ³		
	f (Hz)	L_{n,0} (dB)	L_n (dB)	ΔL (dB)	L_{n,0} (dB)	L_n (dB)	ΔL (dB)	L_{n,0} (dB)	L_n (dB)
100	72	71	0	66	66	-1	70	54	16
125	74	74	0	64	64	0	68	49	19
160	75	75	0	66	65	1	72	64	9
200	83	77	6	66	58	9	74	61	13
250	81	75	6	74	62	12	75	54	21
315	81	76	5	67	53	14	76	47	30
400	83	74	9	71	56	15	78	59	19
500	83	73	10	70	53	18	82	58	24
630	83	71	12	72	52	20	84	53	31
800	83	66	16	75	51	24	85	61	24
1000	81	63	19	74	45	29	89	60	29
1250	81	57	24	73	38	35	90	61	29
1600	81	54	27	74	33	41	93	58	35
2000	80	47	33	75	28	47	95	64	31
2500	79	37	42	75	26	49	90	61	29
3150	75	26	49	73	19	54	87	59	28
4000	75	26	49	73	19	54	87	59	28
5000	75	26	49	73	19	54	87	59	28
ΔL_w (dB)			19			22			27
ΔL_{LIN} (dB)			8			9			20
ΔL (dB(A))			17			23			27

Os resultados supracitados serviram de base para a simulação do desempenho acústico das soluções construtivas na geometria do edifício (considerando o isolamento acústico entre compartimentos e as transmissões marginais), o qual foi estudado de acordo com a metodologia prevista na série de normas ISO 12354:2017, através do *software* de cálculo ACOUBAT.

5.4 Aplicação da metodologia LNEC

O estudo de caso é um projeto de um edifício de habitação multifamiliar, pelo que o método LNEC pode ser aplicado. A classificação obtida nos casos de aplicação da metodologia em projetos, no entanto, somente é válida quando confirmada a situação de após construção, remodelação ou alteração do edifício.

5.4.1 Nível físico: Vizinhança

Na avaliação do nível físico Vizinhança, relativamente ao elemento de avaliação 1 – disposições gerais – e assumindo que o projeto será executado em Coimbra, tem-se valoração correspondente à afirmação positiva para as alíneas *a*) (existência de mapa de ruído) e *c*) (integração ambiental do edifício assenta em classificação administrativa de zoneamento acústico). No entanto, relativamente à alínea *b*) (proximidade de zonas potencialmente ruidosas), tem-se valoração correspondente à negação. A pontuação do elemento de avaliação 1 corresponde à média aritmética dos seus subelementos, qual seja 1,7 Pts.

Relativamente ao elemento de avaliação 2, dado que a indicação de localização refere-se apenas a zona mista, sem quantificação de valores do ruído ambiente, assume-se o cumprimento dos valores regulamentares, qual seja 1 Pts. A avaliação global do nível físico Vizinhança é determinada com base na equação (8), e resulta 1,3 Pts, sendo o NAA do Tipo C (Tabela 5.7).

Tabela 5.7 – nível físico Vizinhança

	Requisito	Resposta	Pontuação	Classificação
Vizinhança	1 a)	V	2	1,3 (Tipo C)
	1 b)	F	0	
	1 c)	V	3	
	2	-	1	

5.4.2 Nível físico: Edifício

No nível físico Edifício, relativamente ao elemento de avaliação 1 – disposições gerais de condicionamento acústico dos espaços e acessos comuns –, não foram especificadas medidas de condicionamento acústico no projeto, pelo que a soma total de pontos é igual a 2,0 (foi atribuída a valoração correspondente às respostas F para cada uma das alíneas). Relativamente

ao elemento de avaliação 2 – disposições específicas de arquitetura disposição relativa interior –, é aplicável o disposto nas alíneas a) a d) da seguinte forma: não existe sobreposição vertical de compartimentos com utilização diferenciada (2 Pts); há adjacência horizontal de quarto com cozinha (0 Pts); compartimentos de estar e dormir virados para zona potencialmente ruidosa (0 Pts); e não há espaços comerciais, de serviço ou de diversão noturna no edifício (5 Pts). A avaliação global do nível físico Edifício é calculada com base na equação (9), e resulta 1,1 Pts, sendo o NAA do Tipo C (Tabela 5.8).

Tabela 5.8 – nível físico Edifício

	Requisito	Resposta	Pontuação	Classificação
Edifício	1 a)	F	1	1,1 (Tipo C)
	1 b)	F	0	
	1 c)	F	0	
	1 d)	F	1	
	1 e)	F	0	
	2 a)	V	2	
	2 b)	F	0	
	2 c)	F	1	
	2 d)	V	5	

5.4.3 Nível físico: Habitação

No que diz respeito ao nível físico Habitação, foram estudadas as diferentes propostas para as soluções construtivas descritas em 5.2, divididas em estrutura pesada tradicional (betão armado e alvenaria de tijolo cerâmico) e estrutura mista (pavimentos e fachada em estrutura pesada e paredes divisórias interiores em estrutura de aço leve). As soluções construtivas foram agrupadas de forma a simular um desempenho suficiente para cumprir o regulamento, com o objetivo de atingir a classificação acústica do Tipo C (Grupo 1 e Grupo 4); um desempenho com qualidade acústica recomendável, com o objetivo de atingir a classificação acústica Tipo B (Grupo 2 e Grupo 5); e um desempenho acústico notável, com o objetivo de atingir a classificação Tipo A (Grupo 3 e Grupo 6). O desempenho acústico dos grupos, dada a geometria específica, foi simulado no *software* de cálculo ACOUBAT. Os resultados obtidos no programa para elementos de avaliação aplicáveis ao estudo de caso estão disponíveis no Anexo C.

O elemento de avaliação 1 – $D_{2m,nT,w}$ entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos – foi calculado para a Sala T2D, situação mais desfavorável (maior área

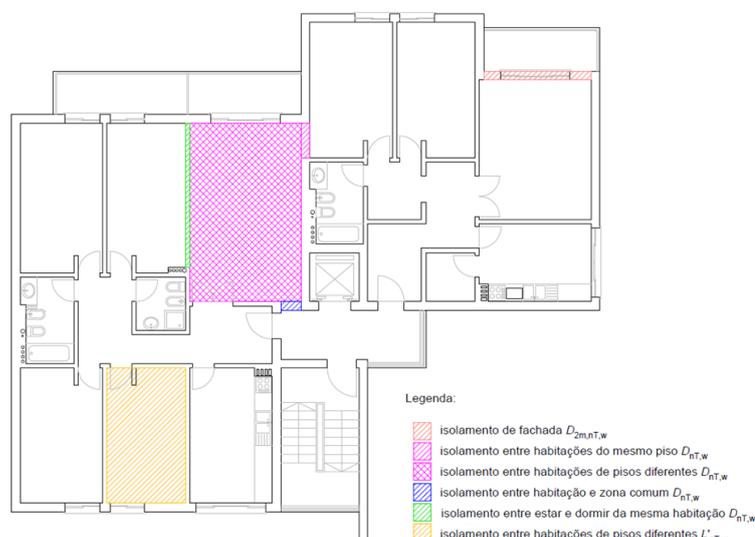
envidraçada e menor volume). Tendo em atenção que, nesta situação, a percentagem de zona translúcida é 52,8% da área global da fachada, e sendo esse valor menor que o exigido regulamentarmente (60%), não foi considerado o termo de adaptação C_{tr} .

Na análise do elemento de avaliação 2 – $D_{nT,w}$ entre compartimentos de um fogo (emissão) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (recepção) –, e uma vez que há duas soluções construtivas equivalentes (separação de fogos na horizontal e na vertical) cumprindo a mesma exigência regulamentar, foram levadas em consideração as duas situações mais desfavoráveis: entre a Sala T4E (emissão) e o quarto Q1 T2D (recepção); e entre as Salas T4E dos diferentes pisos (maior perímetro com continuidade). Foi calculada a média energética dos desempenhos em causa, por meio da equação (10), para então fazer uso do respetivo ábaco.

O elemento de avaliação 3 – $D_{nT,w}$ entre locais de circulação comum do edifício (emissão) e quartos ou zonas de estar dos fogos (recepção) – foi avaliado na Sala T4E, único compartimento no projeto em que há a presença de adjacência entre quartos e salas de estar com comunicações comuns. Como trata-se de um hall de entrada, há uma transmissão indireta, ocasionada pelas portas (porta de entrada na habitação e porta interna em que se dá o acesso do hall à sala da habitação T4E). Uma forma de simular a transmissão indireta das portas é a inserção de uma conduta de ar, que atravessa a parede.

O elemento de avaliação 5 – $L'_{nT,w}$ no interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos (recepção), proveniente de uma percussão normalizada exercida sobre pavimentos de outros fogos (emissão) – foi calculado no quarto Q4 do T4E (situação mais desfavorável, com menor volume). A figura Figura 5.20 ilustra em planta as situações mais desfavoráveis supracitadas.

Figura 5.20 – situações mais desfavoráveis a serem calculadas



O elemento de avaliação 7 existe, porém não foi quantificado em projeto, pelo que lhe foi atribuída a pontuação que corresponde à obtenção da pontuação mínima de cada uma das classificações (Tipo C, Tipo B e Tipo A), ou seja: 1 Pts, 1,5 Pts e 2,5 Pts, respetivamente. Os elementos de avaliação 4 e 6 não se aplicam, dada a inexistência de frações comerciais no edifício.

5.4.3.1 *Estrutura pesada*

As soluções construtivas em estrutura pesada foram divididas em três grupos: Grupo 1, Grupo 2 e Grupo 3. O Grupo 1 reúne as soluções construtivas com desempenho acústico satisfatório, e visa obter a classificação acústica do Tipo C, que cumpre os requisitos legais portugueses. São elas:

- a) pavimento em laje maciça em betão armado com 17 cm de espessura;
- b) pavimento flutuante constituído por lajeta de betão armado com 40 mm de espessura, assente sobre placas de aglomerado composto de cortiça de 6 mm de espessura;
- c) fachada em parede dupla de alvenaria com pano exterior em tijolo de 11 cm e pano interior em tijolo de 15 cm, espaçados por caixa de ar de 3 cm, e rebocada nas duas faces exteriores;
- d) envidraçado composto por vidro duplo com panos interior e exterior em vidro simples de 4 mm, separados por caixa de ar de 6 mm;
- e) parede divisória entre fogos composta por parede dupla de alvenaria com panos interior e exterior em tijolo de 11 cm, espaçados por caixa de ar de 3 cm, rebocada nas duas faces exteriores;
- f) parede divisória entre compartimentos do mesmo fogo composta por parede simples de alvenaria em tijolo de 9 cm, rebocada em ambas as faces.

A Tabela 5.9 apresenta os valores dos elementos de avaliação, aplicáveis ao estudo de caso, para o nível físico Habitação, e a Tabela 5.10 resume a aplicação da metodologia LNEC para os três níveis físicos, considerando que o edifício seja projetado para o Grupo 1 de soluções construtivas em estrutura pesada.

Tabela 5.9 – nível físico Habitação para o Grupo 1 de soluções construtivas

		Resposta	Pts	Classificação
1	$D_{2m,nT,w}$	35 dB	1,7	1,6 (Tipo B)
2	$D_{nT,w}$	54 dB	2,2	
3	$D_{nT,w}$	53 dB	2,2	
4	$D_{nT,w}$	N/A	-	
5	$L'_{nT,w}$	59 dB	1,3	
6	$L'_{nT,w}$	N/A	-	
7	$L_{Ar,nT}$	-	1,0	
8	$D_{nT,w}$	40 dB	1,4	

Tabela 5.10 – NAA Global para o Grupo 1 de soluções construtivas

	Requisito	Resposta	Pontuação	Classificação
Vizinhança	1 a)	V	2	1,3 (Tipo C)
	1 b)	F	0	
	1 c)	V	3	
	2	-	1	
Edifício	1 a)	F	1	1,1 (Tipo C)
	1 b)	F	0	
	1 c)	F	0	
	1 d)	F	1	
	1 e)	F	0	
	2 a)	V	2	
	2 b)	F	0	
	2 c)	F	1	
Habitação	2 d)	V	5	1,6 (Tipo B)
	1	35	1,7	
	2	52	2,2	
	3	53	2,4	
	4	-	-	
	5	59	1,3	
	6	-	-	
	7	-	1,0	
8	40	1,4		
Global				1,5 (Tipo B)

No Grupo 2, foram reunidas as soluções construtivas com desempenho acústico intermediário, visando alcançar a classificação acústica do Tipo B, a qual é considerada pelo método como a classe com qualidade de conforto acústico recomendável. Foi então estudado o comportamento acústico da habitação com:

- a) pavimento em laje maciça em betão armado, com 17 cm de espessura;
- b) pavimento flutuante composto por lajeta de betão armado com 40 mm de espessura, assente sobre manta de granulado de borracha, aglomerado com resina, com 8 mm de espessura;
- c) fachada em parede dupla de alvenaria com pano exterior em tijolo de 11 cm e pano interior em pano de 15 cm, espaçados por caixa de ar de 3 cm, e rebocada nas duas faces exteriores;
- d) envidraçado composto por vidro duplo com pano interior em vidro simples de 8 mm e pano exterior em vidro simples de 6 mm, separados por caixa de ar de 12 mm;
- e) parede divisória entre fogos composta por parede dupla de alvenaria com panos interior e exterior em tijolo de 15 cm, espaçados por caixa de ar de 3 cm, rebocada nas duas faces exteriores;
- f) parede divisória entre compartimentos do mesmo fogo composta por parede simples de alvenaria em tijolo de 11 cm, rebocada em ambas as faces.

A Tabela 5.11 apresenta os valores dos elementos de avaliação, aplicáveis ao estudo de caso, para o nível físico Habitação.

Tabela 5.11 – nível físico Habitação para o Grupo 2 de soluções construtivas

		Resposta	Pts	Classificação
1	$D_{2m,nT,w}$	38 dB	2,4	2,2 (Tipo B)
2	$D_{nT,w}$	54 dB	2,2	
3	$D_{nT,w}$	53 dB	2,4	
4	$D_{nT,w}$	-		
5	$L'_{nT,w}$	55 dB	2,4	
6	$L'_{nT,w}$	-		
7	$L_{Ar,nT}$	-	1,5	
8	$D_{nT,w}$	43 dB	2,0	

A Tabela 5.12 resume a aplicação da metodologia LNEC para os três níveis físicos, considerando que o edifício seja projetado para o Grupo 2 de soluções construtivas em estrutura pesada.

Tabela 5.12 – NAA Global para o Grupo 2 de soluções construtivas

	Requisito	Resposta	Pontuação	Classificação
Vizinhança	1 a)	V	2	1,3 (Tipo C)
	1 b)	F	0	
	1 c)	V	3	
Edifício	2	-	1	1,1 (Tipo C)
	1 a)	F	1	
	1 b)	F	0	
	1 c)	F	0	
	1 d)	F	1	
	1 e)	F	0	
	2 a)	V	2	
	2 b)	F	0	
	2 c)	F	1	
	2 d)	V	5	
Habitação	1	38	2,4	2,2 (Tipo B)
	2	54	2,2	
	3	53	2,4	
	4	-	-	
	5	55	2,4	
	6	-	-	
	7	-	1,5	
	8	42	1,8	
Global				1,8 (Tipo B)

No Grupo 3 foram estudadas as seguintes soluções construtivas, com desempenho acústico considerado superior, e que visam atingir uma classificação do Tipo A, com qualidade acústica distinta:

- a) pavimento em laje maciça em betão armado, com 17 cm de espessura;
- b) pavimento flutuante constituído por lajeta de betão armado com 40 mm de espessura, assente sobre camada de poliestireno expandido moldado com 8 mm de espessura;
- c) fachada em parede dupla de alvenaria com pano exterior em tijolo de 11 cm e pano interior em pano de 15 cm, espaçados por caixa de ar de 3 cm, e rebocada nas duas faces exteriores;

- d) envidraçado composto por vidro duplo com pano interior em vidro acústico laminado de 8 mm e pano exterior em vidro simples de 8 mm, separados por caixa de ar de 12 mm;
- e) parede divisória entre fogos composta por parede simples de alvenaria em tijolo de 11 cm, reforçada em ambas as faces com placas de gesso cartonado de 12,5 mm de espessura, conectadas à parede por meio de apoios antivibráteis de 48 mm de espessura, com cavidade preenchida por lã de rocha de 40 kg/m³;
- f) parede divisória entre compartimentos do mesmo fogo composta por parede simples de alvenaria em tijolo de 15 cm, rebocada em ambas as faces.

