



**Universidade de Aveiro** Departamento de Engenharia Civil  
Ano 2018

**Daniela Vicente  
Ferreira**

**Acústica de Edifícios: Avaliação de  
Resultados e Previsão do Desempenho  
de Soluções Construtivas**





**Universidade de  
Aveiro**  
2018

Departamento de Engenharia Civil

**Daniela Vicente  
Ferreira**

**Acústica de Edifícios: Avaliação de  
Resultados e Previsão do Desempenho  
de Soluções Construtivas**

Relatório de estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizado sob a orientação científica do Professor Doutor Romeu da Silva Vicente, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.



À minha família e à memória da minha Avó



## **O júri**

presidente

**Prof. Doutor Joaquim Miguel Gonçalves Macedo**  
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da  
Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor Diogo Manuel Rosa Mateus**  
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de  
Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra.

**Prof. Doutor Romeu da Silva Vicente**  
Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da  
Universidade de Aveiro





## **Agradecimentos**

Ao longo desta caminhada que por vezes não foi fácil, quero agradecer a todos aqueles que contribuíram para que a conclusão desta etapa fosse possível.

Ao meu orientador Romeu Vicente, pela disponibilidade e interesse que demonstrou pelo trabalho realizado.

Ao Engenheiro Eduardo Roque, da Universidade de Aveiro, pela disponibilidade e ajuda que me deu relativamente ao programa utilizado.

À empresa CIVILRIA por proporcionar a realização do estágio curricular, nomeadamente ao Engenheiro Artur Varum, pela disponibilidade e ajuda necessária para os estudos executados e análises dos ensaios acústicos.

Também gostaria de agradecer a todos os meus amigos e colegas, que de alguma forma contribuíram para a conclusão desta etapa, principalmente à Marta que sempre me apoiou incondicionalmente.

Por último, mas não menos importante, a toda a minha família, principalmente aos meus pais e à minha irmã pelo incansável apoio e paciência que tiveram para comigo.



**Palavra chave**

Acústica de edifícios, lei da massa, isolamento sonoro, ensaios acústicos, leis de previsão, simulação numérica.

**resumo**

Este relatório é constituído por um documento no âmbito da unidade curricular Dissertação/ Projeto/ Estágio, do Mestrado Integrado em Engenharia Civil, da Universidade de Aveiro.

O documento é dividido em seis capítulos, onde cada um deles descreve as várias fases do estágio.

Primeiramente encontra-se uma breve apresentação da empresa, os principais objetivos e a organização do relatório. É apresentado também os conceitos de isolamento sonoro a sons aéreos, de percussão e da transmissão marginal.

Um estudo foi realizado com recurso a três abordagens diferentes, para prever a redução sonora e comparar com os resultados dos ensaios elaborados.

É apresentado um grupo de novas soluções, tendo em conta a espessura dos elementos e a redução sonora.

Por fim foram descritas as considerações finais tal como algumas dificuldades sentidas e possíveis desenvolvimentos de estudos futuros.



**Key words**

Buildings acoustics, mass law, sound isolation, acoustic tests, prediction laws, numerical simulation.

**Abstract**

This report consists on a document in the scope of a Internship course of the Integrated Master in Civil Engineering of Aveiro's University.

The document is divided into six chapters, each one describing the various phases of the intership.

Firstly a brief presentation of the company, main goals and the report organization is made.

Then is presented the fundamental concepts of air borne sound isolation, percussion and marginal transmission.

A study was carried out by resourcing to three diferent approaches to predict the sound reduction and compared to in situ test results.

A set of alternative solutions is presented, taking in account the best compromise between the thickness of the elements and sound reduction value.

Finally, final considerations are listed as well as some felt difficulties and potential developments for future studies.



## Índices

---





## Índice Geral

<b>1. Introdução .....</b>	<b>3</b>
1.1. Considerações gerais .....	3
1.2. Apresentação da empresa .....	3
1.3. Motivação e objetivos.....	4
1.4. Estrutura do documento.....	4
<b>2. Acústica de Edifícios.....</b>	<b>9</b>
2.1. Enquadramento .....	9
2.2. Exigências regulamentares .....	9
2.3. Condicionamento acústico no interior.....	10
2.4. Isolamento a sons aéreos .....	13
2.5. Isolamento de sons de percussão .....	17
2.6. Transmissão marginal relativamente a sons aéreos e a sons de percussão.....	19
<b>3. Ensaios de avaliação de soluções construtivas.....</b>	<b>25</b>
3.1. Introdução .....	25
3.2. Equipamento utilizado .....	27
3.3. Tipos de ensaios .....	29
<b>4. Métodos de previsão de isolamento a sons aéreos .....</b>	<b>33</b>
4.1. Lei da Massa – Método simplificado.....	33
4.1.1. Paredes interiores.....	34
4.1.2. Lajes de piso .....	37
4.1.3. Paredes exteriores .....	40
4.2. Previsão analítica através de uma folha de cálculo (Excel).....	40
4.3. Previsão com recurso ao programa INSUL .....	44
4.4. Análise comparativa entre abordagens .....	50
4.5. Síntese final.....	53
<b>5. Propostas de soluções construtivas .....</b>	<b>57</b>
5.1. Introdução .....	57
5.2. Soluções com uso de painéis de magnésio .....	58
5.2.1. Solução de grande espessura com conectores metálicos .....	59

5.2.2. Solução de pequena espessura com conectores metálicos.....	60
5.2.3. Solução de grande espessura com conectores de madeira.....	61
5.2.4. Solução de pequena espessura com conectores de madeira .....	61
5.3. Soluções com uso de painéis de VIROC .....	62
5.3.1. Solução de grande espessura com conectores metálicos .....	63
5.3.2. Solução de pequena espessura com conectores metálicos.....	64
5.3.3. Solução de grande espessura com conectores de madeira.....	65
5.3.4. Solução de pequena espessura com conectores de madeira .....	66
5.4 Comparação das soluções .....	67
<b>6. Considerações Finais.....</b>	<b>73</b>
6.1. Aprendizagem pessoal.....	73
6.2. Principais conclusões.....	73
6.3. Dificuldades sentidas.....	74
6.4. Desenvolvimento de estudos futuros.....	75
<b>Referências bibliográficas .....</b>	<b>79</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>83</b>

## Índice de Figuras

Figura 1 – Instalações CIVILRIA .....	3
Figura 2 – Tempos “ótimos” de reverberação, a 500 Hz, para diferentes tipos de utilização [3] .....	13
Figura 3 – Caminhos de transmissão possíveis entre duas salas adjacentes [3].....	14
Figura 4 – Descrição convencional de referência para sons aéreos (de acordo com EN ISO 717-1) [3].....	16
Figura 5 – Ajustamento da descrição convencional de referência [3].....	17
Figura 6 – a) situação específica de criação de ruídos de percussão, b) e c) exemplos de medidas de correção para melhoramento do isolamento de percussão [5].....	18
Figura 7 – Descrição convencional de referência para sons de percussão (de acordo com EN ISO 717-2) [3] .....	19
Figura 8 – Ajustamento da descrição convencional de referência [3].....	19
Figura 9 – Esquema exemplificativo da influência da transmissão marginal em elementos homogêneos [4] .....	20
Figura 10 – Fluxograma da primeira parte do estudo executado .....	26
Figura 11 – Equipamento utilizado nos ensaios .....	28
Figura 12 – Ensaio a sons aéreos entre compartimentos [w.8] .....	29
Figura 13 – Ensaio a sons aéreos da fachada [w.9].....	29
Figura 14 – Diagrama de estimação do índice de isolamento sonoro em função da sua massa superficial.....	34
Figura 15 – Interpretação do diagrama para o elemento P1 .....	35
Figura 16 – Interpretação do elemento P2.....	35
Figura 17 – Interpretação do elemento P3.....	36
Figura 18 – Interpretação do elemento P4.....	37
Figura 19 – Interpretação do elemento L1 .....	38
Figura 20 – Interpretação do elemento L2 .....	39
Figura 21 – Interpretação do elemento L3 .....	40
Figura 22 – Fluxograma da previsão analítica através de uma folha de cálculo (EXCEL) 41	