A Tabela 5.13 apresenta os valores dos elementos de avaliação, aplicáveis ao estudo de caso, para o nível físico Habitação.

Tabela 5.13 – nível físico Habitação para o Grupo 3 de soluções construtivas

		Resposta	Pts	Classificação
1	$D_{2m,nT,w}$	40 dB	2,8	2,9 (Tipo A)
2	$D_{nT,w}$	59 dB	3,0	
3	$D_{nT,w}$	59 dB	3,0	
4	$D_{nT,w}$	-		
5	$L'_{nT,w}$	51 dB	3,0	
6	$L'_{nT,w}$	-		
7	$L_{Ar,nT}$	-	2,5	
8	$D_{nT,w}$	46 dB	2,6	

A Tabela 5.14 resume a aplicação da metodologia LNEC para os três níveis físicos, considerando o projeto do edifício com o Grupo 3 de soluções construtivas em estrutura pesada.

Tabela 5.14 – NAA Global para o Grupo 3 de soluções construtivas

	Requisito	Resposta	Pontuação	Classificação
Vizinhança	1 a)	V	2	1,3 (Tipo C)
	1 b)	F	0	
	1 c)	V	3	
	2	-	1*	
	1 a)	F	1	
Edifício	1 b)	F	0	1,1 (Tipo C)
	1 c)	F	0	
	1 d)	F	1	
	1 e)	F	0	
	2 a)	V	2	
	2 b)	F	0	
	2 c)	F	1	
	2 d)	V	5	
	1	41	3,0	
	2	58	3,0	
Habitação	3	56	3,0	2,9 (Tipo A)
	4	-	-	
	5	51	3,0	
	6	-	-	
	7	-	2,5	
	8	45	2,4	
	Global			

5.4.3.2 Estrutura mista

As soluções construtivas em estrutura mista foram divididas em três grupos: Grupo 4, Grupo 5 e Grupo 6. O Grupo 4 tem como base as soluções construtivas do Grupo 1 para os elementos do pavimento e fachada, e acrescenta soluções construtivas leves para as paredes divisórias interiores, com desempenhos acústicos considerados satisfatórios, visando a classificação acústica do Tipo C. As soluções estudadas no Grupo 4 são:

- a) pavimento em laje maciça em betão armado, com 17 cm de espessura;

- b) pavimento flutuante constituído por lajeta de betão armado com 40 mm de espessura, assente sobre placas de aglomerado composto de cortiça de 6 mm de espessura;
- c) fachada em parede dupla de alvenaria com pano exterior em tijolo de 11 cm e pano interior em pano de 15 cm, espaçados por caixa de ar de 3 cm, e rebocada nas duas faces exteriores;
- d) envidraçado composto por vidro duplo com panos interior e exterior em vidro simples de 4 mm, separados por caixa de ar de 6 mm;
- e) parede divisória entre fogos constituída por estrutura metálica dupla com perfis de 48 mm com ligação entre si, camadas duplas de gesso cartonado de 12,5 mm nas faces exteriores, e caixa de ar parcialmente preenchida com lã mineral;
- f) parede divisória entre compartimentos do mesmo fogo constituída por estrutura metálica simples com perfis de 48 mm, camada simples de gesso cartonado de 12,5 mm em ambas as faces, e caixa de ar preenchida com lã mineral.

A Tabela 5.15 apresenta os valores dos elementos de avaliação, aplicáveis ao estudo de caso, para o nível físico Habitação.

Tabela 5.15 – nível físico Habitação para o Grupo 4 de soluções construtivas

		Resposta	Pts	Classificação
1	$D_{2m,nT,w}$	35 dB	1,7	
2	$D_{nT,w}$	59 dB	3,0	
3	$D_{nT,w}$	59 dB	3,0	
4	$D_{nT,w}$	-	-	2,0
5	$L'_{nT,w}$	57 dB	2,0	(Tipo B)
6	$L'_{nT,w}$	-	-	
7	$L_{Ar,nT}$	-	1,0	
8	$D_{nT,w}$	39 dB	1,2	

A Tabela 5.16 resume a aplicação da metodologia LNEC aos três níveis físicos, considerando o projeto em estrutura mista, composta pelas soluções construtivas do Grupo 4.

Tabela 5.16 – NAA Global para o Grupo 4 de soluções construtivas

	Requisito	Resposta	Pontuação	Classificação
Vizinhança	1 a)	V	2	1,3 (Tipo C)
	1 b)	F	0	
	1 c)	V	3	
	2	-	1*	
	1 a)	F	1	
Edifício	1 b)	F	0	1,1 (Tipo C)
	1 c)	F	0	
	1 d)	F	1	
	1 e)	F	0	
	2 a)	V	2	
	2 b)	F	0	
	2 c)	F	1	
	2 d)	V	5	
	1	35	1,7	
	2	59	3,0	
Habitação	3	59	3,0	2,0 (Tipo B)
	4	-	-	
	5	57	2,0	
	6	-	-	
	7	-	1,0	
	8	39	1,2	
	Global			

No Grupo 5, foram mantidas as soluções construtivas do Grupo 2 (em estrutura pesada) para pavimento e elementos de fachada, e substituídas as soluções pesadas das divisórias interiores por paredes leves, com desempenhos acústicos intermediários, a fim de atingir a classificação acústica Tipo B. As soluções estudadas no Grupo 5 são:

- a) pavimento em laje maciça em betão armado, com 17 cm de espessura;
- b) pavimento flutuante composto por lajeta de betão armado com 40 mm de espessura, assente sobre manta de granulado de borracha, aglomerado com resina, com 8 mm de espessura;
- c) fachada em parede dupla de alvenaria com pano exterior em tijolo de 11 cm e pano interior em pano de 15 cm, espaçados por caixa de ar de 3 cm, e rebocada nas duas faces exteriores;

- d) envidraçado composto por vidro duplo com pano interior em vidro simples de 8 mm e pano exterior em vidro simples de 6 mm, separados por caixa de ar de 12 mm;
- e) parede divisória entre fogos constituída por estrutura metálica dupla com perfis de 48 mm, camadas duplas de gesso cartonado de 12,5 mm nas faces exteriores, placa intermediária de gesso cartonado de 12,5 mm entre os perfis, e caixa de ar preenchida com lã mineral;
- f) parede divisória entre compartimentos do mesmo fogo constituída por estrutura metálica simples com perfis de 48 mm, camada dupla de gesso cartonado de 12,5 mm em ambas as faces, e caixa de ar preenchida com lã mineral.

A Tabela 5.17 apresenta os valores dos elementos de avaliação, aplicáveis ao estudo de caso, para o nível físico Habitação.

Tabela 5.17 – nível físico Habitação para o Grupo 5 de soluções construtivas

	Resposta	Pts	Classificação
1	$D_{2m,nT,w}$ 39 dB	2,6	2,5 (Tipo A)
2	$D_{nT,w}$ 60 dB	3,0	
3	$D_{nT,w}$ 59 dB	3,0	
4	$D_{nT,w}$ -		
5	$L'_{nT,w}$ 54 dB	2,6	
6	$L'_{nT,w}$ -		
7	$L_{Ar,nT}$ -	1,5	
8	$D_{nT,w}$ 45 dB	2,4	

A Tabela 5.18 resume a aplicação da metodologia LNEC aos três níveis físicos, considerando o projeto em estrutura mista, composta pelas soluções construtivas do Grupo 5.

Tabela 5.18 – NAA Global para o Grupo 5 de soluções construtivas

	Requisito	Resposta	Pontuação	Classificação
Vizinhança	1 a)	V	2	1,3 (Tipo C)
	1 b)	F	0	
	1 c)	V	3	
Edifício	2	-	1*	1,1 (Tipo C)
	1 a)	F	1	
	1 b)	F	0	
	1 c)	F	0	
	1 d)	F	1	
	1 e)	F	0	
	2 a)	V	2	
	2 b)	F	0	
	2 c)	F	1	
	2 d)	V	5	
Habitação	1	39	2,6	2,5 (Tipo A)
	2	60	3,0	
	3	59	3,0	
	4	-	-	
	5	54	2,6	
	6	-	-	
	7	-	1,5	
	8	45	2,4	
Global				2,1 (Tipo B)

Conseqüentemente, o Grupo 6 mantém as soluções construtivas em estrutura pesada do Grupo 3, substituindo as divisórias interiores por soluções construtivas leves com desempenho acústico superior, visando a classificação acústica do Tipo A. As soluções do Grupo 6 são então:

- a) pavimento em laje maciça em betão armado, com 17 cm de espessura;
- b) pavimento flutuante constituído por lajeta de betão armado com 40 mm de espessura, assente sobre camada de poliestireno expandido moldado com 8 mm de espessura;
- c) fachada em parede dupla de alvenaria com pano exterior em tijolo de 11 cm e pano interior em pano de 15 cm, espaçados por caixa de ar de 3 cm, e rebocada nas duas faces exteriores;

- d) envidraçado composto por vidro duplo com pano interior em vidro acústico laminado de 8 mm e pano exterior em vidro simples de 8 mm, separados por caixa de ar de 12 mm;
- e) parede divisória entre fogos constituída por estrutura metálica dupla e independente com perfis de 70 mm, camadas duplas de gesso cartonado de 12,5 mm nas faces exteriores, e caixa de ar parcialmente preenchida com lã mineral;
- f) parede divisória entre compartimentos do mesmo fogo constituída por estrutura metálica simples com perfis de 70 mm, camada dupla de gesso cartonado de 12,5 mm em ambas as faces, e caixa de ar parcialmente preenchida com lã mineral.

A Tabela 5.19 apresenta os valores dos elementos de avaliação, aplicáveis ao estudo de caso, para o nível físico Habitação.

Tabela 5.19 – nível físico Habitação para o Grupo 6 de soluções construtivas

		Resposta	Pts	Classificação
1	$D_{2m,nT,w}$	41 dB	3,0	2,9 (Tipo A)
2	$D_{nT,w}$	60 dB	3,0	
3	$D_{nT,w}$	59 dB	3,0	
4	$D_{nT,w}$	-		
5	$L'_{nT,w}$	49 dB	3,0	
6	$L'_{nT,w}$	-		
7	$L_{Ar,nT}$	-	2,5	
8	$D_{nT,w}$	48 dB	3,0	

A Tabela 5.20 resume a aplicação da metodologia LNEC aos três níveis físicos, considerando o projeto em estrutura mista, composta pelas soluções construtivas do Grupo 6.

Tabela 5.20 – NAA Global para o Grupo 6 de soluções construtivas

	Requisito	Resposta	Pontuação	Classificação
Vizinhança	1 a)	V	2	1,3 (Tipo C)
	1 b)	F	0	
	1 c)	V	3	
	2	-	1*	
Edifício	1 a)	F	1	1,1 (Tipo C)
	1 b)	F	0	
	1 c)	F	0	
	1 d)	F	1	
	1 e)	F	0	
	2 a)	V	2	
	2 b)	F	0	
	2 c)	F	1	
	2 d)	V	5	
	Habitação	1	41	
2		60	3,0	
3		59	3,0	
4		-	-	
5		49	3,0	
6		-	-	
7		-	2,5	
8		48	3,0	
Global				2,3 (Tipo B)

6 CONCLUSÕES

6.1 Considerações finais

Nesta dissertação foi realizado um estudo comparativo entre os desempenhos acústicos de um edifício em estrutura convencional pesada e o mesmo edifício em estrutura mista, constituído por elementos de fachada e de pavimento em estrutura tradicional pesada (betão armado e alvenaria) e paredes divisórias internas em estrutura de aço leve. O estudo teve como objetivo analisar a viabilidade da obtenção das classificações acústicas do Tipo A (qualidade acústica muito boa), Tipo B (qualidade acústica recomendável) e Tipo C (qualidade suficiente para cumprir os requisitos mínimos), propostas pela metodologia desenvolvida pelo LNEC, de acordo com a legislação vigente em Portugal.

As simulações de desempenho acústico foram realizadas com uso do *software* de cálculo ACOUBAT que permite prever o desempenho acústico de um edifício com base no desempenho de seus componentes e de uma geometria específica. O desempenho dos componentes foi obtido através de ensaio publicados por entidades acreditadas e, na ausência destes, modelados no *software* INSUL.

Os resultados demonstraram que é possível atingir desempenhos acústicos satisfatórios nas edificações com estrutura mista, quando comparados ao desempenho de edificações puramente constituídas por elementos de construção pesados. Nos casos analisados para o isolamento acústico entre fogos, foi possível obter índices de isolamento sonoro ligeiramente superiores nas soluções mistas com paredes divisórias em estrutura leve em todas as simulações realizadas (Grupos 4, 5 e 6), quando comparados com os índices de isolamento sonoro obtido para as paredes divisórias estruturas pesadas (Grupos 1, 2 e 3), com massas cerca de 3 a 4 vezes inferiores à dos elementos pesados com desempenho acústico semelhante.

Na análise do desempenho acústico entre compartimentos do mesmo fogo, os resultados apresentados também foram ligeiramente mais favoráveis. No entanto, cabe ressaltar que, em baixas frequências, o isolamento sonoro conferido por soluções leves, quando comparado ao

conferido por soluções pesadas com o mesmo valor de R_w , normalmente apresenta valores mais desfavoráveis.

Por vezes, supõe-se erroneamente que a forma mais eficaz de evitar a propagação do ruído é com o acréscimo de massa aos elementos de construção. Contudo, é possível o alcance de resultados favoráveis ao se fazer uso de materiais acusticamente mais eficientes, que não transmitam o som com a mesma facilidade de materiais como o tijolo e o betão. Como exemplo, cita-se as lãs minerais, utilizadas no preenchimento dos espaços de ar das paredes leves, e que se demonstram eficazes, devido a sua estrutura e composição e que, por tal motivo, apresentam elevada eficiência no isolamento acústico destes elementos construtivos. Este material é capaz de minimizar de forma considerável os efeitos da transmissão sonora, os quais são muito difíceis de inibir em uma construção em estrutura tradicional pesada.

6.2 Desenvolvimentos futuros

No desenvolvimento do trabalho, encontrou-se dificuldade na caracterização do comportamento acústico das estruturas leves para pavimentos e fachadas com o uso do *software* INSUL, pelo que se propõe como desenvolvimento futuro uma caracterização do comportamento acústico desses elementos leves por meio de ensaios laboratoriais, mesmo que em protótipos de escala reduzida.

Uma vez que se tenha os dados de comportamento acústico de pavimentos e paredes de fachadas em estruturas leves, é válida a análise comparativa do desempenho acústico do edifício objeto de estudo de caso com os outros dois tipos de estrutura já analisados neste trabalho (pesada e mista).

A realização de ensaios laboratoriais com as diferentes estruturas construtivas (pesadas, leves e mistas) teria o propósito de aprofundar a análise do comportamento acústicos dessas soluções construtivas e validar os dados das simulações realizadas nos *softwares*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bistafa, S. (2011). *Acústica aplicada ao controle do ruído* (2ª edição). São Paulo: Edgar Blucher Ltda.
- Domingues, O. (2008). *A acústica nos edifícios: pavimentos e revestimentos de pavimentos, isolamentos a sons de percussão*. (LNEC, Ed.) (1st ed.). Lisboa.
- International Organization for Standardization. (2020). Building acoustics. Retrieved from <https://www.iso.org/committee/48558/x/catalogue/>
- ISO 10140-3. Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 3: Measurement of impact sound insulation (2010).
- ISO 12354-1. Building acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements – Part 1: Airborne sound insulation between rooms (2017).
- ISO 12354-2. Building acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements – Part 2: Impact sound insulation between rooms (2017).
- ISO 12354-3. Building acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements – Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound (2017).
- ISO 16283-1. Acoustics – Field measurement of sound insulations in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation (2014).
- ISO 16283-2. (2015). Acoustics – Field measurement of sound insulations in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation.
- ISO 717-1. Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation (2013).
- ISO 717-2. Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation (2013).
- Mateus, D. (2012). Reabilitação acústica de edifícios – Avaliação de desempenho de soluções leves versus soluções pesadas. In *Congresso de Construção* (pp. 1–12). Coimbra.
- Patrício, J. (2013). *Método LNEC para avaliação e classificação da qualidade acústica de edifícios habitacionais*. (LNEC, Ed.) (1ª). Lisboa: LNEC.
- RGR. Regulamento Geral do Ruído. Decreto-Lei nº 9/2007, de 17 de janeiro (2007).
- Roque, E., Santos, P., & Pereira, A. C. (2019). Thermal and sound insulation of lightweight steel- framed façade walls. *Science and Technology for the Built Environment*, 25(2), 156–176. <https://doi.org/10.1080/23744731.2018.1506677>
- RRAE. Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios. Decreto-Lei nº 96/2008, de 9 de junho (2008).
- Way, A. G. J., & Couchman, G. H. (2008). *Acoustic Detailing For Steel Construction*. The Steel Construction Institute.