Figura 23 – Dados gerais do elemento direto em estudo.....	41
Figura 24 – Tipos de junções.....	42
Figura 25 – Características dos elementos adjacentes ao elemento de avaliação .....	42
Figura 26 – Valores de $R_w$ obtidos através da folha de cálculo .....	43
Figura 27 – Fluxograma da previsão de $R_w$ com recurso ao programa INSUL .....	45
Figura 28 – Menu inicial - contém as opções de cálculo de sons aéreos e sons de percussão (fonte: INSUL) .....	46
Figura 29 – Menu inicial – referente aos vários tipos de elementos (painéis) e definição das várias camadas de materiais no mesmo elemento (Layers) (fonte: INSUL).....	47
Figura 30 – Menu inicial – referente ao tipo de caixa de ar e às suas dimensões (fonte: INSUL).....	47
Figura 31 – Submenu referente às características dos materiais introduzidos (fonte: INSUL).....	48
Figura 32 – Submenu referente às características dos materiais que envolve as transmissões marginais (fonte: INSUL).....	49
Figura 33 – Submenu referente às dimensões do elemento e da envolvente (fonte: INSUL) .....	49
Figura 34 – Fluxograma da segunda parte do estudo executado.....	58
Figura 35 – Solução de grande espessura com os conectores “ <i>Metallstander 25g</i> ” – Solução SM1 .....	59
Figura 36 – Solução de pequena espessura com os conectores “ <i>Metallstander 25g</i> ” – Solução SM2 .....	60
Figura 37 – Solução de grande espessura com os conectores “ <i>Soporte antivibratorio em Montante de Madeira</i> ” – Solução SM3.....	61
Figura 38 – Solução de pequena espessura com os conectores “ <i>Soporte antivibratorio em Montante de Madeira</i> ” – Solução SM4 .....	62
Figura 39 – Solução de grande espessura com os conectores “ <i>Metallstander 25g</i> ” – Solução SV1 .....	64
Figura 40 – Solução de pequena espessura com os conectores “ <i>Metallstander 25g</i> ” – Solução SV2 .....	65
Figura 41 – Solução de grande espessura com os conectores “ <i>Soporte antivibratorio em Montante de Madeira</i> ” – Solução SV3.....	66

Figura 42 – Solução de pequena espessura com os conectores “ <i>Soporte antivibratorio em Montante de Madeira</i> ” – Solução SV4 .....	67
---	----



## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Requisitos de $D_{nT,w}$ em edifícios habitacionais e mistos [4]. .....	10
Tabela 2 – Descrição dos tipos de paredes analisadas.....	26
Tabela 3 - Descrição dos tipos de lajes analisadas .....	27
Tabela 4 – Resultados obtidos pela folha de cálculo através dos valores de ensaios para as paredes.....	43
Tabela 5 – Resultados obtidos pela folha de cálculo através dos valores de ensaio para as lajes.....	44
Tabela 6 – Valores de $R_w$ obtidos no programa INSUL.....	50
Tabela 7 – Resumo de valores das várias abordagens estudadas relativamente às paredes	50
Tabela 8 – Resumo de valores das várias abordagens estudadas relativamente às lajes.....	51
Tabela 9 – Características dos materiais utilizados nas várias soluções apresentadas com o painel de magnésio .....	59
Tabela 10 – Características dos materiais utilizados nas varias soluções apresentadas com o painel de VIROC .....	63
Tabela 11 – Tabela resumo das soluções apresentadas com painel de Magnésio.....	68
Tabela 12 – Tabela resumo das soluções apresentadas com painel de VIROC .....	69





## Nomenclatura dos ensaios

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

(dB)

$D_{n,w}$  – Isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado, entre compartimentos

(dB)

$D_{2m,nT,w}$  – Isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado, em fachadas (dB)

$f$  – Frequência (Hz)

$f_0$  – Frequência de ressonância do sistema (Hz)

$m$  – Massa volúmica ( $\text{kg/m}^2$ )

$R_w$  – Índice de redução sonora de elementos construtivos (dB)

$R_w(C,C_{tr})$  – Índice de redução sonora dos elementos construtivos com termos de adaptação

(dB)

$R'_w$  – Índice de redução sonora aparente (dB)

$T_0$  – Tempo de reverberação de referência (s)

$T_r$  – Tempo de reverberação (s)

$A$  – Área de absorção sonora equivalente ( $\text{m}^2$ )

$A_0$  – Área de absorção sonora de referencia ( $\text{m}^2$ )

$L_{eq}$  – Nível contínuo de pressão sonora equivalente (dB)

$L_i$  – Nível médio da pressão sonora de percussão medido (dB)

$L_n$  – Nível de pressão sonora a sons de percussão medido “in situ” (dB/oit.; ou dB/(oit./3))

$L'_n$  – Nível de pressão sonora a sons de percussão medido em laboratório (dB/oit.; ou

dB/(oit./3))

$L'_{n,w}$  – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão medido “in situ” (dB/(oit./3))

$L_{n,w}$  – Índice de isolamento sonoro a sons de percussão medido em laboratório (dB/(oit./3))

$\Delta L$  – Redução do nível de pressão sonora para sons de percussão (dB)

$\Delta L_w$  – Índice de redução sonora para sons de percussão (dB)

# Capítulo 1 - Introdução

---

# CAPÍTULO 1

## 1. Introdução

- 1.1 Considerações gerais
- 1.2. Apresentação da empresa
- 1.3. Motivação e objetivos
- 1.4. Estrutura do documento

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Considerações gerais

O presente documento tem como objetivo apresentar o estágio curricular integrado no plano curricular do Mestrado Integrado em Engenharia Civil, realizado no ano letivo de 2017/2018, teve como principais objetivos o estudo e a análise do comportamento acústico de soluções construtivas ensaiadas em diversos edifícios e diferentes situações, sistematização da informação dos ensaios executados, estudo de soluções alternativas para o isolamento sonoro de edifícios de habitação e sua avaliação numérica.

Este relatório, debruça-se sobre várias obras construídas pela empresa CIVILRIA e o trabalho desenvolvido durante o estágio passou pela definição de novas soluções construtivas para melhorar o isolamento sonoro, recorrendo a modelação numérica, para precisão da eficiência das soluções acústicas propostas.

A necessidade de um conforto acústico adequado em edifícios tem vindo a aumentar, existindo uma maior exigência nesse campo, por parte dos habitantes. A qualidade de habitabilidade e bem-estar das pessoas é cada vez mais importante, pois influência de forma determinante, e sobre múltiplos aspetos o dia-a-dia dos moradores, determinando a sua qualidade de vida, as suas expectativas e possibilidades de desenvolvimento futuro.

## 1.2. Apresentação da empresa

A CIVILRIA foi fundada em 1991, com sede na Rua Cristóvão Pinho Queimado, N°33, P3, Aveiro com atividade a nível nacional.



Figura 1 – Instalações CIVILRIA

Esta empresa desenvolve atividade na área do mundo imobiliário atuando desde a concepção do projeto, passando pela construção e comercialização.

A CIVILRIA é constituída por administradores, arquitetos, engenheiros, encarregados e administrativos, sendo uma empresa inovadora, na vanguarda da engenharia e arquitetura, com uma marca de qualidade no mercado.

### **1.3. Motivação e objetivos**

Este estágio surge como o trabalho final da conclusão do curso de Engenharia Civil. A escolha deste tema foi primeiramente por ser um tema integrado num estágio numa empresa, seguidamente pela preocupação de como os edifícios atuais estão construídos e como é muito incomodativo os ruídos aéreos e de impacto, sendo cada vez mais uma preocupação em estudar e solucionar novas ideias para as construções futuras.

Este interesse, num estágio curricular surgiu no âmbito da integração e preparação para a entrada no mercado de trabalho como engenheira civil, permitindo uma melhor adaptação no futuro. A escolha do tema da acústica de edifícios foi devido à preocupação do elevado ruído nos edifícios atuais e o seu isolamento.

Este estágio curricular tem como objetivo, a participação e desenvolvimento das seguintes atividades:

- Sistematização da informação dos ensaios acústicos executados;
- Avaliação numérica de soluções de isolamento acústico, através do software INSUL;
- Análise do desempenho de propostas de soluções alternativas para o isolamento sonoro;

Assim, pretende-se estudar melhor o desempenho acústico de várias soluções construtivas, procurando corresponder às exigências funcionais definidos nos regulamentos.

### **1.4. Estrutura do documento**

O presente relatório encontra-se dividido em 6 capítulos, referências bibliográficas e anexos.

No presente capítulo é descrito as considerações gerais ao tema do estágio, uma breve apresentação da empresa, quais os objetivos a atingir com a realização do estágio.

No capítulo 2 é feita uma abordagem teórica do conceito de isolamento a sons aéreos e a sons de percussão, tal como uma breve apresentação das expressões de cálculo. Neste capítulo também é feita uma descrição das exigências regulamentares e a definição de transmissões marginais.

No capítulo 3 e 4 são apresentados os tipos de instrumentos que se utilizam na execução dos ensaios de medições acústicas, tanto na análise de sons aéreos como de percussão, assim como a descrição dos tipos de ensaios executados. Também neste capítulo apresentam-se três tipos de métodos utilizados para a previsão de isolamento a sons aéreos e uma análise comparativa entre os valores obtidos desse estudo, em que os métodos utilizados são o da Lei da Massa, o programa INSUL e uma folha de cálculo previamente estudada e executada.

No capítulo 5 são propostas várias soluções de elementos construtivos de paredes interiores, relativamente a um estudo de isolamento a sons aéreos executado por um programa de cálculo, apresentando as características dos materiais e resultados de cada solução.

No capítulo 6, o último capítulo, são apresentadas as conclusões finais do relatório de estágio, são enumeradas várias dificuldades sentidas durante o estágio e descritos alguns desenvolvimentos de estudos futuros.

Também constam anexos, do A ao F, que complementam aos estudos efetuados, nomeadamente os resultados obtidos pelo INSUL e os estudos paramétricos, de soluções existentes. Também são apresentados os resultados obtidos pelo INSUL de duas das soluções alternativas propostas.





## **Capítulo 2 – Acústica de Edifícios**

---

## **CAPÍTULO 2**

### 2. Acústica de Edifícios

- 2.1. Enquadramento
- 2.2. Exigências regulamentares
- 2.3. Condicionamento acústico no interior
- 2.4. Isolamento a sons aéreos
- 2.5. Isolamento a sons de percussão
- 2.6. Transmissão marginal
- 2.7. Síntese final

## **2. ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS**

### **2.1. Enquadramento**

Cada vez mais tem-se verificado o aumento gradual do nível sonoro na generalidade dos ambientes, devido ao desenvolvimento da concentração urbana e à mecanização generalizada de todos os equipamentos. Isto leva a que haja uma maior preocupação com os requisitos acústicos dos edifícios, fomentando o desenvolvimento de novas soluções construtivas, novas matérias e de novos métodos de previsão do comportamento acústico dos edifícios.

O conforto acústico já há muito tempo se considera importante para a saúde e o bem estar dos habitantes, pois os efeitos do ruído sobre o ser humano pode causar perda auditiva, dor de cabeça, problemas gastrointestinais, incomodidade, problemas psíquicos (stress e irritabilidade), perturbações no sono e efeitos negativos no desempenho de aprendizagem e no trabalho[1] [2].

É importante que seja realizado um estudo das condições acústicas do local antes de realizar o projeto, pois o projeto de uma edificação considerando o conforto acústico com esse estudo é uma mais valia para a saúde e bem-estar do ser humano.

O ruído propaga-se por vários caminhos, o que dificulta a previsão do isolamento sonoro. De uma forma geral, a transmissão sonora de um compartimento para outro é efetuada por transmissões diretas, ou seja, quando existe um elemento de separação comum aos dois compartimentos, e transmissões secundárias, ou seja, através dos elementos adjacentes ou de espaços laterais.

Para se obter elevados níveis de conforto e comodidade nas habitações é necessário executar um bom isolamento acústico, para tal a elaboração de um bom projeto de condicionamento acústico será essencial, havendo uma boa coordenação com as outras especialidades, como o projeto de arquitetura e estruturas, para que na execução da obra não haja incompatibilidades e a ocorrência de erros [2].

### **2.2. Exigências regulamentares**

A regulamentação existente em vigor, no que respeita às condições acústicas, é apresentada no Regulamento Geral do Ruído (RGR), e como complemento a este regulamento, destacam-se mais sete documentos legais específicos, em vigor: Regulamento de Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), com vista à melhoria das condições de qualidade acústica dos edifícios; Decreto-Lei nº 146/2006, de 31 de Julho, relativo à avaliação e gestão do ruído ambiente; Regulamento da Emissões Sonoras e Equipamentos para Utilização no Exterior (RESEUE), relativo ao controlo sonoro dos equipamentos para utilização no exterior (fora dos edifícios); Decreto-Lei nº182/2006, de 6 de Setembro, relativo à exposição ao ruído em locais de trabalho; Decreto-Lei nº 46/2006, de 24 de Fevereiro, relativo à exposição a vibrações em locais de trabalho; Decreto-Lei nº 310/2002, de 18 de Dezembro, relativo ao funcionamento de espetáculos de natureza desportiva e divertimentos públicos nas vias, jardins e demais lugares públicos ao ar livre; Portaria nº 113/2015, de 22 de Abril, que indica quais os elementos que devem instruir os pedidos de realização de operações urbanísticas [3].

De seguida, será apresentada na Tabela 1, uma síntese dos requisitos para o isolamento sonoro a ruídos aéreos para elementos interiores incluindo o efeito de transmissões marginais ( $D_{nT,w}$ ) existentes no RRAE.

Tabela 1 - Requisitos de  $D_{nT,w}$  em edifícios habitacionais e mistos [4].

Situação	Requisito mínimo regulamentar (dB)
Entre quartos e/ou zonas de estar de fogos diferentes	50
Entre zonas de circulação e quartos ou zonas de estar	48 40 (nas escadas) 50 (com garagem)
Entre fogos e locais destinados a indústria	58

### 2.3. Condicionamento acústico no interior

Não sendo o cerne deste trabalho, mas reconhecendo que é necessário conhecer algumas grandezas e parâmetros, é descrita de forma sumária os princípios e principais aspetos envolvidos. A descrição do campo sonoro no interior de um recinto fechado não inclui tarefa simples, por um lado devido à natureza físico-matemática para o tratamento do problema, por outro lado a complexidade em traduzir quantitativamente os processos de dissipação de energia sonora no ar e na envolvente com formas geométricas muitas vezes complexas [1].

Existem três teorias básicas para a descrição do campo sonoro: a teoria ondulatória, que estuda o fenómeno físico real de espaços fechados, obtendo-se as expressões que permitem conhecer as frequências próprias, bem como a densidade do espectro de frequências; a teoria geométrica, sendo uma descrição muito simplificada do campo sonoro, a onda sonora é substituída por raio sonoro, tendo a consequência de apenas ser válida para frequências muito altas (pequeno comprimento de onda) e onde o campo sonoro não é difuso; a teoria estática, aplica-se na maior parte dos recintos fechados, mas nem sempre conduz a resultados muito exatos, sobretudo para frequências muito baixas e para recintos irregulares e/ou com grande heterogeneidade nas características de absorção sonora e recheio existente [3].

O principal parâmetro caracterizador do condicionamento acústico de um recinto é o tempo de reverberação. Por definição, o tempo de reverberação ( $T_r$ ) corresponde ao tempo necessário para se atingir uma diminuição do nível sonoro de 60 dB, após a paragem da fonte sonora.

O tempo de reverberação é dependente do volume e da área de absorção do recinto. Para o cálculo, as expressões mais utilizadas são a de SABINE, a de EYRING e a de MILLINGTON, representadas pelas equações (1), (2) e (3) respetivamente [5].

$$T_r = \frac{0.16 \cdot V}{\sum S_i \cdot \alpha_i} \quad (1)$$

Em que:

$V$  - volume do recinto;

$S_i$  – área do material  $i$ , pertencente à envolvente do espaço;

$\alpha_i$  - coeficiente de absorção do material.

$$T_r = \frac{0.07 * V}{(-S * \text{Log}(1 - \alpha_{\text{médio}}))} \quad (2)$$

Em que :

S - área da superfície da sala (m<sup>2</sup>);

$\alpha_{\text{médio}}$  - coeficiente de absorção médio da envolvente da sala.

$$T_r = \frac{0.07 * V}{(-S * \text{Log}(1 - \alpha_i))} \quad (3)$$

Assim, uma forma de alterar o valor do tempo de reverberação, é alterar a forma do compartimento ou qualquer outra das características que o influenciam.

Outro parâmetro igualmente importante, para se conseguir obter o isolamento desejado de um compartimento, é o coeficiente de absorção sonora ( $\alpha$ ), sendo uma característica de cada material e difere na sua capacidade de absorção. Assim os materiais podem ser classificados em três tipos:

- Materiais porosos ou fibrosos (absorvem melhor para as frequências elevadas compreendidas entre 1600 Hz e 6400 Hz);
- Membranas (melhor absorção para baixas frequências compreendidas entre 100 Hz e 400 Hz);
- Ressonadores (melhor absorção para médias frequências compreendidas entre 400Hz e 1600 Hz) [5].

No geral, o tempo de reverberação adequado de uma sala, depende fundamentalmente do seu volume e o fim a que se destina. Para cada função existe tempos ótimos de reverberação, como se pode demonstrar na Figura 2 [3].