ANEXOS

A Modelagens INSUL

Sound Insulation Prediction (v8.0.3)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2014

DEC UC - Key No. 2420

Margin of error is generally within $R_w \pm 3$ dB

Job Name:

Job No.:

Date: 7 mar 20

File Name: insul.a1

Page No.:

Initials:

Notes:

Parede simples em tijolo vazado de 9 cm, rebocada em ambas as faces (1 cm de espessura do reboco).
Solução construtiva com espessura total de 11 cm.



System description

Panel 1 : 1 x 110,0 mm (tijolo vazado - parede simples) (71000 kg/m2, E:60Pa, 71,02)



R_w 41 dB
C -1 dB
 C_{tr} -3 dB
 $D_{n,Tw}$ 43 dB

Sound Insulation Prediction (v8.0.3)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2014

DEC UC - Key No. 2420

Margin of error is generally within $R_w \pm 3$ dB

Job Name:

Job No.:

Date: 7 mar 20

File Name: insul.a1

Page No.:

Initials:

Notes:

Parede simples em tijolo vazado de 11 cm, rebocada em ambas as faces (1 cm de espessura do reboco).
Solução construtiva com espessura total de 13 cm.



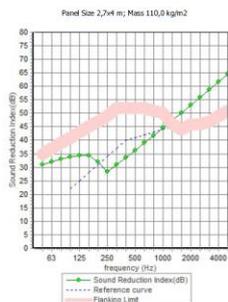
System description

Panel 1 : 1 x 130,0 mm (tijolo vazado - parede simples) (71000 kg/m2, E:60Pa, 73,02)

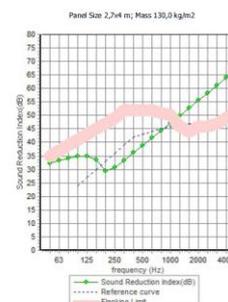


R_w 43 dB
C -1 dB
 C_{tr} -4 dB
 $D_{n,Tw}$ 45 dB

frequency (Hz)	R(dB)	R(dB)
50	31	
63	32	32
80	33	
100	34	34
125	34	
160	34	
200	32	
250	28	30
315	31	
400	34	
500	36	36
630	39	
800	42	
1000	45	44
1250	47	
1600	50	
2000	53	52
2500	56	
3150	59	
4000	62	61
5000	64	



frequency (Hz)	R(dB)	R(dB)
50	32	
63	33	33
80	34	
100	35	
125	35	34
160	34	
200	29	
250	31	31
315	33	
400	36	
500	39	38
630	42	
800	44	
1000	47	47
1250	50	
1600	53	
2000	55	55
2500	58	
3150	61	
4000	64	63
5000	67	



Sound Insulation Prediction (v8.0.3)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2014

DEC UC - Key No. 2420

Margin of error is generally within $R_w \pm 3$ dB

Job Name:

Job No.:

Date: 7 mar 20

File Name: insul

Page No.:

Initials:

Notes:

Parede simples em tijolo vazado de 15 cm, rebocada em ambas as faces (1 cm de espessura do reboco).
Solução construtiva com espessura total de 17 cm.



System description

Panel 1 : 1 x 170,0 mm (tijolo vazado - parede simples) (71000 kg/m2, E:60Pa, 77,02)



R_w 47 dB
C -1 dB
 C_{tr} -5 dB
 $D_{n,Tw}$ 49 dB

frequency (Hz)	R(dB)	R(dB)
50	34	
63	35	35
80	36	
100	36	
125	34	33
160	30	
200	32	
250	35	34
315	38	
400	40	
500	43	42
630	46	
800	48	
1000	51	51
1250	54	
1600	57	
2000	59	59
2500	62	
3150	65	
4000	68	67
5000	71	

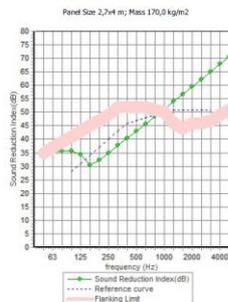


Figura A.1 – modelagens INSUL para paredes simples em alvenaria de tijolo

Sound Insulation Prediction (v8.0.3)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2014

DEC UC - Key No. 2420

Margin of error is generally within $R_w \pm 3$ dB

Job Name:

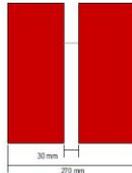
Job No.:

Date: 7 mar 20

File Name: insul.k1

Page No.:

Initials:



Notes:

Parede dupla com panos exterior e interior em tijolo vazado de 11 cm, separados por caixa de ar de 3 cm, e rebocada nas duas faces exteriores (1 cm de espessura do reboco). Solução construtiva com espessura total de 27 cm.

R_w	52 dB
C	-2 dB
C_{tr}	-6 dB
D_{stn}	54 dB

System description

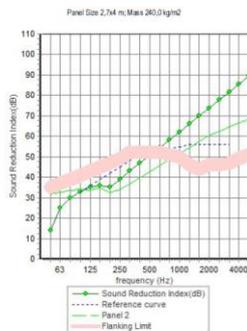
Panel 1 : 1 x 120,0 mm tijolo vazado - paredes duplas (71000 kg/m3,E:6GPa,70,06)

Cavity: Point connections: Stud spacing 400 mm

Panel 2 : 1 x 120,0 mm tijolo vazado - paredes duplas (71000 kg/m3,E:6GPa,70,06)

Mass-air-mass resonant frequency <math>\pm 3

frequency (Hz)	R(dB)	R(dB)
50	14	
63	25	18
80	30	
100	33	
125	35	34
160	36	
200	35	
250	39	38
315	43	
400	47	50
500	51	
630	54	
800	58	
1000	62	61
1250	66	
1600	70	
2000	74	73
2500	78	
3150	82	
4000	86	84
5000	90	



Sound Insulation Prediction (v8.0.3)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2014

DEC UC - Key No. 2420

Margin of error is generally within $R_w \pm 3$ dB

Job Name:

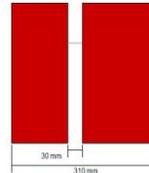
Job No.:

Date: 7 mar 20

File Name: insul.k1

Page No.:

Initials:



Notes:

Parede dupla com pano exterior em tijolo de 11 cm e pano interior em tijolo vazado de 15 cm, separados por caixa de ar de 3 cm, e rebocada nas duas faces exteriores (1 cm de espessura do reboco). Solução construtiva com espessura total de 31 cm.

R_w	53 dB
C	-1 dB
C_{tr}	-6 dB
D_{stn}	55 dB

System description

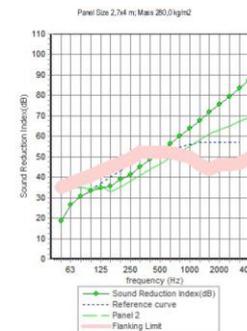
Panel 1 : 1 x 120,0 mm tijolo vazado - paredes duplas (71000 kg/m3,E:6GPa,70,06)

Cavity: Point connections: Stud spacing 400 mm

Panel 2 : 1 x 150,0 mm tijolo vazado - paredes duplas (71000 kg/m3,E:6GPa,70,06)

Mass-air-mass resonant frequency <math>\pm 3

frequency (Hz)	R(dB)	R(dB)
50	18	
63	27	22
80	31	
100	33	
125	35	34
160	36	
200	39	
250	41	41
315	45	
400	49	51
500	52	
630	56	
800	60	
1000	64	63
1250	68	
1600	72	
2000	76	74
2500	79	
3150	83	
4000	87	86
5000	91	



Sound Insulation Prediction (v8.0.3)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2014

DEC UC - Key No. 2420

Margin of error is generally within $R_w \pm 3$ dB

Job Name:

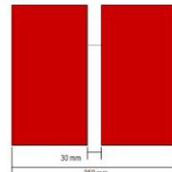
Job No.:

Date: 7 mar 20

File Name: insul.k1

Page No.:

Initials:



Notes:

Parede dupla com panos exterior e interior em tijolo vazado de 15 cm, separados por caixa de ar de 3 cm, e rebocada nas duas faces exteriores (1 cm de espessura do reboco). Solução construtiva com espessura total de 35 cm.

R_w	54 dB
C	-2 dB
C_{tr}	-8 dB
D_{stn}	56 dB

System description

Panel 1 : 1 x 150,0 mm tijolo vazado - paredes duplas (71000 kg/m3,E:6GPa,70,06)

Cavity: Point connections: Stud spacing 400 mm

Panel 2 : 1 x 150,0 mm tijolo vazado - paredes duplas (71000 kg/m3,E:6GPa,70,06)

Mass-air-mass resonant frequency <math>\pm 3

frequency (Hz)	R(dB)	R(dB)
50	22	
63	28	25
80	31	
100	33	
125	34	34
160	34	
200	39	
250	42	41
315	46	
400	50	53
500	54	
630	57	
800	61	
1000	65	64
1250	69	
1600	73	
2000	77	76
2500	81	
3150	84	
4000	88	87
5000	92	

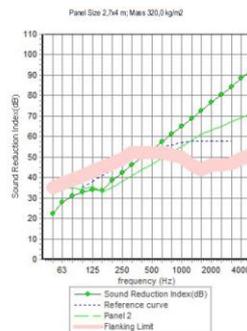


Figura A.2 – modelagens INSUL para paredes duplas em alvenaria de tijolo

Sound Insulation Prediction (v8.0.3)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2014

DEC UC - Key No. 2420

Margin of error is generally within $R_w \pm 3$ dB

Job Name:

Job No.:

Date: 7 mar 20

File Name: insul

Page No.:

Initials:



System description

• 1 x 40 mm vidro comum (7.2500 kg/m², E:72GPa, 7.0, 01)

• 1 x 40 mm vidro comum (7.2500 kg/m², E:72GPa, 7.0, 01)

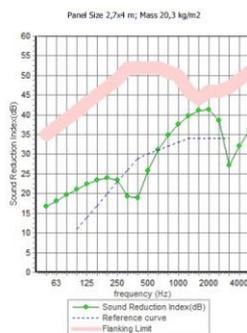
Notes:

Vidro duplo composto por panos interior e exterior em vidro comum de 4 mm de espessura, espaçados por caixa de ar de 6 mm. Componente envidraçada com espessura total de 14 mm.

R_w	30 dB
C	-1 dB
C_{tr}	-3 dB
$D_{nT,w}$	32 dB

Mass-air-mass resonant frequency = 342 Hz

frequency (Hz)	R(dB)	R(dB)
50	17	
63	18	18
80	20	
100	21	
125	22	22
160	23	
200	24	
250	23	22
315	19	
400	19	
500	26	23
630	31	
800	35	
1000	38	37
1250	40	
1600	41	
2000	41	40
2500	39	
3150	27	30
4000	32	
5000	36	



Sound Insulation Prediction (v8.0.3)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2014

DEC UC - Key No. 2420

Margin of error is generally within $R_w \pm 3$ dB

Job Name:

Job No.:

Date: 7 mar 20

File Name: insul

Page No.:

Initials:



System description

• 1 x 80 mm vidro comum (7.2500 kg/m², E:72GPa, 7.0, 01)

• 1 x 80 mm vidro comum (7.2500 kg/m², E:72GPa, 7.0, 01)

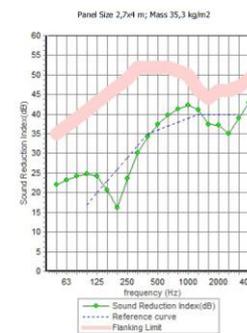
Notes:

Vidro duplo composto por pano interior em vidro comum de 8 mm de espessura e pano exterior em vidro comum de 6 mm de espessura, espaçados por caixa de ar de 12 mm. Componente envidraçada com espessura total de 26 mm.

R_w	36 dB
C	-3 dB
C_{tr}	-7 dB
$D_{nT,w}$	38 dB

Mass-air-mass resonant frequency = 184 Hz

frequency (Hz)	R(dB)	R(dB)
50	22	
63	23	23
80	24	
100	25	
125	24	23
160	21	
200	16	
250	24	20
315	30	
400	34	
500	37	37
630	40	
800	41	
1000	42	42
1250	41	
1600	37	
2000	37	36
2500	35	
3150	39	
4000	43	42
5000	47	



Sound Insulation Prediction (v8.0.3)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2014

DEC UC - Key No. 2420

Margin of error is generally within $R_w \pm 3$ dB

Job Name:

Job No.:

Date: 7 mar 20

File Name: insul

Page No.:

Initials:



System description

• 1 x 80 mm vidro comum (7.2500 kg/m², E:72GPa, 7.0, 01)

• 1 x 8.8 mm Laminated Glass (SGG Stadp Silence 0.76 mm) (7.2400 kg/m², E:46GPa, 7.0, 04)

Notes:

Vidro duplo composto por pano interior em vidro acústico laminado de 8 mm de espessura e pano exterior em vidro comum de 8 mm de espessura, espaçados por caixa de ar de 12 mm. Componente envidraçada com espessura total de 29 mm.

R_w	39 dB
C	-2 dB
C_{tr}	-5 dB
$D_{nT,w}$	41 dB

Mass-air-mass resonant frequency = 170 Hz

frequency (Hz)	R(dB)	R(dB)
50	23	
63	24	24
80	25	
100	26	
125	25	25
160	23	
200	22	
250	27	26
315	32	
400	35	
500	38	38
630	40	
800	42	
1000	43	42
1250	42	
1600	40	
2000	49	43
2500	44	
3150	48	
4000	52	51
5000	56	

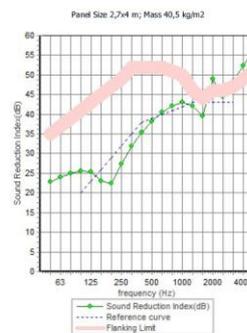


Figura A.3 – modelagens INSUL para vidros duplos

B Fichas Técnicas Ensaios Acústicos

Gypotec
IBÉRICA

DIVISÓRIA 73 BA13A
GDIV 73/600 [13A+48+13A] MW45

Ficha Técnica
Ensaio

GDIV-0102A-BA13

Solução para paredes divisórias interiores, constituída por estrutura com perfis metálicos horizontais RAAJ 48 e vertical MONTANTE 48, afastados a cada 600 mm, na qual são fixadas 1 camada de placas Gypotec BA13A (STANDARD) em ambas as faces. Lã Mineral no espaço de ar. Massas, bandas para juntas e acessórios de fixação. Superfícies prontas para acabamento final de pintura ou decoração.

Espessura	73 mm	Isolamento Acústico	Resistência ao Fogo
Altura máxima	2,60 metros	R_w 40 dB	EI 30
Peso por m ²	20,4 kg/m ²	Class. de ensaio, método de ensaio: A0106/112	Validação por ensaio: APPLUS 5034992 - Inf. Ext. 11/2686-1235

Ensaio de Resistência ao Fogo AFITI LICOF 2214T11-2

Classificação de desempenho de resistência ao fogo em paredes divisórias em conformidade com a Norma Europeia EN 13651-2.
(E) Estanqueidade a chamas e gases inflamáveis.
(I) Isolamento térmico.
(R) Tempo de duração.
Método de ensaio de Resistência ao Fogo segundo a Norma Europeia EN 1364-1.

Ensaio Acústico ACU156/12

A soma de isolamento sonoro normalizado é determinada de acordo com a norma NP EN 20140-3 e o respectivo índice de isolamento é determinado de acordo com a norma ISO 717-1.

Freq. (Hz)	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
dB	36,0	33,0	31,0	29,0	27,0	25,0	23,0	21,0	19,0	17,0	15,0	13,0	11,0	9,0	7,0	5,0

Índice de isolamento sonoro a soma de condução aérea: $R_w(C,C_{125}) = 40 (-1;-10;-15) \text{ dB}$

O índice global de redução acústica ponderado A, determina-se em base na metodologia de cálculo adotada pelo Documento Básico HR.
Proteção frente ao ruído, editado em Setembro de 2009, que integra o Código Técnico de la Edificación (CTE).
Índice global de redução acústica: RA = 36,7 dBA

Gypotec Ibérica – Gessos Técnicos, SA
Parque Industrial, Lote 3 - S. Pedro 3090-380 Figueira da Foz, PORTUGAL
Tel (+351) 231 430 100 Fax (+351) 231 430 126 email gtest@gypotec.eu www.gypotec.eu



Gypotec
IBÉRICA

DIVISÓRIA 98 BA13A
GDIV 98/600 [2x13A+48+2x13A] MW45

Ficha Técnica
Ensaio

GDIV-0105A-BA13

Solução para paredes divisórias interiores, constituída por estrutura com perfis metálicos horizontais RAAJ 48 e vertical MONTANTE 48, afastados a cada 600 mm, na qual são fixadas 2 camadas de placas Gypotec BA13A (STANDARD) em ambas as faces. Lã Mineral no espaço de ar. Massas, bandas para juntas e acessórios de fixação. Superfícies prontas para acabamento final de pintura ou decoração.

Espessura	98 mm	Isolamento Acústico	Resistência ao Fogo
Altura máxima	3,00 metros	R_w 47 dB	EI 60
Peso por m ²	34,3 kg/m ²	Class. de ensaio, método de ensaio: A0106/112	Validação por ensaio: APPLUS 5034992 - Inf. Ext. 11/2686-1235

Ensaio de Resistência ao Fogo APPLUS 5034992 - Inf. Ext. 11/2686-1235

Classificação de desempenho de resistência ao fogo em paredes divisórias em conformidade com a Norma Europeia EN 13651-2.
(E) Estanqueidade a chamas e gases inflamáveis.
(I) Isolamento térmico.
(R) Tempo de duração.
Método de ensaio de Resistência ao Fogo segundo a Norma Europeia EN 1364-1.

Ensaio Acústico ACU157/12

A soma de isolamento sonoro normalizado é determinada de acordo com a norma NP EN 20140-3 e o respectivo índice de isolamento é determinado de acordo com a norma ISO 717-1.

Freq. (Hz)	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
dB	38,0	35,0	33,0	31,0	29,0	27,0	25,0	23,0	21,0	19,0	17,0	15,0	13,0	11,0	9,0	7,0

Índice de isolamento sonoro a soma de condução aérea: $R_w(C,C_{125}) = 47 (-1;-11;-15) \text{ dB}$

O índice global de redução acústica ponderado A, determina-se em base na metodologia de cálculo adotada pelo Documento Básico HR.
Proteção frente ao ruído, editado em Setembro de 2009, que integra o Código Técnico de la Edificación (CTE).
Índice global de redução acústica: RA = 43,4 dBA

Gypotec Ibérica – Gessos Técnicos, SA
Parque Industrial, Lote 3 - S. Pedro 3090-380 Figueira da Foz, PORTUGAL
Tel (+351) 231 430 100 Fax (+351) 231 430 126 email gtest@gypotec.eu www.gypotec.eu



Gypotec
IBÉRICA

DIVISÓRIA 120 BA13A
GDIV 120/600 [2x13A+70+2x13A] MW60

Ficha Técnica
Ensaio

GDIV-0113A-BA13

Solução para paredes divisórias interiores, constituída por estrutura com perfis metálicos horizontais RAAJ 70 e vertical MONTANTE 70, afastados a cada 600 mm, na qual são fixadas 2 camadas de placas Gypotec BA13A (STANDARD) em ambas as faces. Lã Mineral no espaço de ar. Massas, bandas para juntas e acessórios de fixação. Superfícies prontas para acabamento final de pintura ou decoração.

Espessura	120 mm	Isolamento Acústico	Resistência ao Fogo
Altura máxima	3,85 metros	R_w 51 dB	EI 60
Peso por m ²	35,1 kg/m ²	Class. de ensaio, método de ensaio: A0236/18	Validação por ensaio: APPLUS 5034992 - Inf. Ext. 11/2686-1235

Ensaio de Resistência ao Fogo APPLUS 5034992 - Inf. Ext. 11/2686-1235

Classificação de desempenho de resistência ao fogo em paredes divisórias em conformidade com a Norma Europeia EN 13651-2.
(E) Estanqueidade a chamas e gases inflamáveis.
(I) Isolamento térmico.
(R) Tempo de duração.
Método de ensaio de Resistência ao Fogo segundo a Norma Europeia EN 1364-1.

Ensaio Acústico ACU228/10

A soma de isolamento sonoro normalizado é determinada de acordo com a norma NP EN 20140-3 e o respectivo índice de isolamento é determinado de acordo com a norma ISO 717-1.

Freq. (Hz)	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
dB	38,0	35,0	33,0	31,0	29,0	27,0	25,0	23,0	21,0	19,0	17,0	15,0	13,0	11,0	9,0	7,0

Índice de isolamento sonoro a soma de condução aérea: $R_w(C,C_{125}) = 51 (-1;-10;-15) \text{ dB}$

O índice global de redução acústica ponderado A, determina-se em base na metodologia de cálculo adotada pelo Documento Básico HR.
Proteção frente ao ruído, editado em Setembro de 2009, que integra o Código Técnico de la Edificación (CTE).
Índice global de redução acústica: RA = n.d. dBA

Gypotec Ibérica – Gessos Técnicos, SA
Parque Industrial, Lote 3 - S. Pedro 3090-380 Figueira da Foz, PORTUGAL
Tel (+351) 231 430 100 Fax (+351) 231 430 126 email gtest@gypotec.eu www.gypotec.eu



Figura B.1 – ensaios acústicos divisórias simples

Gyp Tec
IBÉRICA

DIVISÓRIA DUPLA 176 BA13A
GDIV 176/600 [2X13A+48+(30-C)+48+2X13A] MV2X45

Ficha Técnica
Ensaio

GDIV-0126A-BA13

Solução para paredes divisórias interiores, constituída por 2 estruturas independentes com perfis metálicos horizontais RAJA 48 e verticais MONTANTE 48, afastados a cada 600 mm, nas quais são fixadas 2 camadas de placas Gyp Tec BA13A (STANDARD) em ambas as faces exteriores. Ligação entre as estruturas, L3 Mineral no espaço de ar. Massas, bandas para juntas e acessórios de fixação. Superfícies prontas para acabamento final de pintura ou decoração.

Espessura	176 mm	Isolamento Acústico	Resistência ao Fogo
Altura máxima	5,30 metros	R_w 59 dB	EI 60
Peso por m ²	40,5 kg/m ²	Índice de redução acústica ponderada (norma)	Índice de resistência ao fogo
		AC08/12	APPLUS 5034992 - Inf. Ext. 11/2686-1235

Ensaio de Resistência ao Fogo APPLUS 5034992 - Inf. Ext. 11/2686-1235

Classificação de desempenho de resistência ao fogo em paredes divisórias em conformidade com a Norma Europeia EN 1365-2.

(E) Estanqueidade a chamas e gases inflamáveis.
(I) Isolamento térmico.
(R) Tempo de duração.
Método de ensaio de Resistência ao Fogo segundo a Norma Europeia EN 1364-1.

Ensaio Acústico ACU173/12

A curva de isolamento sonoro normalizado é determinada de acordo com a norma NP EN 20140-3 e o respectivo índice de isolamento é determinado de acordo com a norma ISO 717-1.

Freq. (Hz)	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
dB	34,3	35,4	41,3	45,3	54,3	54,5	55,7	52,3	44,7	46,8	50,8	52,8	51,3	51,4	48,3	46,3	42,8

Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea: $R_w(C,C_2, C_{w,iso}) = 59 (-2,-0,-3,4)$ dB

O índice global de redução acústica ponderado A, determina-se com base na metodologia de cálculo adoptada pelo Documento Básico HR.

Protección frente al ruido, editado em Setembro de 2005, que integra o Código Técnico de la Edificación (CTE).

Índice global de redução acústica: RA = 56,7 dBA

Gyp Tec Ibérica – Gessos Técnicos, SA
Parque Industrial, Lote 3 - S. Pedro 3090-380 Figueira da Foz, PORTUGAL
Tel (+351) 231 431 000 Fax (+351) 231 431 128 email geral@gypotec.eu www.gypotec.eu



Gyp Tec
IBÉRICA

DIVISÓRIA DUPLA 159 BA13A
GDIV 159/600 [2X13A+48+13A+48+2X13A] MV2X45

Ficha Técnica
Ensaio

GDIV-0128A-BA13

Solução para paredes divisórias interiores, constituída por 2 estruturas independentes com perfis metálicos horizontais RAJA 48 e verticais MONTANTE 48, afastados a cada 600 mm, nas quais são fixadas 2 camadas de placas Gyp Tec BA13A (STANDARD) em ambas as faces exteriores. Placa intermédia e L3 Mineral nos espaços de ar. Massas, bandas para juntas e acessórios de fixação. Superfícies prontas para acabamento final de pintura ou decoração.

Espessura	160 mm	Isolamento Acústico	Resistência ao Fogo
Altura máxima	2,50 metros	R_w 65 dB	EI 60
Peso por m ²	44,8 kg/m ²	Índice de redução acústica ponderada (norma)	Índice de resistência ao fogo
		AC08/12	APPLUS 5034992 - Inf. Ext. 11/2686-1235

Ensaio de Resistência ao Fogo APPLUS 5034992 - Inf. Ext. 11/2686-1235

Classificação de desempenho de resistência ao fogo em paredes divisórias em conformidade com a Norma Europeia EN 1365-2.

(E) Estanqueidade a chamas e gases inflamáveis.
(I) Isolamento térmico.
(R) Tempo de duração.
Método de ensaio de Resistência ao Fogo segundo a Norma Europeia EN 1364-1.

Ensaio Acústico ACU172/12

A curva de isolamento sonoro normalizado é determinada de acordo com a norma NP EN 20140-3 e o respectivo índice de isolamento é determinado de acordo com a norma ISO 717-1.

Freq. (Hz)	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
dB	38,9	42,8	42,1	45,8	54,7	58,1	62,8	62,2	68,2	75,5	73,5	73,5	75,5	75,0	69,8	68,2	62,8

Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea: $R_w(C,C_2, C_{w,iso}) = 65 (-1,-9,-3,6)$ dB

O índice global de redução acústica ponderado A, determina-se com base na metodologia de cálculo adoptada pelo Documento Básico HR.

Protección frente al ruido, editado em Setembro de 2005, que integra o Código Técnico de la Edificación (CTE).

Índice global de redução acústica: RA = 61,4 dBA

Gyp Tec Ibérica – Gessos Técnicos, SA
Parque Industrial, Lote 3 - S. Pedro 3090-380 Figueira da Foz, PORTUGAL
Tel (+351) 231 431 000 Fax (+351) 231 431 128 email geral@gypotec.eu www.gypotec.eu



Gyp Tec
IBÉRICA

DIVISÓRIA DUPLA 220 BA13A
GDIV 220/600 [2X13A+70+(30)+70+2X13A] MV2X60

Ficha Técnica
Ensaio

GDIV-0125A-BA13

Solução para paredes divisórias interiores, constituída por 2 estruturas independentes com perfis metálicos horizontais RAJA 70 e verticais MONTANTE 70, afastados a cada 600 mm, nas quais são fixadas 2 camadas de placas Gyp Tec BA13A (STANDARD) em ambas as faces exteriores. L3 Mineral no espaço de ar. Massas, bandas para juntas e acessórios de fixação. Superfícies prontas para acabamento final de pintura ou decoração.

Espessura	220 mm	Isolamento Acústico	Resistência ao Fogo
Altura máxima	3,20 metros	R_w 67 dB	EI 60
Peso por m ²	38,4 kg/m ²	Índice de redução acústica ponderada (norma)	Índice de resistência ao fogo
		AC08/12	APPLUS 5034992 - Inf. Ext. 11/2686-1235

Ensaio de Resistência ao Fogo APPLUS 5034992 - Inf. Ext. 11/2686-1235

Classificação de desempenho de resistência ao fogo em paredes divisórias em conformidade com a Norma Europeia EN 1365-2.

(E) Estanqueidade a chamas e gases inflamáveis.
(I) Isolamento térmico.
(R) Tempo de duração.
Método de ensaio de Resistência ao Fogo segundo a Norma Europeia EN 1364-1.

Ensaio Acústico ACU178/12

A curva de isolamento sonoro normalizado é determinada de acordo com a norma NP EN 20140-3 e o respectivo índice de isolamento é determinado de acordo com a norma ISO 717-1.

Freq. (Hz)	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
dB	42,7	44,3	48,8	52,2	61,3	64,4	72,2	75,4	72,8	74,2	72,3	72,3	72,3	69,8	68,2	62,8	58,8

Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea: $R_w(C,C_2, C_{w,iso}) = 67 (-1,-9,-3,6)$ dB

O índice global de redução acústica ponderado A, determina-se com base na metodologia de cálculo adoptada pelo Documento Básico HR.

Protección frente al ruido, editado em Setembro de 2005, que integra o Código Técnico de la Edificación (CTE).

Índice global de redução acústica: RA = 62,6 dBA

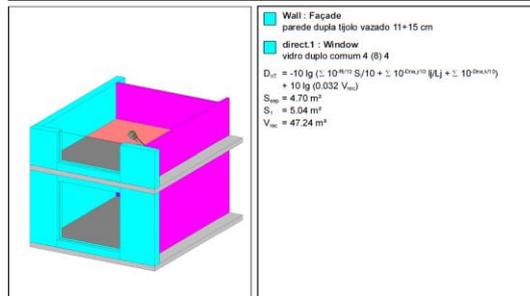
Gyp Tec Ibérica – Gessos Técnicos, SA
Parque Industrial, Lote 3 - S. Pedro 3090-380 Figueira da Foz, PORTUGAL
Tel (+351) 231 431 000 Fax (+351) 231 431 128 email geral@gypotec.eu www.gypotec.eu



Figura B.2 – ensaios acústicos divisórias duplas

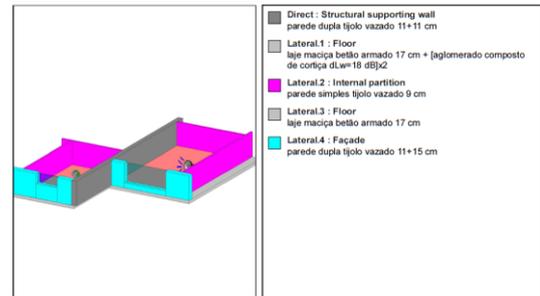
C Resultados ACOUBAT

1: D2m,nT,w || sala T2D
Insulation against external noise : Room.2
Overall



Freq.	Wall	direct.1	Overall
100	36.6	25.8	25.4
125	38.7	26.8	26.5
160	39.8	27.8	27.5
200	42.9	28.8	28.6
250	45.0	27.8	27.7
315	49.1	23.8	23.8
400	53.1	23.8	23.8
500	56.2	30.8	30.8
630	60.2	35.8	35.8
800	64.3	39.8	39.8
1000	68.3	42.8	42.8
1250	72.3	44.8	44.8
1600	76.3	45.8	45.8
2000	80.3	45.8	45.8
2500	83.2	43.8	43.8
3150	87.2	31.8	31.8
4000	91.1	36.8	36.8
5000	95.1	40.8	40.8
Hz	57.0	35.0	35.0

2a: DnT,w horizontal entre habitações do mesmo piso || Sala T4E e Q1 T2D
Insulation against horizontal airborne noise : Room.1 => Room.2
Overall