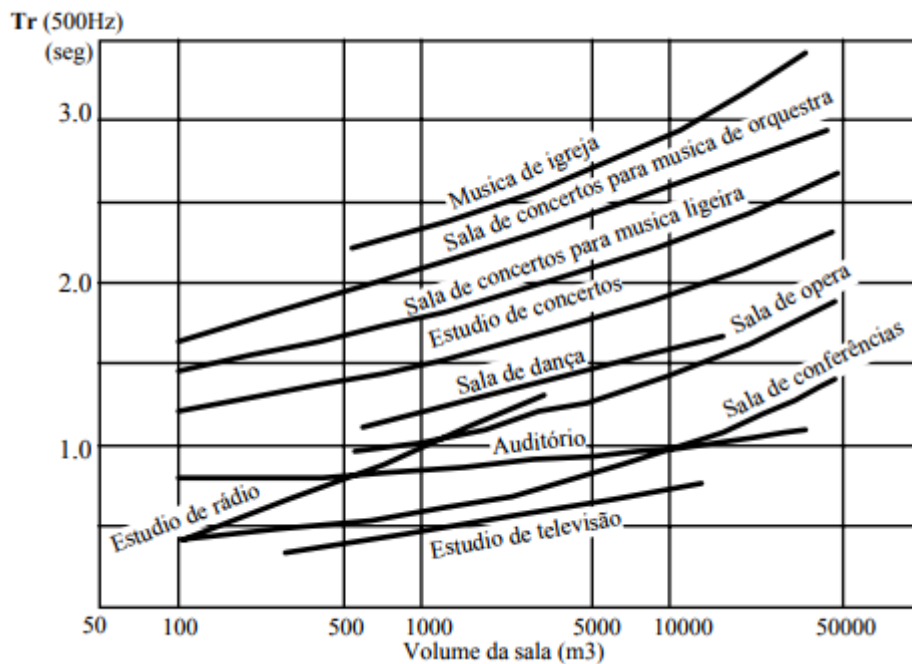
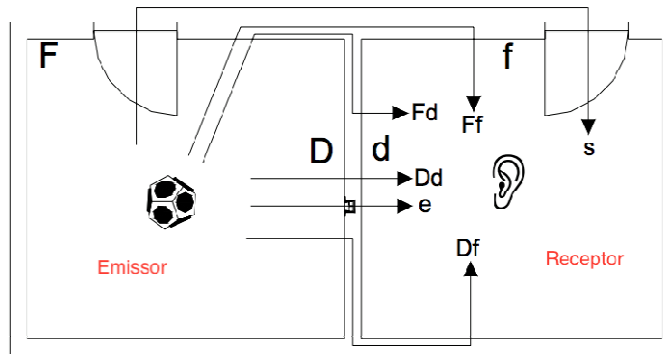


Figura 2 – Tempos “ótimos” de reverberação, a 500 Hz, para diferentes tipos de utilização [3]

## 2.4. Isolamento a sons aéreos

Um dos aspetos de maior relevância no conforto acústico dos edifícios prende-se com o isolamento a sons aéreos, a assegurar-se tanto pelos elementos constituintes das fachadas como da compartimentação interior. Deste modo, é muito importante que na fase de projeto seja contabilizada a avaliação do isolamento sonoro, em conformidade com o disposto nas exigências funcionais estabelecidas e suportadas pela regulamentação vigente, de forma a que o ambiente no interior dos edifícios satisfaça os padrões de conforto adequados [6].

A transmissão de sons aéreos entre dois compartimentos é um fenómeno complexo que envolve normalmente, transmissões diretas e transmissões secundárias. A transmissão direta é quando existe um elemento de separação comum entre dois compartimentos e quando eventualmente existe um ponto fraco de isolamento, por exemplo uma caixa embutida na parede. As transmissões secundárias ocorrem através de elementos adjacentes ou de espaços laterais, sendo classificadas em transmissões marginais as que se processam entre elementos de compartimentação adjacentes ao elemento de separação e transmissão aérea indireta as que se processam através de portas ou de condutas de ventilação, como se pode verificar na Figura 3, os diferentes tipos de transmissões [3].



Dd – Transmissão direta;  
 e – Transmissão direta através de “pontos fracos”;  
 Df, Ff e Fd – Transmissão marginal através dos elementos de compartimentação adjacentes;  
 s – Transmissão indireta (parasitas).

Figura 3 – Caminhos de transmissão possíveis entre duas salas adjacentes [3]

A caracterização do isolamento sonoro dos elementos de separação dos edifícios é feita através do índice de redução sonora, R. Este índice é obtido através de ensaios efetuados em laboratório, não incluindo a contribuição da transmissão marginal. A transmissão marginal só é quantificada, quer para sons aéreos, quer para sons de percussão, nos ensaios *in situ*. Para que se possa prever em fase de projeto, com o mínimo de erro possível, o comportamento do edifício em relação ao isolamento sonoro, é importante possuir métodos de cálculo que tenham em conta estas transmissões, tendo em conta os índices de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea ( $D_{nT,w}$ ) e ( $D_{2m,nT,w}$ ).

O parâmetro  $D_{nT}$  representa o valor do isolamento sonoro de condução aérea padronizado em cada banda de frequência, medido *in situ*, e o termo n significa que é um valor padronizado para a área de absorção sonora equivalente de  $10 \text{ m}^2$  [4].

No parâmetro  $D_{nT,w}$ , o termo w significa que este é um valor único, um índice que quantifica o isolamento sonoro a sons aéreos dos elementos de compartimentação, pavimentação e paredes. Tendo vários valores de  $D_{nT}$  (uma para cada banda de frequência) e ajustando com a curva de referência normalizada da NP EN ISO 717-1 obtêm-se o  $D_{nT,w}$ , como se pode verificar na equação 4.

O parâmetro  $D_{2m,nT,w}$  significa o mesmo que o  $D_{nT,w}$ , mas para elementos em contacto com o exterior, o termo 2m significa que no processo de medições o microfone é colocado a dois metros da superfície da fachada, estando representado na equação 5 [4].

$$D_{nT,w} = D_{n,w} + 10 * \text{Log} \left( \frac{0.016 * V}{T_0} \right) \quad (4)$$



$$D_{2m,nT,w} = D_{2m,n,w} + 10 * \text{Log} \left( \frac{0.016 * V}{T_0} \right) \quad (5)$$

Em que:

$D_{n,w}$  e  $D_{2m,n,w}$  – parâmetros utilizados pela legislação em vigor.

$V$  – Volume do compartimento recetor;

$T_0$  – tempo de reverberação, igual a 0.5 s para situações correntes e  $T$  quando o requisito de tempo de reverberação é aplicável;

Para o cálculo da quantificação do índice de redução sonora  $R$ , em laboratório, utiliza-se a seguinte equação:

$$R = L_1 - L_2 + 10 * \text{Log} \left( \frac{S * T_r}{0.16 * V} \right) \quad (6)$$

Em que:

$L_1$  e  $L_2$  – níveis médios de pressão sonora medidos na camara emissora e na camara recetora, respetivamente, em dB;

$T_r$  – média dos tempos de reverberação medidos na camara recetora, em segundos;

$V$  – Volume da camara recetora, em  $m^3$ .

$S$  – Área do provete de ensaio, em  $m^2$ ;

Sendo as medições feitas *in situ*, determina-se o isolamento sonoro de sons de condução aérea normalizados,  $D_n$ , pela seguinte equação:

$$D_n = L_1 - L_2 + 10 * \text{Log} \left( \frac{A_0 * T_r}{0.16 * V} \right) \quad (7)$$

Sendo  $A_0$  a área de absorção sonora de referência, que para compartimentos habitacionais ou com dimensões comparáveis é de  $10 m^2$ .

Para a caracterização do isolamento de fachadas, de acordo com a norma EN ISO 140-5, o isolamento sonoro de sons de condução aérea normalizado,  $D_{2m,n}$ , é obtido pela seguinte equação:

$$D_{2m,n} = L_{1,2m} - L_2 + 10 * \text{Log} \left( \frac{A_0 * T_r}{0.16 * V} \right) \quad (8)$$

Em que:

$L_{1,2m}$  – nível médio de pressão sonora medido a 2 m da fachada do edifício.

Para a avaliação da conformidade do isolamento sonoro a sons aéreos, de acordo com os requisitos legais e recomendados, a quantificação do isolamento pode ser realizada através dos índices  $R_w$ ,  $D_{n,w}$  ou  $D_{2m,n,w}$ , obtendo um valor único, ajustando a uma descrição convencional de referência às curvas de isolamento  $R$ ,  $D_n$  ou  $D_{2m,n}$ , respetivamente, como se pode ver na Figura 4.