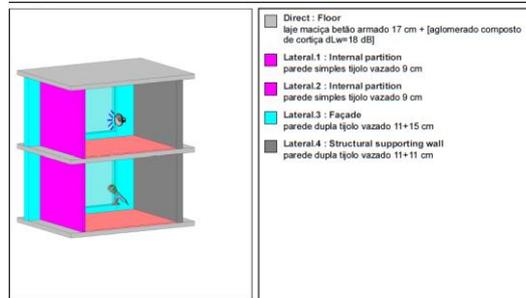


Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	37.7	45.7	37.4	47.0	38.1	32.6
125	39.7	48.5	39.3	45.9	40.4	34.5
160	40.9	54.6	40.5	48.5	41.7	35.9
200	39.9	56.5	39.5	49.6	42.3	35.4
250	44.0	60.2	41.7	53.1	45.8	38.6
315	48.0	61.6	45.6	56.7	50.1	42.5
400	52.1	64.6	49.4	59.6	54.3	46.4
500	56.1	68.2	52.8	63.0	58.2	50.1
630	59.2	72.0	56.0	65.5	61.7	53.2
800	63.2	75.6	59.7	69.0	65.9	57.1
1000	67.2	79.1	63.4	72.4	70.1	60.9
1250	71.2	82.0	66.7	75.1	74.2	64.4
1600	75.2	85.6	70.4	78.5	78.5	68.2
2000	79.1	87.7	74.1	81.8	82.6	71.9
2500	83.1	90.5	77.7	84.4	86.3	75.4
3150	87.0	93.9	81.3	87.7	90.4	79.1
4000	90.9	97.4	85.0	91.1	94.6	82.7
5000	94.8	100.0	88.1	93.5	98.6	85.9
Hz	57.0	70.0	55.0	65.0	59.0	52.0

D_{nT,w} (C;C_{tr}) = 35 (-1;-3) dB

D_{nT,w} = 52 dB

2b: DnT,w vertical entre habitações de pisos diferentes || Salas T4E
Insulation against horizontal airborne noise : Room.2 => Room.1
Overall

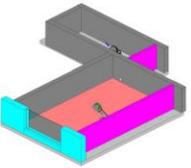


Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	40.1	50.5	48.4	44.2	43.2	36.8
125	40.1	50.5	48.4	45.8	44.7	37.4
160	46.1	52.7	50.6	48.2	47.2	41.4
200	49.1	52.6	50.5	51.3	47.4	42.8
250	52.1	51.1	49.1	53.7	51.3	44.2
315	53.1	53.9	51.8	57.4	55.0	46.9
400	55.1	56.6	54.6	61.1	58.6	49.6
500	58.1	59.0	56.9	64.3	62.4	52.4
630	61.1	61.9	59.8	68.0	65.4	55.4
800	64.1	65.0	62.9	71.9	69.3	58.5
1000	67.1	68.0	65.9	75.7	73.1	61.6
1250	69.1	70.1	68.0	79.1	76.5	63.8
1600	72.1	73.1	71.1	82.9	80.3	66.9
2000	74.1	76.0	73.9	86.4	83.8	69.6
2500	76.1	78.7	76.7	89.2	87.1	72.0
3150	79.1	81.8	79.7	92.9	90.8	75.1
4000	82.1	84.9	82.8	96.6	94.5	78.2
5000	84.1	86.9	84.8	99.9	97.7	80.2
Hz	61.0	64.0	62.0	66.0	63.0	56.0

D_{nT,w} = 56 dB

Figura C.1 – elementos de avaliação 1, 2a e 2b do Grupo 1

3: DnT,w entre circulação comum e habitação
Insulation against horizontal airborne noise : Room.2 => Room.1
Overall



Structure : Structural supporting wall
parede dupla tijolo vazado 11+11 cm

direct.1 :
Mechanical ventilator Dn,e,w + C = 53 dB

$D_{ref} = -10 \lg (\sum 10^{D_{ref}/10} S_i/10 + \sum 10^{D_{ref}/10} \{K_i\} + \sum 10^{D_{ref}/10})$

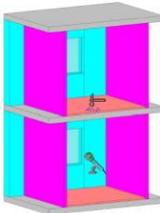
$S_{ref} = 1.77 \text{ m}^2$

$V_{ref} = 60.39 \text{ m}^3$

Freq.	Structure	direct.1	Overall
100	35.8	50.9	35.7
125	37.8	53.4	37.6
160	39.1	55.6	39.0
200	38.3	57.9	38.2
250	41.5	60.9	41.4
315	45.4	63.9	45.4
400	49.4	64.4	49.2
500	53.1	60.9	52.4
630	56.2	50.9	49.7
800	60.0	46.3	46.1
1000	63.9	56.9	56.1
1250	67.3	64.9	62.9
1600	71.1	65.9	64.7
2000	74.8	66.7	66.0
2500	78.4	67.2	66.8
3150	82.1	68.9	68.7
4000	85.7	66.9	66.8
5000	88.9	66.9	66.8
Hz	55.0	59.0	53.0

$D_{nT,w} = 53 \text{ dB}$

5: L'nT,w entre pavimentos || Q4 T4E
Vertical impact sound pressure level : Room.2 => Room.1
Overall



Direct : Floor
laje maciça betão armado 17 cm + [aglomerado composto de cortiça dLw=18 dB]

Lateral.1 : Internal partition
parede simples tijolo vazado 9 cm

Lateral.2 : Internal partition
parede simples tijolo vazado 9 cm

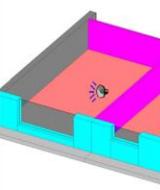
Lateral.3 : Façade
parede dupla tijolo vazado 11+15 cm

Lateral.4 : Internal partition
parede simples tijolo vazado 9 cm

Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	58.9	46.8	49.2	52.9	49.2	60.7
125	62.9	49.2	51.6	54.2	51.6	64.1
160	66.9	54.6	57.0	58.9	57.0	68.4
200	61.9	51.5	53.9	53.2	53.9	63.8
250	62.9	56.0	58.4	54.6	58.4	66.0
315	63.9	56.9	59.3	54.8	59.3	66.9
400	59.9	52.3	54.7	49.6	54.7	62.6
500	58.9	51.7	54.1	48.4	54.1	61.8
630	56.9	49.1	51.5	45.2	51.5	59.5
800	52.9	45.0	47.4	40.5	47.4	55.4
1000	49.9	41.9	44.3	36.9	44.3	52.4
1250	44.9	36.9	39.3	30.7	39.3	47.3
1600	41.9	33.8	36.2	27.0	36.2	44.2
2000	36.9	28.7	31.1	21.4	31.1	39.2
2500	27.9	19.1	21.5	11.7	21.5	30.0
3150	19.9	11.0	13.4	3.1	13.4	21.9
4000	19.9	10.9	13.3	2.4	13.3	21.9
5000	18.9	9.8	12.3	0.3	12.3	20.9
Hz	57.0	48.0	50.0	48.0	50.0	59.0

$L'_{nT,w} = 59 \text{ dB}$

8: DnT,w entre estar e dormir da mesma habitação || T4E
Insulation against horizontal airborne noise : Room.2 => Room.1
Overall



Direct : Internal partition
parede simples tijolo vazado 9 cm

Lateral.1 : Floor
laje maciça betão armado 17 cm + [aglomerado composto de cortiça dLw=18 dB]x2

Lateral.2 : Internal partition
parede simples tijolo vazado 9 cm

Lateral.3 : Floor
laje maciça betão armado 17 cm

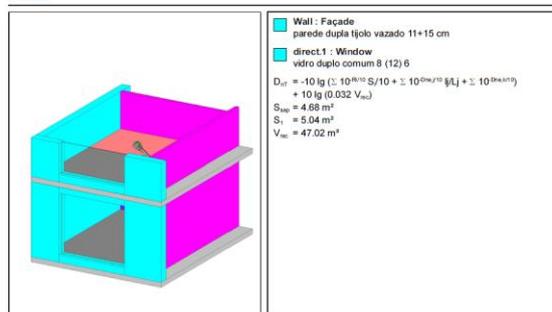
Lateral.4 : Façade
parede dupla tijolo vazado 11+15 cm

Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	33.4	39.9	43.0	41.5	36.5	30.4
125	33.4	42.4	43.0	39.1	38.4	30.8
160	33.4	49.2	43.0	41.8	39.6	31.6
200	31.4	51.1	41.0	43.0	41.8	30.3
250	27.4	51.1	37.0	44.0	42.3	26.7
315	30.4	52.0	40.0	47.1	46.1	29.7
400	33.4	54.5	43.0	49.6	50.0	32.7
500	35.4	57.2	45.0	52.4	52.7	34.7
630	38.4	60.9	48.0	54.8	56.5	37.8
800	41.4	64.0	51.0	57.9	60.3	40.8
1000	44.4	67.1	54.0	61.0	64.0	43.8
1250	46.4	69.1	56.0	63.1	67.2	45.8
1600	49.4	72.3	59.0	66.3	70.9	48.8
2000	52.4	74.2	62.0	69.4	74.6	51.8
2500	55.4	76.7	65.0	71.8	77.7	54.8
3150	58.4	79.8	68.0	74.9	81.3	57.8
4000	61.4	82.9	71.0	78.1	84.9	60.8
5000	63.4	85.0	73.0	80.2	88.0	62.8
Hz	41.0	62.0	50.0	56.0	56.0	40.0

$D_{nT,w} = 40 \text{ dB}$

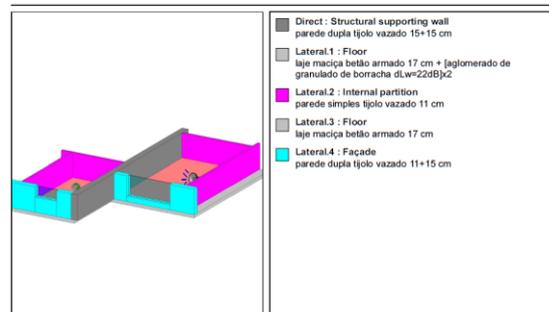
Figura C.2 – elementos de avaliação 3, 5 e 8 do Grupo 1

1: D2m,nT,w || sala T2D
Insulation against external noise : Room.2
Overall



Freq.	Wall	direct.1	Overall
100	36.6	29.8	28.9
125	38.7	28.8	28.3
160	39.9	25.8	25.6
200	42.9	20.8	20.7
250	45.0	28.8	28.6
315	49.1	34.8	34.6
400	53.2	35.8	35.7
500	56.2	38.8	38.7
630	60.2	41.8	41.7
800	64.3	42.8	42.7
1000	68.3	43.8	43.7
1250	72.3	42.8	42.7
1600	76.3	38.8	38.7
2000	80.3	38.8	38.7
2500	83.2	36.8	36.8
3150	87.2	40.8	40.8
4000	91.1	44.8	44.8
5000	95.1	48.8	48.8
Hz	57.0	39.0	38.0

2a: DnT,w horizontal entre habitações do mesmo piso || Sala T4E e Q1 T2D
Insulation against horizontal airborne noise : Room.1 => Room.2
Overall

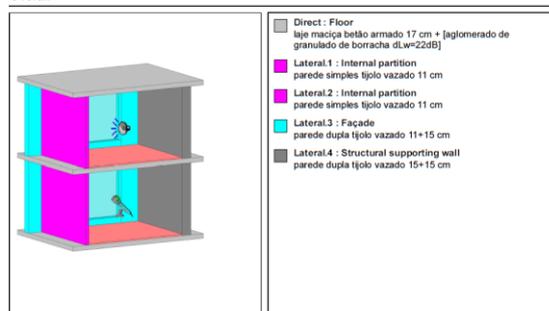


Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	36.5	46.6	36.1	46.6	36.7	31.4
125	37.6	49.0	37.2	45.4	38.3	32.6
160	37.8	53.1	37.4	47.5	38.9	33.0
200	42.8	58.8	40.9	50.9	43.5	37.3
250	45.9	62.0	43.8	54.0	46.5	40.2
315	50.0	63.5	47.4	57.6	50.7	44.1
400	54.1	65.5	51.3	60.5	55.0	48.1
500	58.1	69.1	55.1	64.0	58.9	51.9
630	61.2	72.8	58.3	66.5	62.4	55.1
800	65.3	76.5	61.7	70.1	66.7	58.8
1000	69.3	80.0	65.5	73.5	70.8	62.7
1250	73.3	83.0	69.2	76.2	75.0	66.4
1600	77.3	86.6	73.0	79.7	79.2	70.3
2000	81.3	88.8	76.2	83.0	83.4	73.8
2500	85.3	90.2	79.9	85.6	87.2	77.3
3150	88.3	94.8	83.0	88.8	90.6	80.4
4000	92.2	99.6	86.6	92.2	94.8	84.2
5000	96.2	103.7	90.2	94.6	98.9	87.7
Hz	58.0	71.0	56.0	66.0	58.0	52.0

$D_{nT,W} (C; C_{50}) = 38 (-1; -4) \text{ dB}$

$D_{nT,W} = 52 \text{ dB}$

2b: DnT,w vertical entre habitações de pisos diferentes || Salas T4E
Insulation against horizontal airborne noise : Room.2 => Room.1
Overall

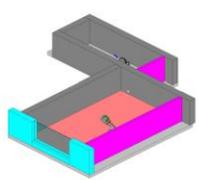


Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	41.1	50.9	48.8	44.5	41.4	36.9
125	41.1	50.8	48.6	46.0	42.3	37.4
160	46.1	52.1	50.0	48.2	43.5	40.0
200	50.1	50.0	47.9	51.4	48.3	42.4
250	53.1	52.4	50.3	53.8	51.5	45.1
315	54.1	54.5	52.4	57.6	55.3	47.5
400	55.1	57.1	55.0	61.1	58.9	49.9
500	58.1	60.1	58.0	64.3	62.7	53.0
630	61.1	63.1	60.9	68.0	65.8	56.0
800	64.1	65.4	63.3	71.9	69.7	58.8
1000	67.1	68.5	66.4	75.7	73.5	61.9
1250	69.1	71.2	69.1	79.1	77.0	64.5
1600	72.1	74.3	72.2	82.9	80.9	67.6
2000	74.1	76.5	74.4	86.4	84.4	69.8
2500	75.1	79.0	76.9	88.9	87.5	71.7
3150	79.1	82.3	80.1	92.9	90.9	75.3
4000	83.1	85.5	83.4	96.8	94.9	78.9
5000	86.1	88.4	86.2	100.3	98.3	81.8
Hz	62.0	64.0	62.0	66.0	63.0	56.0

$D_{nT,W} = 56 \text{ dB}$

Figura C.3 – elementos de avaliação 1, 2a e 2b do Grupo 2

3: DnT,w entre circulação comum e habitação
Insulation against horizontal airborne noise : Room.2 => Room.1
Overall

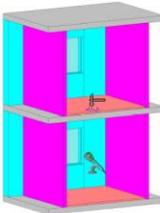


Structure : Structural supporting wall
parede dupla tijolo vazado 15+15 cm
direct.1 : Mechanical ventilator Dn,e,w + C = 53 dB
 $D_{ref} = -10 \lg (\sum 10^{D_{ref}/10} S_i/10 + \sum 10^{D_{ref}/10} \eta_{L,i} + \sum 10^{D_{ref}/10} V_{ref})$
 $S_{ref} = 1.64 \text{ m}^2$
 $V_{ref} = 59.22 \text{ m}^3$

Freq.	Structure	direct.1	Overall
100	34.7	50.8	34.6
125	35.8	53.3	35.8
160	36.2	55.5	36.1
200	40.5	57.8	40.4
250	43.5	60.8	43.4
315	47.4	63.8	47.3
400	51.3	64.3	51.1
500	55.2	60.8	54.2
630	58.4	50.8	50.1
800	62.1	46.2	46.1
1000	65.9	56.8	56.3
1250	69.6	64.8	63.6
1600	73.5	65.8	65.1
2000	76.9	66.6	66.2
2500	80.5	67.1	66.9
3150	83.6	68.8	68.6
4000	87.4	66.8	66.7
5000	90.9	66.8	66.8
Hz	55.0	59.0	53.0

$D_{nT,w} = 53 \text{ dB}$

5: L'nT,w entre pavimentos || Q4 T4E
Vertical impact sound pressure level : Room.2 => Room.1
Overall

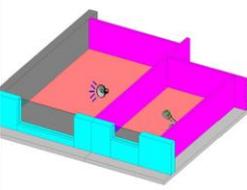


Direct : Floor
laje maciça betão armado 17 cm + [aglomerado de granulado de borracha dLw=22dB]
Lateral.1 : Internal partition
parede simples tijolo vazado 11 cm
Lateral.2 : Internal partition
parede simples tijolo vazado 11 cm
Lateral.3 : Façade
parede dupla tijolo vazado 11+15 cm
Lateral.4 : Internal partition
parede simples tijolo vazado 11 cm

Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	59.9	47.8	50.2	54.0	50.2	61.8
125	62.9	49.2	51.6	54.3	51.6	64.2
160	65.9	54.1	56.5	58.0	56.5	67.6
200	58.9	50.5	53.0	50.3	53.0	61.4
250	56.9	48.9	51.4	48.6	51.4	59.6
315	54.9	47.4	49.8	45.9	49.8	57.7
400	53.9	45.8	48.2	43.7	48.2	56.4
500	50.9	42.7	45.1	40.5	45.1	53.4
630	48.9	40.1	42.5	37.3	42.5	51.1
800	44.9	36.5	38.9	32.6	38.9	47.2
1000	39.9	31.4	33.9	26.9	33.9	42.2
1250	33.9	24.9	27.3	19.8	27.3	36.0
1600	27.9	18.8	21.2	13.1	21.2	29.9
2000	22.9	14.2	16.6	7.4	16.6	25.0
2500	20.9	11.6	14.0	4.8	14.0	22.8
3150	14.9	5.5	7.9	-1.9	7.9	16.8
4000	14.9	5.4	7.8	-2.5	7.8	16.7
5000	13.9	3.8	6.3	-4.6	6.3	15.6
Hz	53.0	43.0	46.0	45.0	46.0	55.0

$L'_{nT,w} = 55 \text{ dB}$

8: DnT,w entre estar e dormir da mesma habitação || T4E
Insulation against horizontal airborne noise : Room.2 => Room.1
Overall



Direct : Internal partition
parede simples tijolo vazado 11 cm
Lateral.1 : Floor
laje maciça betão armado 17 cm + [aglomerado de granulado de borracha dLw=22dB]x2
Lateral.2 : Internal partition
parede simples tijolo vazado 11 cm
Lateral.3 : Floor
laje maciça betão armado 17 cm
Lateral.4 : Façade
parede dupla tijolo vazado 11+15 cm

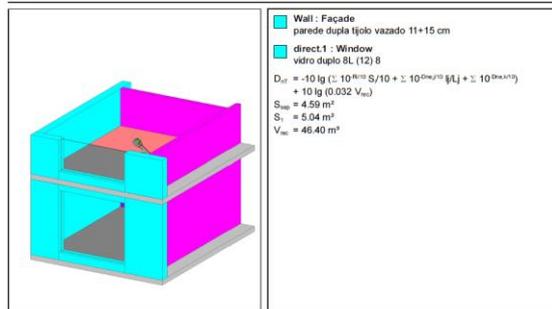
Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	34.3	41.8	44.0	41.8	37.0	31.3
125	34.3	44.3	44.0	39.5	38.9	31.6
160	33.3	49.0	43.0	41.9	39.9	31.6
200	28.3	50.6	38.0	42.1	41.1	27.5
250	30.3	53.2	40.0	44.9	43.3	29.5
315	32.3	53.7	42.0	47.7	46.8	31.6
400	35.3	55.1	45.0	50.1	50.6	34.6
500	38.3	58.2	48.0	53.2	53.8	37.6
630	41.3	61.8	51.0	55.7	57.5	40.6
800	43.3	64.5	53.0	58.5	60.9	42.7
1000	46.3	67.6	56.0	61.6	64.6	45.7
1250	49.3	70.1	59.0	64.0	68.3	48.7
1600	52.3	73.2	62.0	67.2	72.0	51.7
2000	54.3	74.7	64.0	69.9	75.2	53.7
2500	57.3	76.1	67.0	72.4	78.3	56.7
3150	60.3	80.4	70.0	75.5	81.9	59.7
4000	63.3	84.6	73.0	78.6	85.6	62.7
5000	66.3	88.2	76.0	81.0	89.2	65.7
Hz	42.0	63.0	52.0	57.0	56.0	42.0

$D_{nT,w} = 42 \text{ dB}$

Figura C.4 – elementos de avaliação 3, 5 e 8 do Grupo 2

1: D2m,nT,w || sala T2D

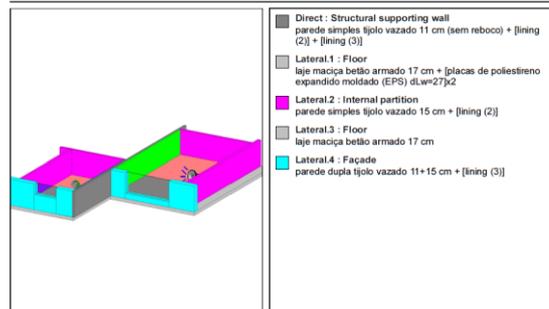
Insulation against external noise : Room.2
Overall



Freq.	Wall	direct.1	Overall
100	36.7	30.7	29.7
125	38.7	29.7	29.2
160	39.9	27.7	27.4
200	43.0	26.7	26.6
250	45.0	31.7	31.5
315	49.1	36.7	36.4
400	53.2	34.7	34.6
500	56.2	37.7	37.6
630	60.3	39.7	39.7
800	64.3	41.7	41.7
1000	68.3	42.7	42.7
1250	72.3	41.7	41.7
1600	76.3	39.7	39.7
2000	80.3	48.7	48.7
2500	83.3	43.7	43.7
3150	87.2	47.7	47.7
4000	91.2	51.7	51.7
5000	95.1	55.7	55.7
Hz	57.0	41.0	41.0

2a: DnT,w horizontal entre habitações do mesmo piso || Sala T4E e Q1 T2D

Insulation against horizontal airborne noise : Room.1 => Room.2
Overall



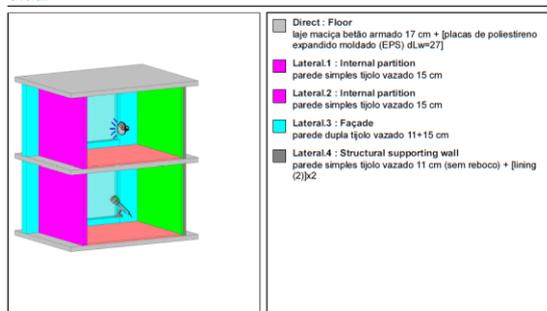
Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	27.6	44.4	36.2	44.4	34.6	26.2
125	39.6	49.4	46.4	44.8	39.5	35.4
160	48.6	55.9	52.8	48.3	42.3	40.2
200	59.6	64.5	56.9	51.9	52.9	48.2
250	67.6	68.0	64.4	55.1	56.0	52.0
315	73.6	68.0	67.5	58.4	62.6	56.3
400	75.6	68.3	70.0	60.6	65.3	58.4
500	77.6	71.3	73.4	63.7	66.9	61.1
630	79.6	75.2	76.4	65.8	69.5	63.6
800	80.6	77.9	78.8	68.8	71.1	66.1
1000	82.6	80.8	81.7	71.8	73.7	68.9
1250	83.6	82.2	85.0	73.7	74.7	70.5
1600	83.6	84.3	86.7	76.4	76.3	72.5
2000	83.6	84.9	87.8	78.9	77.9	74.1
2500	79.6	83.3	86.4	79.3	76.9	73.0
3150	91.6	84.3	100.2	79.7	76.6	74.3
4000	93.6	86.6	102.7	81.2	78.1	75.9
5000	95.6	87.8	105.2	81.5	79.2	76.7
Hz	65.0	73.0	70.0	65.0	64.0	59.0

$D_{nT,W} (C; C_{tr}) = 41 (-2; -4) \text{ dB}$

$D_{nT,W} = 59 \text{ dB}$

2b: DnT,w vertical entre habitações de pisos diferentes || Salas T4E

Insulation against horizontal airborne noise : Room.2 => Room.1
Overall

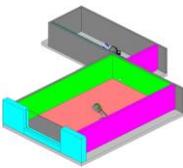


Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	41.1	50.6	48.6	44.5	43.1	37.3
125	41.1	49.3	47.3	46.0	52.9	38.6
160	46.1	48.4	46.4	48.2	62.2	41.1
200	50.1	50.7	48.7	51.3	65.7	44.0
250	53.1	53.8	51.7	53.8	73.3	47.0
315	54.1	56.6	54.5	57.5	76.0	49.4
400	55.1	58.5	56.4	61.0	78.3	51.2
500	58.1	61.5	59.5	64.2	81.9	54.2
630	61.1	64.4	62.4	68.0	84.8	57.2
800	64.1	66.8	64.8	71.8	87.8	60.0
1000	67.1	69.9	67.8	75.6	90.9	63.1
1250	69.1	72.6	70.5	79.0	94.0	65.5
1600	72.1	75.7	73.6	82.9	96.1	68.6
2000	74.1	77.9	75.8	86.4	97.9	70.7
2500	75.1	80.4	78.3	88.9	97.2	72.5
3150	79.1	83.7	81.6	92.9	113.6	76.2
4000	83.1	86.9	84.8	96.8	118.0	79.8
5000	86.1	89.7	87.7	100.3	122.2	82.7
Hz	62.0	65.0	63.0	66.0	78.0	57.0

$D_{nT,W} = 57 \text{ dB}$

Figura C.5 – elementos de avaliação 1, 2a e 2b do Grupo 3

3. DnT,w entre circulação comum e habitação
Insulation against horizontal airborne noise : Room.2 => Room.1
Overall

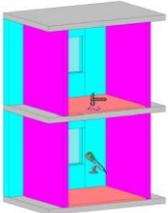


Structure : Structural supporting wall
parede simples tijolo vazado 11 cm (sem reboco) + [lining (3)] + [insig (2)]
 direct.1 :
 Mechanical ventilator Dn,e,w + C = 53 dB
 $D_{ref} = -10 \lg (\sum 10^{D_{ref} S/10} + \sum 10^{D_{ref} S_{inj}/10} + \sum 10^{D_{ref} S_{ext}/10})$
 $S_{inj} = 1.74 \text{ m}^2$
 $V_{inj} = 60.19 \text{ m}^3$

Freq.	Structure	direct.1	Overall
100	29.0	50.8	29.0
125	40.1	53.3	39.9
160	47.4	55.5	46.8
200	53.5	57.8	52.2
250	58.1	60.8	56.3
315	61.2	63.8	59.3
400	63.2	64.3	60.7
500	66.3	60.8	59.8
630	68.7	50.8	50.8
800	71.6	46.2	46.2
1000	74.5	56.8	56.8
1250	76.4	64.8	64.6
1600	78.6	65.8	65.6
2000	80.2	66.6	66.5
2500	78.5	67.1	66.8
3150	82.7	68.8	68.7
4000	84.4	66.8	66.8
5000	85.1	66.8	66.8
Hz	64.0	59.0	56.0

$D_{nT,w} = 56 \text{ dB}$

5. L'nT,w entre pavimentos || Q4 T4E
Vertical impact sound pressure level : Room.2 => Room.1
Overall

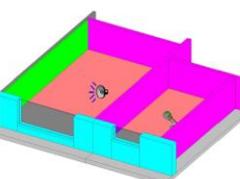


Direct : Floor
laje maciça betão armado 17 cm + [placas de poliestireno expandido moldado (EPS) dLw=27]
 Lateral.1 : Internal partition
parede simples tijolo vazado 15 cm
 Lateral.2 : Internal partition
parede simples tijolo vazado 15 cm
 Lateral.3 : Façade
parede dupla tijolo vazado 11+15 cm
 Lateral.4 : Internal partition
parede simples tijolo vazado 15 cm

Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	43.0	31.0	33.5	37.1	33.5	44.9
125	44.0	31.4	33.9	35.4	33.9	45.4
160	58.0	48.8	51.3	50.1	51.3	60.3
200	55.0	45.7	48.2	46.4	48.2	57.3
250	48.0	38.6	41.1	39.7	41.1	50.3
315	39.0	29.6	32.0	30.0	32.0	41.2
400	50.0	40.5	42.9	39.8	42.9	52.1
500	45.0	35.4	37.9	34.6	37.9	47.0
630	38.0	27.8	30.3	26.4	30.3	39.8
800	45.0	35.2	37.7	32.7	37.7	46.9
1000	40.0	30.1	32.6	27.0	32.6	41.8
1250	40.0	29.6	32.0	25.9	32.0	41.6
1600	34.0	23.5	25.9	19.2	25.9	35.6
2000	39.0	28.9	31.4	23.5	31.4	40.7
2500	41.0	30.3	32.8	24.9	32.8	42.5
3150	41.0	30.2	32.7	24.3	32.7	42.5
4000	41.0	30.1	32.6	23.6	32.6	42.4
5000	40.0	28.5	31.0	21.5	31.0	41.3
Hz	49.0	39.0	42.0	37.0	42.0	51.0

$L'_{nT,w} = 51 \text{ dB}$

8. DnT,w entre estar e dormir da mesma habitação || T4E
Insulation against horizontal airborne noise : Room.2 => Room.1
Overall



Direct : Internal partition
parede simples tijolo vazado 15 cm
 Lateral.1 : Floor
laje maciça betão armado 17 cm + [placas de poliestireno expandido moldado (EPS) dLw=27]x2
 Lateral.2 : Internal partition
parede simples tijolo vazado 15 cm
 Lateral.3 : Floor
laje maciça betão armado 17 cm
 Lateral.4 : Façade
parede dupla tijolo vazado 11+15 cm

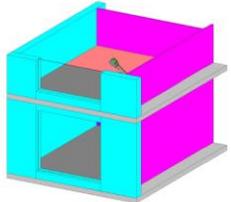
Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	35.3	42.3	44.9	42.3	37.9	32.2
125	33.3	44.1	42.9	39.7	39.4	31.1
160	29.3	47.1	38.9	40.9	39.4	28.2
200	31.3	51.4	40.9	43.0	42.2	30.2
250	34.3	54.5	43.9	46.1	44.7	33.2
315	37.3	55.4	46.9	49.2	48.5	36.3
400	39.3	56.3	48.9	51.4	52.1	38.3
500	42.3	59.4	51.9	54.5	55.2	41.3
630	45.3	63.1	54.9	56.9	59.0	44.3
800	47.3	65.8	56.9	59.7	62.4	46.4
1000	50.3	68.9	59.9	62.8	66.1	49.5
1250	53.3	71.4	62.9	65.2	69.8	52.4
1600	56.3	74.5	65.9	68.4	73.5	55.5
2000	58.3	76.0	67.9	71.1	76.8	57.5
2500	61.3	77.4	70.9	73.6	79.8	60.5
3150	64.3	81.6	73.9	76.7	83.5	63.5
4000	67.3	85.9	76.9	79.8	87.1	66.5
5000	70.3	89.5	79.9	82.3	90.7	69.5
Hz	46.0	63.0	55.0	57.0	57.0	45.0

$D_{nT,w} = 45 \text{ dB}$

Figura C.6 – elementos de avaliação 3, 5 e 8 do Grupo 3

1: D2m,nT,w || sala T2D

Insulation against external noise : Room.2
Overall

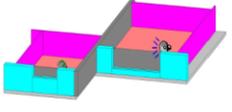


■ Wall : Façade parede dupla tijolo vazado 11+15 cm
■ direct.1 : Window vidro duplo comum 4 (B) 4
 $D_{w} = -10 \lg \left(\sum 10^{(L_{i,w} - S_i)/10} + \sum 10^{(D_{w,ext} - S_i)/10} \right) + 10 \lg (0,032 V_{int})$
 $S_{int} = 4,83 \text{ m}^2$
 $S_i = 5,04 \text{ m}^2$
 $V_{int} = 48,25 \text{ m}^3$