A descrição convencional de referência se encontra ajustada a uma curva de isolamento quando o valor médio dos desvios desfavoráveis é o maior possível sem ultrapassar dois decibéis, Figura 5. Um desvio é considerado desfavorável, numa determinada banda de frequências, quando o valor da curva de isolamento é inferior ao da curva de referência. Após o ajustamento das curvas, o índice de isolamento  $R_w$ ,  $D_{n,w}$  ou  $D_{2m,n,w}$  corresponde ao valor da ordenada da descrição convencional de referência para a frequência de 500 Hz [3].

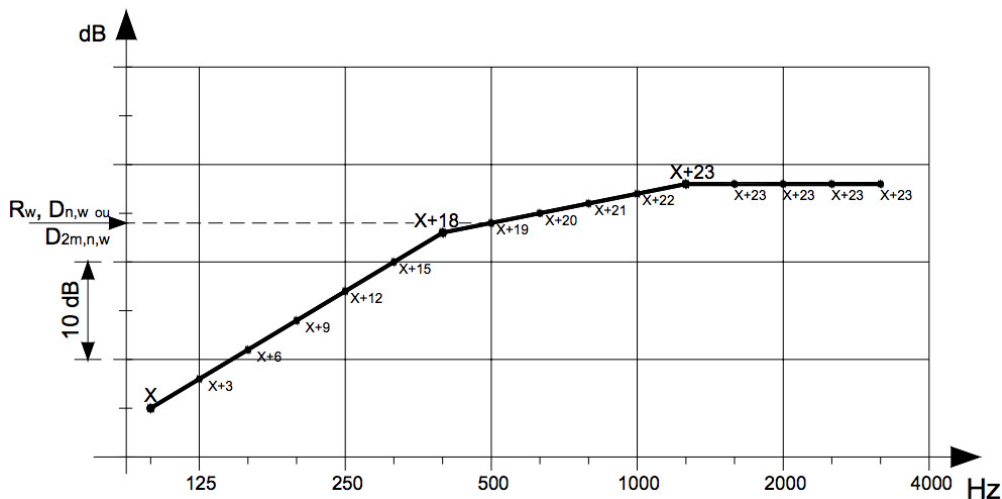


Figura 4 – Descrição convencional de referência para sons aéreos (de acordo com EN ISO 717-1) [3]

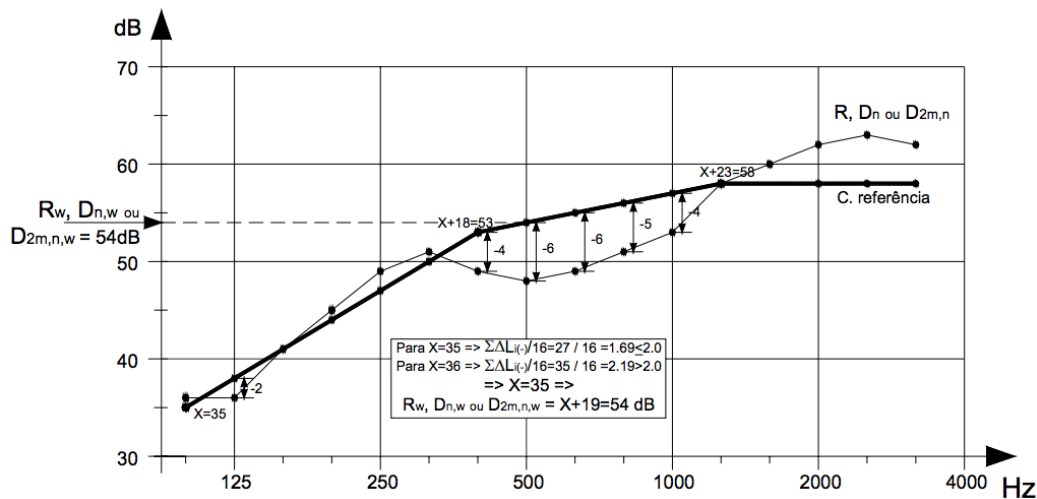


Figura 5 – Ajustamento da descrição convencional de referência [3]

## 2.5. Isolamento de sons de percussão

O estudo do isolamento a sons de percussão tem uma maior insistência relativamente aos pavimentos, pois resultam de ações de choque exercidas diretamente sobre um elemento de compartimentação, Figura 6a) e sendo com pouca frequência sobre as divisórias verticais (paredes). A ação sobre os pavimentos tem características muito diversas, tais como por exemplo o caminhar das pessoas, o arrastar de mobiliário e o facto de quase todos os eletrodomésticos estarem apoiados diretamente no pavimento. Assim sendo, é muito difícil definir os estados de vibração característicos [7]. A maneira mais eficaz para melhorar o isolamento nestes casos, é atuar sobre os revestimentos das superfícies, tornando-as mais resilientes, ou seja a aplicação de um aglomerado de cortiça entre a laje e a betonilha armada, tendo o aglomerado negro de cortiça continuidade entre os compartimentos e colocando também o aglomerado entre a betonilha e a parede e no interior da parede como se demonstra na Figura 6b), ou sobre a continuidade dos elementos, “cortando-os”, reduzindo a capacidade de propagação dos estímulos, ou seja se a laje não tiver continuidade de um compartimento para o outro adjacente e na sua ligação for aplicado um material elástico a transmissão de vibrações vai diminuir, pois estas na sua grande maioria são absorvidas por esse material, como se exemplifica na Figura 6c) [5].

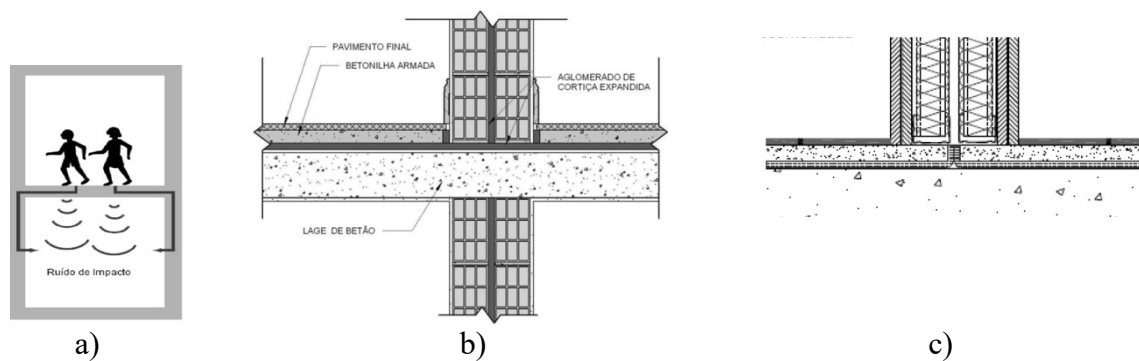


Figura 6 – a) situação específica de criação de ruídos de percussão, b) e c) exemplos de medidas de correção para melhoramento do isolamento de percussão [5].

Para se obter valores de isolamento sonoro a ruídos de percussão de um pavimento podem utilizar-se duas metodologias, em laboratório (sendo que não se contabiliza as transmissões marginais) ou *in situ* (neste caso já contabilizando as transmissões marginais).

Deste modo, a avaliação do isolamento a este tipo de ruídos é feita através de ensaios sob uma ação de percussão normalizada (EN ISO 16283-3). O ruído resultante das vibrações internas provocadas pelo ensaio normalizado, permite avaliar os níveis de pressão sonora médios medidos no compartimento recetor ( $L_i$ ), sendo corrigidos o tempo de reverberação ( $T$ ), obtendo assim o índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão, quando medido *in situ*, padronizado ( $L'_{nT}$ ), apresentado na equação 9 [3].

$$L'_{nT} = L_i - \text{Log} \left( \frac{T}{T_0} \right) \quad (9)$$

Em que:

$L'_{nT}$  – índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão.

$L_i$  – níveis de pressão sonora do compartimento recetor;

$T$  - Tempo de reverberação no compartimento recetor;

$T_0$  – tempo de reverberação de referência (0.5 s para situações correntes);

Os valores obtidos nos ensaios para se tornarem regulamentares, estão sujeitos a uma descrição convencional de referência, Figura 7, para se obter um ajustamento das curvas de nível padronizado, Figura 8 [3].

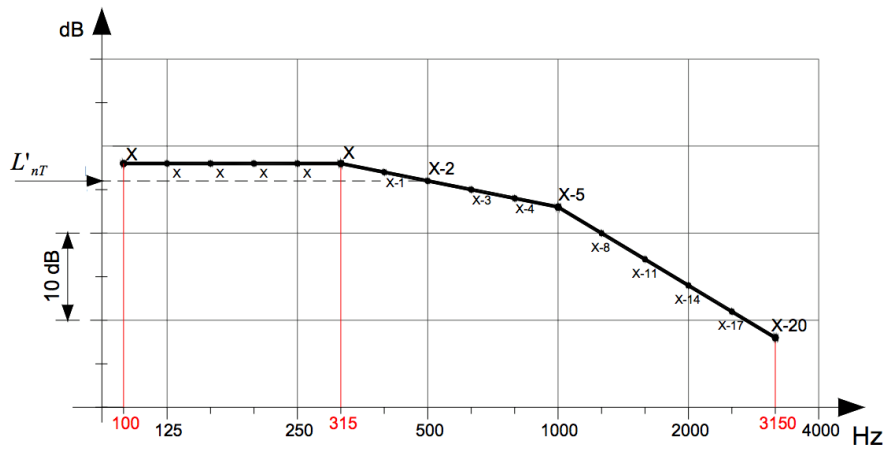


Figura 7 – Descrição convencional de referência para sons de percussão (de acordo com EN ISO 717-2) [3]

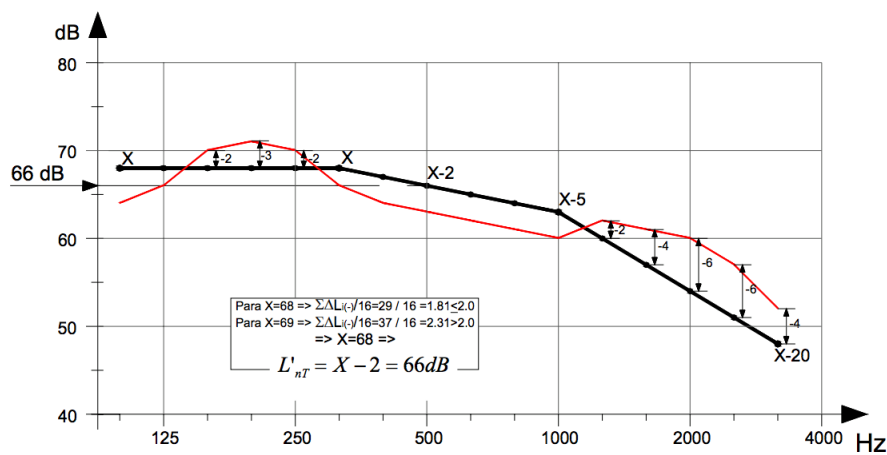


Figura 8 – Ajustamento da descrição convencional de referência [3]

## 2.6. Transmissão marginal relativamente a sons aéreos e a sons de percussão

A transmissão marginal no que diz respeito aos sons aéreos, tem sido considerada até recentemente de uma forma algo grosseira.

Esta transmissão só é efetivamente contabilizada, nos índices de isolamento sonoro a sons aéreos e de percussão, quando são realizados ensaios em obra, pois nos ensaios em laboratório não integram a influência da transmissão marginal [4].

A contabilização das transmissões marginais no cálculo do índice de redução sonora é importante que se estude dois compartimentos, através do seu elemento de separação.

Um dos métodos utilizados baseia-se no conhecimento da relação entre as características de isolamento sonoro do elemento de separação principal e as da envolvente dos compartimentos, tendo em consideração as classes de contribuição da transmissão marginal, e de correção de valores dos resultados obtidos quer em ensaios laboratoriais, quer por métodos de cálculo. Sendo as classes divididas em:

- Para valores de índice de isolamento a sons aéreos de  $R_w \leq 35$  dB, a contribuição da transmissão marginal é considerada desprezável, sendo  $R_w = R'_w$ ;
- Para valores de índice de isolamento sonoro a sons aéreos compreendidos entre 35 e 45 dB, a contribuição da transmissão marginal, considera-se uma redução do  $R_w$  de 3 dB, sendo  $R'_w = R_w - 3$ ;
- Para valores de  $R_w$  superiores a 45 dB a contribuição da transmissão marginal poderá ser considerável, não sendo fácil a previsão de  $R'_w$  [6]

Um segundo critério utilizado baseia-se na relação entre as espessuras dos elementos de compartimentação homogéneos concorrentes num ponto. Sendo que, para elementos de compartimentação homogéneos e do mesmo tipo, as variações de espessura encontram-se diretamente relacionadas com a variação da massa superficial, relacionando-se esta quase proporcionalmente com o isolamento sonoro assegurado pelo elemento, o princípio é semelhante. Estando as situações deste método ilustradas na Figura 9, sendo  $w_i$  a representação qualitativa da transmissão sonora por via indireta e  $w_d$  a que se processa por via direta [4].

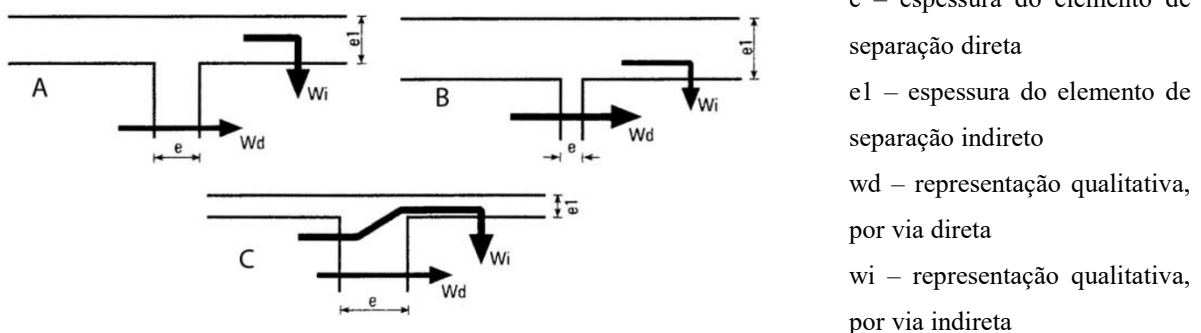


Figura 9 – Esquema exemplificativo da influência da transmissão marginal em elementos homogéneos [4]

Assim, como se pode demonstrar na Figura 9, tem-se que:

- Para a situação A, quando a massa por unidade de superfície do elemento de separação é igual à do elemento adjacente, a transmissão marginal é igual à transmissão direta, o que implica uma redução de 3 dB no valor de  $R_w$ , ou seja,  $R'_w = R_w - 3$ ;
- Para a situação B, em que a massa superficial do elemento de separação principal é muito menor, que a do elemento adjacente, a transmissão ocorre principalmente pelo elemento de separação, desprezando assim a transmissão marginal, ou seja,  $R'_w = R_w$ ;
- Para a situação C, sendo a massa superficial do elemento de separação muito maior à do elemento adjacente, a transmissão marginal será significativa, pois a energia sonora propaga-se quase na sua totalidade por esse elemento, ou seja, havendo uma redução do  $R_w$  [4].

## 2.7. Síntese final

Por parte da sociedade, enquanto não houver uma maior valorização na importância para a acústica relativamente ao fator de qualidade de vida, é imposto a adoção de medidas capazes de minimizar os efeitos negativos produzidos por sons perturbadores [8].

Os problemas causados pelos ruídos são vários, desde o ruído causado pela proximidade de grandes vias estruturantes, de indústrias com atividades ruidosas, de locais de diversão noturna, ruído de vizinhança entre outros. Assim, para combater a necessidade de criar um ambiente urbano acusticamente mais saudável e proporcionar espaços com características acústicas capazes de absorverem os ruídos envolventes, cabe ao projetista intervir e criar soluções que aumentem a qualidade dos espaços aumentando a qualidade de vida das pessoas que os habitam [8].

No capítulo seguinte serão analisadas várias soluções executadas em obra, em prol do isolamento acústico.





## **Capítulo 3 – Ensaio de avaliação de soluções construtivas**

---

## **CAPÍTULO 3**

### 3. Ensaios de avaliação de soluções construtivas

- 3.1. Introdução
- 3.2. Equipamento utilizado
- 3.3. Tipos de ensaios

## **3. ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS**

### **3.1. Introdução**

No projeto de acústica é necessário cumprir algumas exigências funcionais com vista ao conforto acústico, por forma a proporcionar uma utilização plena às necessidades dos utentes.

De forma a garantir o cumprimento dos requisitos do RRAE e evitar correções muitas vezes dispendiosas após o edifício estar concluído, é crucial que em fase de projeto os índices de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão entre compartimentos sejam estimados adequadamente. Para tal, é importante possuir ferramentas de cálculo de acordo com métodos normalizados que, de uma forma expedita, permitam prever o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea e a sons de percussão entre compartimentos [9].

Na generalidade, não é possível destacar materiais ou soluções que permitem um elevado desempenho acústico simultaneamente no condicionamento acústico interior, no isolamento a sons aéreos e no isolamento a sons de percussão, pois o mesmo material pode ter desempenhos variáveis, em função das condições de aplicação e da combinação com outros materiais [3].