Freq.	Wall	direct.1	Overall
100	36.6	25.9	25.5
125	38.7	26.9	26.6
160	39.8	27.9	27.6
200	42.9	28.9	28.7
250	45.0	27.9	27.8
315	49.0	23.9	23.8
400	53.1	23.9	23.9
500	56.2	30.9	30.8
630	60.2	35.9	35.8
800	64.3	39.9	39.8
1000	68.3	42.9	42.8
1250	72.3	44.9	44.9
1600	76.3	45.9	45.9
2000	80.3	45.9	45.9
2500	83.2	43.9	43.9
3150	87.2	31.9	31.9
4000	91.1	36.9	36.9
5000	95.0	40.9	40.9
Hz	57.0	35.0	35.0

2a: DnT,w horizontal entre habitações do mesmo piso || Sala T4E e Q1 T2D

Insulation against horizontal airborne noise : Room.1 => Room.2
Overall



■ Direct : Structural supporting wall [2x13A + 48 + (30-C) + 48 + 2x13A] MW2x50
■ Lateral.1 : Floor laje maciça betão armado 17 cm + [aglomerado composto de cortiça dLw=18 dB]x2
■ Lateral.2 : Internal partition [13A + 48 + 13A] MW50
■ Lateral.3 : Floor laje maciça betão armado 17 cm
■ Lateral.4 : Façade parede dupla tijolo vazado 11+15 cm

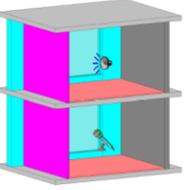
Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	40.0	43.7	50.7	45.6	45.1	36.8
125	40.9	46.8	51.3	42.9	47.0	37.4
160	46.7	55.9	56.9	46.2	51.0	42.4
200	49.4	60.0	59.8	48.4	54.2	45.0
250	54.1	63.2	64.7	51.6	58.0	48.8
315	59.7	62.6	70.3	54.8	63.3	52.6
400	62.1	64.9	72.8	57.0	66.9	54.9
500	66.2	68.0	76.9	60.1	70.8	58.3
630	68.3	72.2	79.0	62.3	74.2	60.7
800	70.2	75.4	80.9	65.5	77.5	63.6
1000	72.3	78.5	83.0	68.6	80.8	66.5
1250	76.3	80.7	87.0	70.8	85.0	69.2
1600	77.6	83.9	88.2	74.0	87.7	71.9
2000	76.1	85.0	86.5	77.1	88.3	73.0
2500	71.8	87.0	81.8	79.2	85.7	70.5
3150	72.9	90.1	82.4	82.4	87.1	71.8
4000	69.7	92.8	79.9	85.4	84.3	69.1
5000	62.1	93.7	72.8	86.9	76.7	61.6
Hz	65.0	70.0	75.0	63.0	69.0	59.0

$D_{nT,w} (C; C_w) = 35 (-1; -3) \text{ dB}$

$D_{nT,w} = 59 \text{ dB}$

2b: DnT,w vertical entre habitações de pisos diferentes || Salas T4E

Insulation against horizontal airborne noise : Room.2 => Room.1
Overall



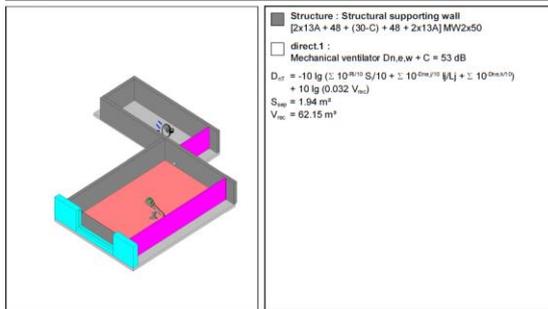
■ Direct : Floor laje maciça betão armado 17 cm + [aglomerado composto de cortiça dLw=18 dB]
■ Lateral.1 : Internal partition [13A + 48 + 13A] MW50
■ Lateral.2 : Internal partition [13A + 48 + 13A] MW50
■ Lateral.3 : Façade parede dupla tijolo vazado 11+15 cm
■ Lateral.4 : Structural supporting wall [2x13A + 48 + (30-C) + 48 + 2x13A] MW2x50

Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	40.1	53.5	51.4	44.3	50.8	38.1
125	40.1	50.1	48.1	45.8	51.6	38.1
160	46.1	54.8	52.8	48.3	57.3	43.0
200	49.1	60.0	58.0	51.3	60.3	46.3
250	52.1	66.5	64.5	53.8	64.5	49.5
315	53.1	70.4	68.4	57.5	68.8	51.5
400	55.1	75.7	73.7	61.1	71.4	54.0
500	58.1	80.0	78.0	64.3	75.4	57.0
630	61.1	82.7	80.7	68.0	78.0	60.1
800	64.1	86.0	84.0	71.9	80.8	63.3
1000	67.1	89.6	87.5	75.7	83.6	66.4
1250	69.1	92.4	90.4	79.1	87.1	68.6
1600	72.1	93.9	91.9	83.0	89.5	71.6
2000	74.1	92.6	90.6	86.5	89.8	73.6
2500	76.1	87.8	85.8	89.2	87.7	75.0
3150	79.1	86.7	84.7	92.9	89.3	77.1
4000	82.1	89.6	87.5	96.7	87.1	79.5
5000	84.1	92.5	90.4	99.9	80.0	78.1
Hz	61.0	76.0	74.0	66.0	75.0	59.0

$D_{nT,w} = 59 \text{ dB}$

Figura C.7 – elementos de avaliação 1, 2a e 2b do Grupo 4

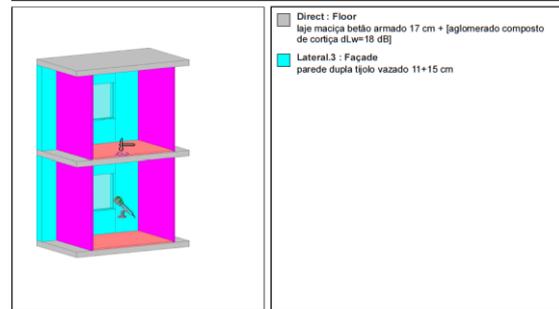
3: DnT,w entre circulação comum e habitação
Insulation against horizontal airborne noise : Room.2 => Room.1
Overall



Freq.	Structure	direct.1	Overall
100	42.2	51.0	41.6
125	42.1	53.5	41.8
160	47.1	55.7	46.5
200	49.6	58.0	49.0
250	53.4	61.0	52.7
315	56.9	64.0	56.1
400	59.1	64.5	58.0
500	62.5	61.0	58.6
630	64.8	51.0	50.8
800	67.8	46.4	46.4
1000	70.7	57.0	56.8
1250	73.2	65.0	64.4
1600	76.0	66.0	65.6
2000	77.2	66.8	66.4
2500	74.9	67.3	66.6
3150	76.2	69.0	68.2
4000	73.5	67.0	66.1
5000	66.1	67.0	63.5
Hz	64.0	60.0	59.0

$D_{nT,w} = 59 \text{ dB}$

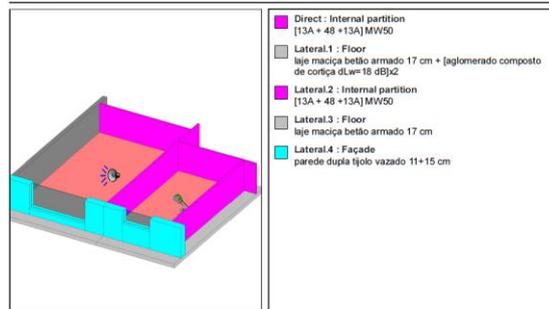
5: L'nT,w entre pavimentos || Q4 T4E
Vertical impact sound pressure level : Room.2 => Room.1
Overall



Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	58.8			52.8		59.8
125	62.8			54.1		63.3
160	66.8			58.8		67.4
200	61.8			53.1		62.3
250	62.8			54.4		63.4
315	63.8			54.7		64.3
400	59.8			49.5		60.2
500	58.8			48.3		59.2
630	56.8			45.1		57.1
800	52.8			40.4		53.0
1000	49.8			36.7		50.0
1250	44.8			30.6		44.9
1600	41.8			26.9		41.9
2000	36.8			21.2		36.9
2500	27.8			11.6		27.9
3150	19.8			2.9		19.9
4000	19.8			2.3		19.9
5000	18.8			0.2		18.8
Hz	57.0			48.0		57.0

$L'_{nT,w} = 57 \text{ dB}$

8: DnT,w entre estar e dormir da mesma habitação || T4E
Insulation against horizontal airborne noise : Room.2 => Room.1
Overall

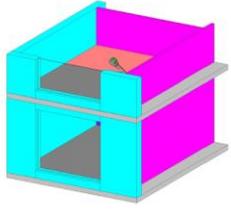


Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	19.4	37.6	34.2	39.6	34.6	19.1
125	12.6	40.2	27.1	36.4	36.1	12.4
160	16.5	48.8	30.6	39.5	37.5	16.3
200	23.4	53.1	37.2	41.7	40.9	23.1
250	32.2	56.5	45.7	44.8	43.2	31.5
315	37.0	55.7	50.1	47.9	47.3	36.1
400	44.6	58.0	57.4	50.1	51.5	42.6
500	49.4	61.2	61.9	53.2	54.5	46.8
630	51.6	65.3	64.1	55.4	58.6	49.3
800	54.4	68.5	66.9	58.6	62.6	52.3
1000	57.7	71.7	70.2	61.7	66.6	55.6
1250	60.6	73.9	73.1	63.9	70.6	58.4
1600	60.1	77.0	72.6	67.1	74.6	58.9
2000	55.6	78.1	68.1	70.2	78.4	55.2
2500	47.5	80.0	60.0	72.2	80.7	47.3
3150	45.4	82.9	57.9	75.3	84.0	45.2
4000	48.4	86.1	60.9	78.5	88.0	48.2
5000	51.6	88.4	64.1	80.7	91.9	51.4
Hz	40.0	64.0	54.0	56.0	55.0	39.0

$D_{nT,w} = 39 \text{ dB}$

Figura C.8 – elementos de avaliação 3, 5 e 8 do Grupo 4

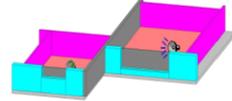
1: D2m,nT,w || sala T2D
Insulation against external noise : Room.2
Overall



■ Wall : Façade parede dupla tijolo vazado 11+15 cm
■ direct.1 : Window vidro duplo comum 8 (12) 6
 $D_{21} = -10 \lg \left(\frac{10^{0.17} S_{10}}{10} + \sum 10^{0.17} \frac{Q_{ij}}{4} + \sum 10^{0.17} V_{in} \right) + 10 \lg (0.032 V_{in})$
 $S_{in} = 4.79 \text{ m}^2$
 $S_1 = 5.04 \text{ m}^2$
 $V_{in} = 47.92 \text{ m}^3$

Freq.	Wall	direct.1	Overall
100	36.6	29.8	29.0
125	38.7	28.8	28.4
160	39.8	25.8	25.7
200	42.9	20.8	20.8
250	45.0	28.8	28.7
315	49.0	34.8	34.7
400	53.1	35.8	35.8
500	56.2	38.8	38.8
630	60.2	41.8	41.8
800	64.3	42.8	42.8
1000	68.3	43.8	43.8
1250	72.3	42.8	42.8
1600	76.3	38.8	38.8
2000	80.3	38.8	38.8
2500	83.2	36.8	36.8
3150	87.2	40.8	40.8
4000	91.1	44.8	44.8
5000	95.0	48.8	48.8
Hz	57.0	39.0	39.0

2a: DnT,w horizontal entre habitações do mesmo piso || Sala T4E e Q1 T2D
Insulation against horizontal airborne noise : Room.1 => Room.2
Overall



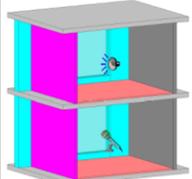
■ Direct : Structural supporting wall [2x13A + 48 + 13A + 48 + 2x13A] MW2x50
■ Lateral.1 : Floor laje maciça betão armado 17 cm + [aglomerado de granulado de borracha dLw=22dB]2
■ Lateral.2 : Internal partition [2x13A + 48 + 2x13A] MW50
■ Lateral.3 : Floor laje maciça betão armado 17 cm
■ Lateral.4 : Façade parede dupla tijolo vazado 11+15 cm

Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	44.5	45.9	55.1	45.9	46.9	39.6
125	48.4	49.1	58.5	43.2	50.3	40.7
160	52.7	56.2	63.0	46.4	53.5	44.5
200	54.6	62.2	65.1	48.6	56.4	46.9
250	60.3	65.5	70.8	51.8	60.7	50.6
315	64.7	64.9	75.2	55.0	65.3	53.8
400	69.4	65.1	79.9	57.2	70.2	56.1
500	72.8	68.3	83.3	60.3	73.8	59.3
630	74.8	72.4	85.3	62.5	77.1	61.7
800	77.1	75.6	87.5	65.7	80.7	64.9
1000	77.1	78.7	87.6	68.8	82.9	67.7
1250	78.9	80.9	89.4	71.0	86.0	69.8
1600	79.2	84.1	89.7	74.2	88.1	72.5
2000	75.6	85.1	86.1	77.3	87.2	72.7
2500	75.4	85.3	85.4	79.4	87.8	73.2
3150	74.3	90.2	84.2	82.5	87.5	73.0
4000	70.4	94.7	80.8	85.5	84.0	69.7
5000	62.6	96.7	73.3	87.0	76.3	62.0
Hz	70.0	72.0	81.0	63.0	72.0	61.0

$D_{nT,W} (C; C_u) = 39 (-2; -5) \text{ dB}$

$D_{nT,W} = 61 \text{ dB}$

2b: DnT,w vertical entre habitações de pisos diferentes || Salas T4E
Insulation against horizontal airborne noise : Room.2 => Room.1
Overall



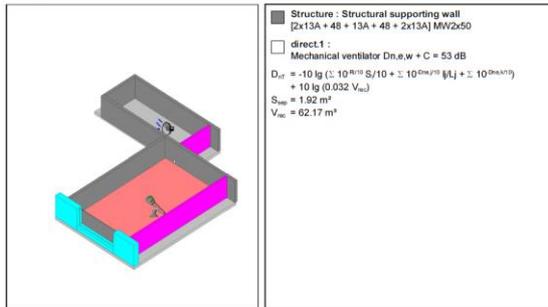
■ Direct : Floor laje maciça betão armado 17 cm + [aglomerado de granulado de borracha dLw=22dB]
■ Lateral.1 : Internal partition [2x13A + 48 + 2x13A] MW50
■ Lateral.2 : Internal partition [2x13A + 48 + 2x13A] MW50
■ Lateral.3 : Façade parede dupla tijolo vazado 11+15 cm
■ Lateral.4 : Structural supporting wall [2x13A + 48 + 13A + 48 + 2x13A] MW2x50

Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	41.1	49.7	47.6	44.6	53.1	38.4
125	41.1	47.5	45.5	46.1	55.2	38.2
160	46.1	53.9	51.9	48.2	59.9	42.9
200	50.1	59.6	57.6	51.4	62.6	46.9
250	53.1	64.3	62.3	53.9	67.4	49.9
315	54.1	67.9	65.9	57.6	71.1	52.1
400	55.1	72.5	70.5	61.1	74.6	53.9
500	58.1	75.9	73.9	64.3	78.2	57.0
630	61.1	79.2	77.2	68.0	80.9	60.1
800	64.1	81.6	79.6	71.9	83.9	63.2
1000	67.1	84.1	82.1	75.7	85.7	66.3
1250	69.1	86.7	84.7	79.1	87.9	68.4
1600	72.1	88.7	86.6	82.9	89.7	71.5
2000	74.1	88.9	86.8	86.5	88.8	73.4
2500	75.1	83.0	81.0	88.9	89.2	73.3
3150	79.1	82.3	80.3	92.9	89.5	75.3
4000	83.1	84.7	82.7	96.9	86.8	78.0
5000	86.1	85.2	83.2	100.3	79.5	76.6
Hz	62.0	73.0	71.0	66.0	77.0	60.0

$D_{nT,W} = 60 \text{ dB}$

Figura C.9 – elementos de avaliação 1, 2a e 2b do Grupo 5

3: DnT,w entre circulação comum e habitação
Insulation against horizontal airborne noise : Room.2 => Room.1
Overall