Foram realizados e analisados ensaios em diferentes obras da empresa CIVILRIA, com diversas soluções, incluindo paredes simples e paredes duplas, em alvenaria de tijolo e betão e vários tipos de lajes.

Na Figura 10, apresenta-se o fluxograma síntese trabalho executado e desenvolvido neste capítulo.

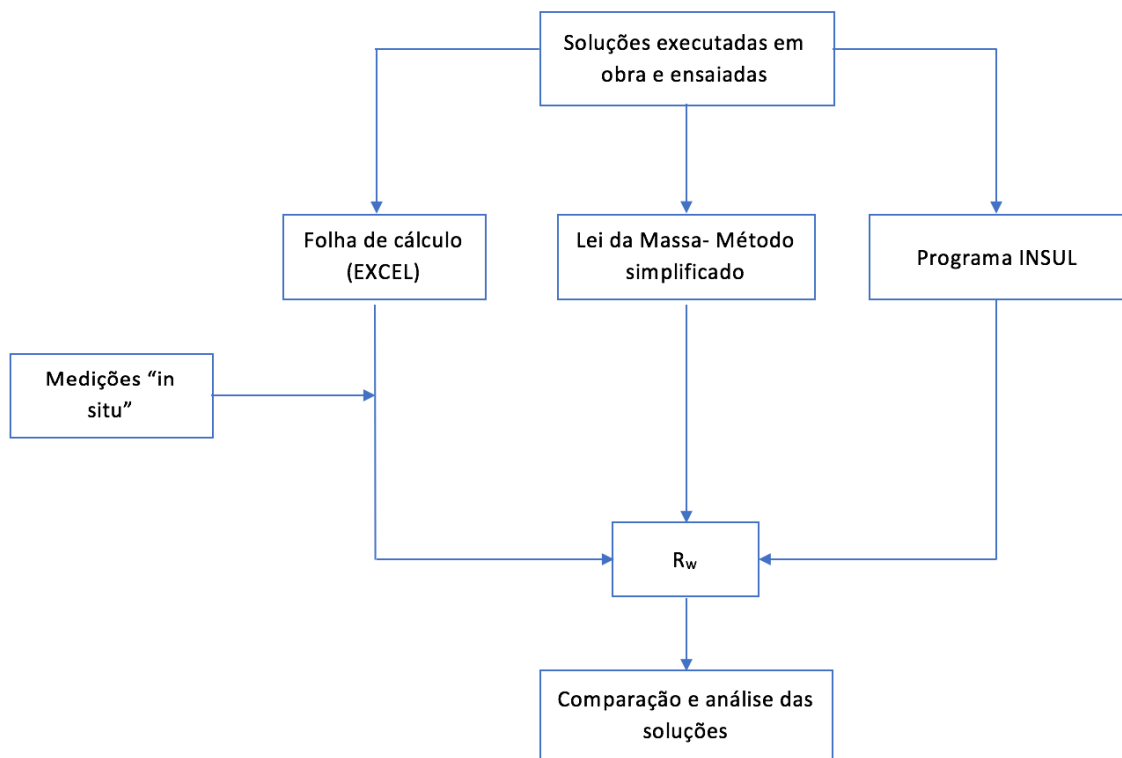


Figura 10 – Fluxograma da primeira parte do estudo executado

Na Tabela 2 e Tabela 3 estão apresentadas as soluções ensaiadas.

Tabela 2 – Descrição dos tipos de paredes analisadas

Obra (referência)	Nº de paredes ensaiadas	Tipo de parede	Referência da solução	Espessura total da solução (cm)
BTR	2	Bloco maciço de 15cm + Gesso projetado de 3cm + Gesso cartonado (Pladur)	P1	19,5
Urban Flat, Blanc 1	3	Parede simples de betão armado de 15cm	P2	15
Vita Housing	4	Parede de bloco de betão de 15cm + lâ de rocha de 3cm + tijolo de 9cm + gesso projetado nas duas faces	P3	30
Blanc 1	1	Parede de betão armado de 15cm + tijolo de 9cm + gesso projetado de 1,5cm	P4	25,5

Tabela 3 - Descrição dos tipos de lajes analisadas

Obra (referência)	Nº de lajes ensaiadas	Tipo de laje	Referência da solução	Espessura total da solução (cm)
BTR	1	Laje aligeirada de betão de 30cm + tela acústica célula fechada de 0,5cm + betonilha com inertes de poliestireno de 10cm + estratificado de 0.7cm	L1	41,2
Urban Flat; Blanc 1	3	Betonilha de 5cm + material de dessolidarização e absorção acústica de polipropileno reticulado do tipo “Impactodan da Danosa” de 0,5cm + argamassa com inertes de poliestireno expandido tipo “Betespuma” de 5cm + laje fungiforme maciça de 20cm	L2	30,5
Vita Housing	1	Revestimento com pavimento estratificado + Material de dessolidarização e absorção acústica em cortiça, CR11/2 cm + tela acústica Fonas 2.8 +Laje pré esforçada e pré fabricada (com 7cm de compressão) + Isolamento constituído por lã de rocha projetada de 5cm (e teto falso com gesso cartonado, sendo que não estava aplicando aquando os ensaio)	L3	41

### 3.2. Equipamento utilizado

As medições acústicas, baseiam-se essencialmente na análise dos sons aéreos e de percussão, sendo necessário ter sempre uma fonte de produção e um recetor normalizado. Existem vários aparelhos que permitem fazer a avaliação acústica, fornecendo os

resultados que depois são introduzidos e tratados. Entre os aparelhos de medição sonora, distinguem-se aqueles que medem pressões sonoras, nomeadamente os sonómetros, os dosímetros e os equipamentos preparados para a utilização no exterior em monitorização em contínuo, Figura 11 a), b) e c) respetivamente, e os que medem intensidades sonoras, as sondas de intensidade, Figura 11d) [3]. Há também aparelhos que permitem medir em simultâneo, pressões, intensidades e vibrações mecânicas, sendo designados como analisadores com multicanais e em paralelo, Figura 11e) e f), respetivamente. De forma a determinar o isolamento de ruídos de percussão, é utilizada uma máquina normalizada designada como bate passos, Figura 11h) [5].



Figura 11 – Equipamento utilizado nos ensaios

Os equipamentos devem de ter um controlo metrológico, sendo dividido em quatro fases, a aprovação do modelo por parte do Instituto Português da Qualidade (IPQ), a verificação primitiva do equipamento de medições e do calibrador, a verificação/calibração periódica (anual), antes de entrar ao serviço e para situações excecionais, a verificação extraordinária [3].

### 3.3. Tipos de ensaios

No caso de edifícios de habitação, quando é solicitada uma medição acústica, são efetuados alguns tipos de ensaios, nomeadamente, ensaio de medição do isolamento sonoro a sons de condução aérea de elementos entre compartimentos, Figura 12, e de fachada, Figura 13, medição do índice de isolamento sonoro a sons de percussão e medição do nível de avaliação, sendo este último referente ao ruído provocado por equipamentos. É também necessário, medir o ruído de fundo sempre que se efetuam estes ensaios. Estes ensaios deverão ser executados de acordo com as normas referentes à acústica nos edifícios.

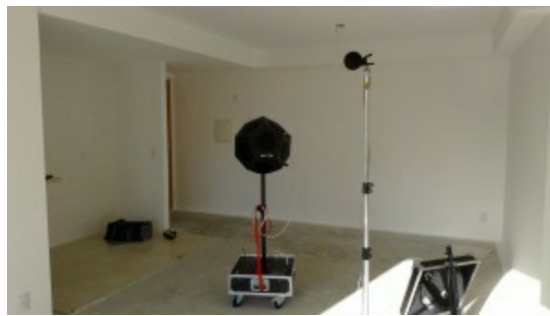


Figura 12 – Ensaio a sons aéreos entre compartimentos [w.8]



Figura 13 – Ensaio a sons aéreos da fachada [w.9]





## **Capítulo 4 – Métodos de previsão de isolamento a sons aéreos**

---

## **CAPÍTULO 4**

### 4. Métodos de previsão de isolamento a sons aéreos

#### 4.1. Lei da Massa – Método Simplificado

##### 4.1.1. Paredes interiores

##### 4.1.2. Lajes de Piso

##### 4.1.3. Paredes exteriores

#### 4.2. Previsão analítica através de uma folha de cálculo (EXCEL)

#### 4.3. Previsão com recurso ao programa INSUL

#### 4.4. Análise comparativa entre abordagens

#### 4.5. Síntese final

## 4. Métodos de previsão de isolamento a sons aéreos

Foram realizadas previsões diferentes para se poder fazer uma análise aos resultados obtidos.