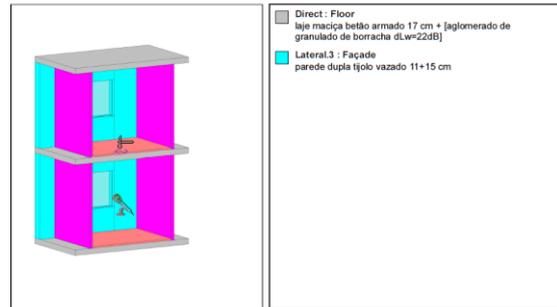


Structure : Structural supporting wall [2x13A + 48 + 13A + 48 + 2x13A] MW2x50
direct.1 : Mechanical ventilator Dn,e,w + C = 53 dB
 $D_{ref} = -10 \lg \left(\sum 10^{D_{ref}/10} S_i / 10 + \sum 10^{D_{ref}/10} V_{Lj} + \sum 10^{D_{ref}/10} V_{Lk} \right) + 10 \lg (0.032 V_{ref})$
 $S_{ref} = 1.92 \text{ m}^2$
 $V_{ref} = 62.17 \text{ m}^3$

Freq.	Structure	direct.1	Overall
100	44.9	51.0	44.0
125	45.1	53.5	44.5
160	49.0	55.7	48.1
200	51.4	58.0	50.6
250	55.0	61.0	54.0
315	58.0	64.0	57.0
400	60.1	64.5	58.7
500	63.3	61.0	59.0
630	65.7	51.0	50.8
800	68.8	46.4	46.4
1000	71.7	57.0	56.8
1250	73.8	65.0	64.5
1600	76.5	66.0	65.6
2000	76.9	66.8	66.4
2500	77.5	67.3	66.9
3150	77.4	69.0	68.4
4000	74.2	67.0	66.2
5000	66.5	67.0	63.7
Hz	65.0	60.0	59.0

$D_{nT,w} = 59 \text{ dB}$

5: L'nT,w entre pavimentos || Q4 T4E
Vertical impact sound pressure level : Room.2 => Room.1
Overall

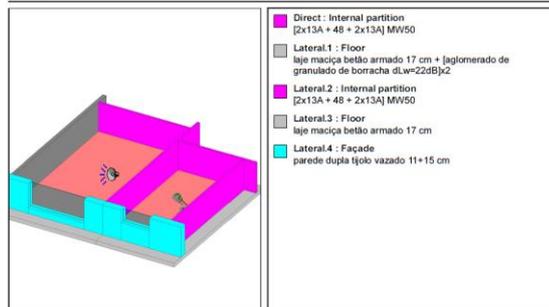


Direct : Floor laje maciça betão armado 17 cm + [aglomerado de granulado de borracha dLw=22dB]
Lateral.3 : Façade parede dupla tijolo vazado 11+15 cm

Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	59.8			53.8		60.8
125	62.8			54.1		63.4
160	65.8			57.9		66.5
200	58.8			50.2		59.4
250	56.8			48.5		57.4
315	54.8			45.8		55.4
400	53.8			43.6		54.2
500	50.8			40.4		51.2
630	48.8			37.2		49.1
800	44.8			32.5		45.1
1000	39.8			26.8		40.1
1250	33.8			19.7		34.0
1600	27.8			12.9		28.0
2000	22.8			7.3		23.0
2500	20.8			4.7		20.9
3150	14.8			-2.0		14.9
4000	14.8			-2.6		14.9
5000	13.8			-4.8		13.9
Hz	53.0			45.0		54.0

$L'_{nT,w} = 54 \text{ dB}$

8: DnT,w entre estar e dormir da mesma habitação || T4E
Insulation against horizontal airborne noise : Room.2 => Room.1
Overall



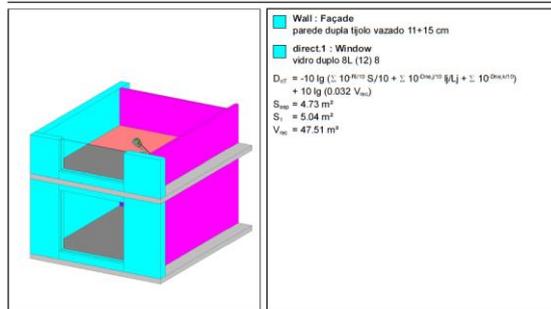
Direct : Internal partition [2x13A + 48 + 2x13A] MW50
Lateral.1 : Floor laje maciça betão armado 17 cm + [aglomerado de granulado de borracha dLw=22dB]x2
Lateral.2 : Internal partition [2x13A + 48 + 2x13A] MW50
Lateral.3 : Floor laje maciça betão armado 17 cm
Lateral.4 : Façade parede dupla tijolo vazado 11+15 cm

Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	22.3	39.1	37.0	39.1	34.1	21.7
125	18.4	41.3	32.8	36.0	35.6	18.1
160	25.8	48.5	39.8	39.4	37.5	25.2
200	33.3	54.8	47.0	41.7	40.9	31.9
250	38.8	58.2	52.2	44.9	43.1	36.6
315	42.8	57.8	55.9	48.1	47.2	40.4
400	49.4	58.2	62.1	50.3	51.4	45.2
500	52.6	61.4	65.0	53.5	54.4	48.3
630	55.9	65.5	68.3	55.7	58.5	51.5
800	57.1	68.7	69.5	58.9	62.5	53.9
1000	58.7	71.8	71.1	62.0	66.5	56.3
1250	61.3	74.0	73.7	64.2	70.4	58.9
1600	62.0	77.2	74.4	67.4	74.4	60.4
2000	60.7	78.3	73.1	70.5	78.2	59.9
2500	52.5	78.0	64.9	72.4	80.2	52.2
3150	51.3	82.6	63.7	75.3	83.6	51.0
4000	53.9	87.5	66.3	78.5	87.5	53.6
5000	54.5	91.1	66.9	80.6	91.0	54.2
Hz	47.0	65.0	60.0	56.0	55.0	45.0

$D_{nT,w} = 45 \text{ dB}$

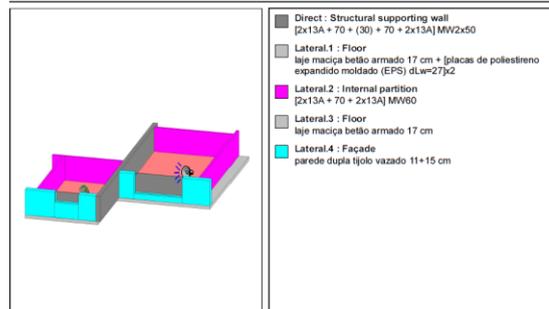
Figura C.10 – elementos de avaliação 3, 5 e 8 do Grupo 5

1: D2m,nT,w || sala T2D
Insulation against external noise : Room.2
Overall



Freq.	Wall	direct.1	Overall
100	36.6	30.8	29.8
125	38.7	29.8	29.3
160	39.8	27.8	27.5
200	42.9	26.8	26.7
250	45.0	31.8	31.6
315	49.1	36.8	36.5
400	53.1	34.8	34.7
500	56.2	37.8	37.7
630	60.2	39.8	39.8
800	64.3	41.8	41.8
1000	68.3	42.8	42.8
1250	72.3	41.8	41.8
1600	76.3	39.8	39.8
2000	80.3	48.8	48.8
2500	83.2	43.8	43.8
3150	87.2	47.8	47.8
4000	91.1	51.8	51.8
5000	95.1	55.8	55.8
Hz	57.0	41.0	41.0

2a: DnT,w horizontal entre habitações do mesmo piso || Sala T4E e Q1 T2D
Insulation against horizontal airborne noise : Room.1 => Room.2
Overall

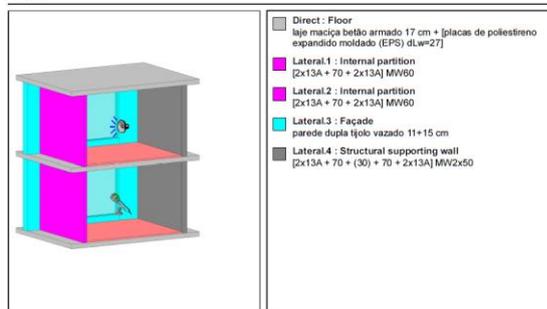


Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	48.2	45.7	59.9	45.7	49.6	41.0
125	49.8	48.9	60.9	42.9	51.9	40.9
160	54.1	56.0	64.9	46.2	55.0	44.7
200	55.7	62.1	66.5	48.3	57.8	47.0
250	61.2	65.3	71.8	51.5	62.0	50.5
315	66.7	64.6	77.3	54.7	67.2	53.8
400	71.9	64.9	82.4	56.9	72.2	56.0
500	76.7	68.0	87.1	60.0	76.6	59.2
630	78.1	72.2	88.6	62.2	79.7	61.6
800	79.8	75.4	90.3	65.4	82.9	64.8
1000	79.1	78.5	89.7	68.5	84.8	67.7
1250	79.7	80.6	90.3	70.7	87.3	69.7
1600	79.4	83.8	90.0	73.9	89.2	72.3
2000	77.6	84.9	88.1	77.0	89.8	73.7
2500	77.0	85.1	86.9	79.2	90.3	74.2
3150	75.1	90.1	85.3	82.3	89.6	73.8
4000	70.9	94.7	81.4	85.3	86.1	70.3
5000	62.1	97.0	72.8	86.9	77.4	61.6
Hz	72.0	72.0	83.0	63.0	73.0	61.0

$D_{nT,W} (C;C_w) = 41 (-1;-4) \text{ dB}$

$D_{nT,W} = 61 \text{ dB}$

2b: DnT,w vertical entre habitações de pisos diferentes || Salas T4E
Insulation against horizontal airborne noise : Room.2 => Room.1
Overall

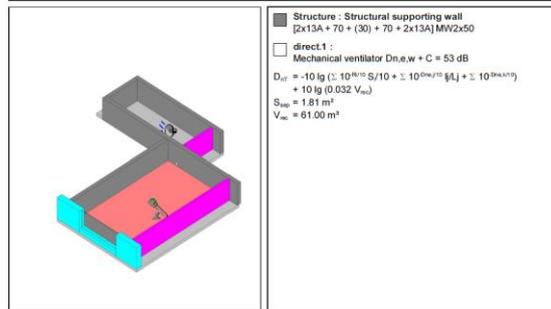


Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	41.1	51.9	49.8	44.5	56.0	38.8
125	41.1	49.4	47.4	46.0	57.0	38.7
160	46.1	54.8	52.8	48.2	61.6	43.1
200	50.1	60.8	58.7	51.4	64.2	47.1
250	53.1	65.4	63.3	53.8	68.9	50.0
315	54.1	69.3	67.3	57.6	73.1	52.2
400	55.1	72.0	70.0	61.1	76.9	53.9
500	58.1	76.0	73.9	64.3	81.2	57.0
630	61.1	80.0	78.0	68.0	83.6	60.1
800	64.1	83.1	81.1	71.9	86.3	63.3
1000	67.1	85.7	83.7	75.7	87.8	66.3
1250	69.1	88.2	86.2	79.1	89.4	68.5
1600	72.1	89.9	87.8	82.9	91.0	71.5
2000	74.1	89.0	87.0	86.4	91.3	73.4
2500	75.1	82.3	80.2	88.9	91.6	73.1
3150	79.1	84.1	82.1	92.9	91.6	76.3
4000	83.1	86.6	84.6	96.9	89.0	79.2
5000	86.1	86.1	84.0	100.3	81.0	77.7
Hz	62.0	75.0	73.0	66.0	79.0	60.0

$D_{nT,W} = 60 \text{ dB}$

Figura C.11 – elementos de avaliação 1, 2a e 2b do Grupo 6

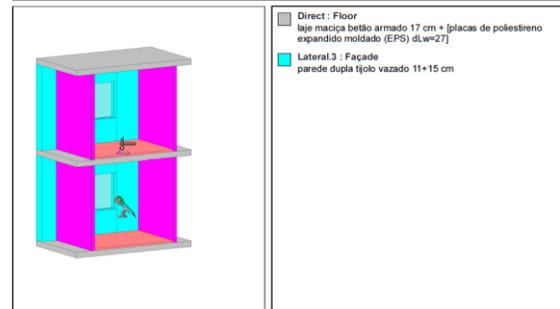
3: DnT,w entre circulação comum e habitação
Insulation against horizontal airborne noise : Room.2 => Room.1
Overall



Freq.	Structure	direct.1	Overall
100	46.3	50.9	45.0
125	45.3	53.4	44.7
160	49.2	55.6	48.3
200	51.6	57.9	50.7
250	55.1	60.9	54.1
315	58.0	63.9	57.0
400	60.1	64.4	58.7
500	63.3	60.9	58.9
630	65.7	50.9	50.8
800	68.9	46.3	46.3
1000	71.8	56.9	56.8
1250	73.8	64.9	64.4
1600	76.5	65.9	65.5
2000	78.0	66.7	66.4
2500	78.6	67.2	66.9
3150	78.3	68.9	68.4
4000	74.9	66.9	66.3
5000	66.3	66.9	63.6
Hz	66.0	60.0	59.0

$D_{nT,w} = 59$ dB

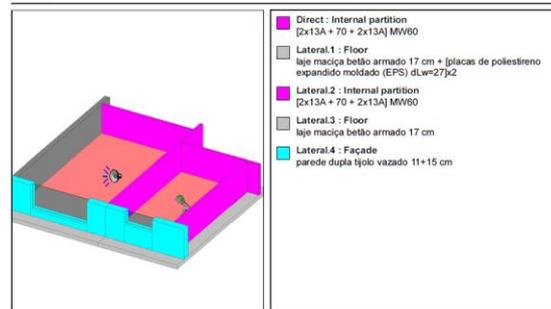
5: L'nT,w entre pavimentos || Q4 T4E
Vertical impact sound pressure level : Room.2 => Room.1
Overall



Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	42.9			36.9		43.9
125	43.9			35.2		44.5
160	57.9			49.9		58.5
200	54.9			46.2		55.5
250	47.9			39.6		48.5
315	38.9			29.8		39.4
400	49.9			39.6		50.3
500	44.9			34.4		45.3
630	37.9			26.2		38.2
800	44.9			32.5		45.1
1000	39.9			26.9		40.1
1250	39.9			25.7		40.1
1600	33.9			19.0		34.0
2000	38.9			23.4		39.0
2500	40.9			24.7		41.0
3150	40.9			24.1		41.0
4000	40.9			23.4		41.0
5000	39.9			21.3		40.0
Hz	49.0			37.0		49.0

$L'_{nT,w} = 49$ dB

8: DnT,w entre estar e dormir da mesma habitação || T4E
Insulation against horizontal airborne noise : Room.2 => Room.1
Overall



Freq.	Direct	Lateral.1	Lateral.2	Lateral.3	Lateral.4	Overall
100	28.0	39.3	42.8	39.3	34.5	26.6
125	23.4	41.8	37.9	36.3	36.1	22.8
160	29.1	48.7	43.2	39.5	37.7	28.1
200	37.0	55.1	50.8	41.8	41.0	34.5
250	42.3	58.5	55.8	45.0	43.2	38.5
315	47.1	58.0	60.2	48.2	47.3	42.6
400	50.2	58.3	63.0	50.4	51.4	45.6
500	54.3	61.5	66.8	53.6	54.5	49.0
630	59.0	65.7	71.5	55.8	58.5	52.5
800	61.5	68.9	74.0	59.0	62.6	55.7
1000	63.2	72.0	75.7	62.1	66.6	58.5
1250	65.5	74.2	78.0	64.3	70.5	61.0
1600	65.6	77.3	78.1	67.5	74.5	62.8
2000	62.6	78.4	75.1	70.6	78.3	61.6
2500	53.3	78.0	65.8	72.4	80.3	53.0
3150	55.0	82.9	67.5	75.5	84.1	54.8
4000	57.6	87.8	70.1	78.7	88.1	57.4
5000	57.0	91.3	69.5	80.8	91.3	56.8
Hz	51.0	65.0	64.0	56.0	55.0	48.0

$D_{nT,w} = 48$ dB

Figura C.12 – elementos de avaliação 3, 5 e 8 do Grupo 6