De seguida serão apresentados os resultados de  $R_w$  da previsão de três abordagens diferentes, mas tendo em conta as mesmas soluções em cada abordagem. É feita uma explicação do processo executado de como foi realizada cada abordagem. No final é realizada uma análise comparativa dos valores obtidos pelas três abordagens.

### 4.1. Lei da Massa – Método simplificado

Este tipo de modelo baseia-se apenas na massa do elemento, o que pode conduzir a resultados de  $R_w$  um pouco distantes dos valores dos elementos ensaiados, contudo os elementos homogéneos, por exemplo de betão, o valor é lido na linha superior do ábaco, já os elementos não homogéneos, como por exemplo de alvenaria de tijolo é bastante razoáveis considerar-se a linha equidistante dos valores indicados, no diagrama da Figura 14. Os elementos pesados que contenham caixa de ar e material absorvente, ao  $R_w$  retirado do diagrama, considerando só a massa do elemento, é somado 4 dB, pois uma parede dupla proporciona um isolamento maior do que uma parede simples com a mesma massa, mas, contudo, em determinadas frequências, ocorrem fenómenos de ressonância, devido ao conjunto do elemento com caixa de ar, havendo quebras no isolamento sonoro. Sendo estes fenómenos controlados através da construção de elementos de diferentes espessuras e aplicando na caixa de ar materiais flexíveis e absorventes, como a lã mineral, evitando assim as frequências de ressonância [10].

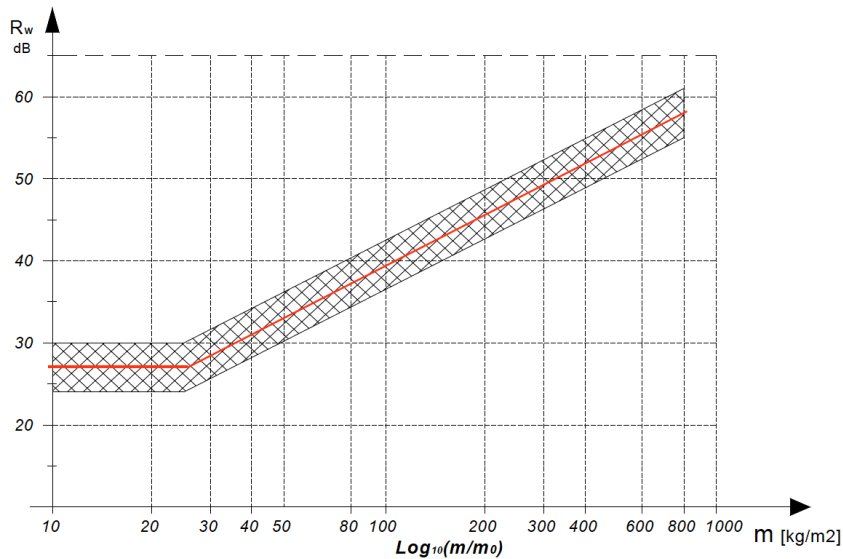


Figura 14 – Diagrama de estimativa do índice de isolamento sonoro em função da sua massa superficial

#### 4.1.1. Paredes interiores

Para este estudo foram analisados vários ensaios realizados em diferentes obras. De seguida são descritos como são constituídos os vários tipos de paredes com diferentes espessuras.

Solução P1: Bloco maciço de 15 cm + gesso projetado de 3 cm + placas de gesso cartonado de 1,5 cm.

A espessura deste elemento é de 19,5 cm, com uma massa volúmica de  $354 \text{ kg/m}^3$ , sendo que a massa volúmica do betão e do gesso projetado foi consultada na memória descritiva da obra, das placas de gesso cartonado foi consultado no *site* da marca “Knauf” do tipo “Standard A”. Por conseguinte, com a interpretação do diagrama obteve-se um  $R_w$  de 53 dB, uma vez que se trata de um elemento homogêneo, esse valor é lido na linha superior, podendo observar-se na Figura 15.

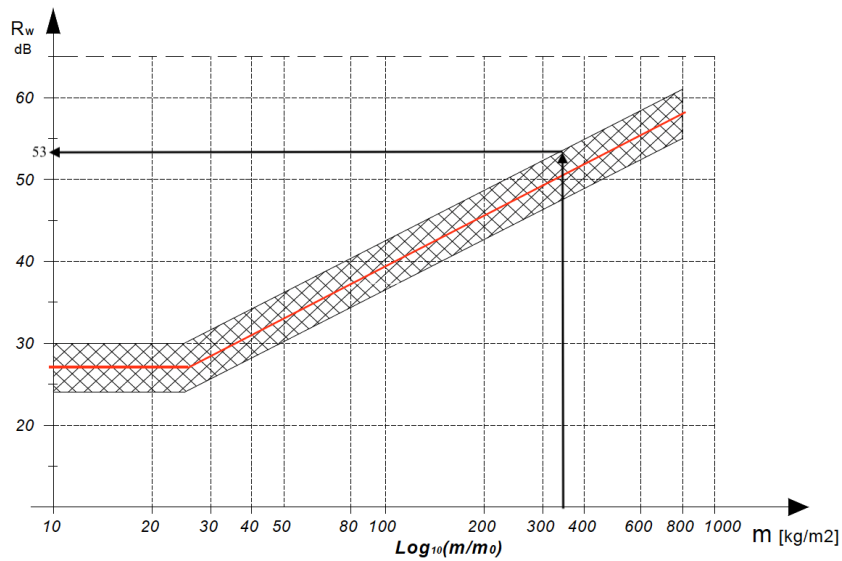


Figura 15 – Interpretação do diagrama para o elemento P1

**Solução P2:** Parede simples de betão armado de 15 cm.

A espessura deste elemento é de 15 cm, com uma massa volúmica de  $375 \text{ kg/m}^3$ , sendo que a massa volúmica do betão armado foi consultada na memória descritiva da obra. Por conseguinte, com a interpretação do diagrama obteve-se um  $R_w$  de 54 dB, uma vez que se trata de um elemento homogéneo, esse valor é lido na linha superior, podendo observar-se na Figura 16.

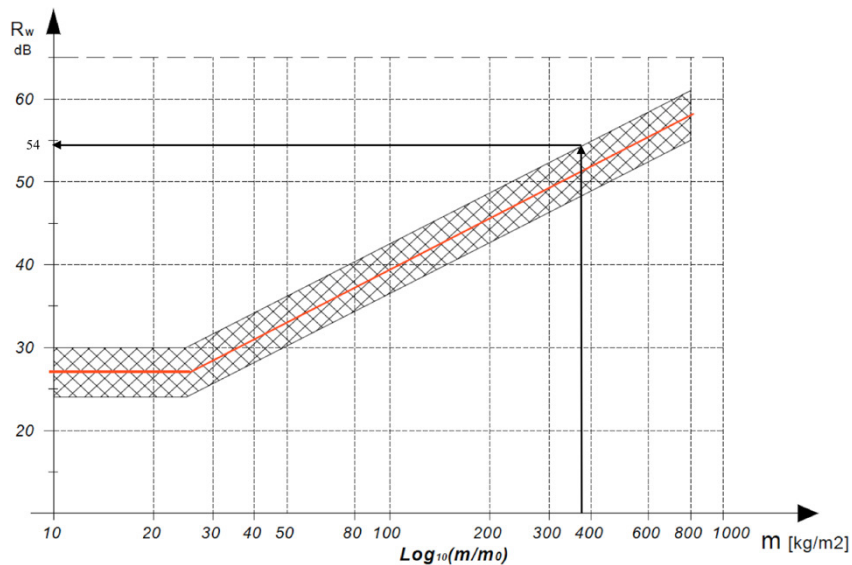


Figura 16 – Interpretação do elemento P2

**Solução P3:** Parede de blocos de betão de 15 cm + caixa de ar com lâ de rocha de 3 cm + tijolo de 9 cm + gesso projetado nas duas faces.

A espessura deste elemento é de 30 cm, com uma massa volúmica de 422 kg/m<sup>2</sup>, sendo que a massa volúmica do betão, da lã de rocha e do gesso projetado foi consultada na memória descritiva da obra, do tijolo foi consultada e adaptada de uma tabela do livro de Alvenaria de tijolos [11]. Por conseguinte, com a interpretação do diagrama obteve-se um  $R_w$  de 56 dB, uma vez que este elemento tem caixa de ar com material absorvente, ao valor lido na linha média do ábaco, 52 dB, soma-se mais 4 dB, podendo observar-se na Figura 17.

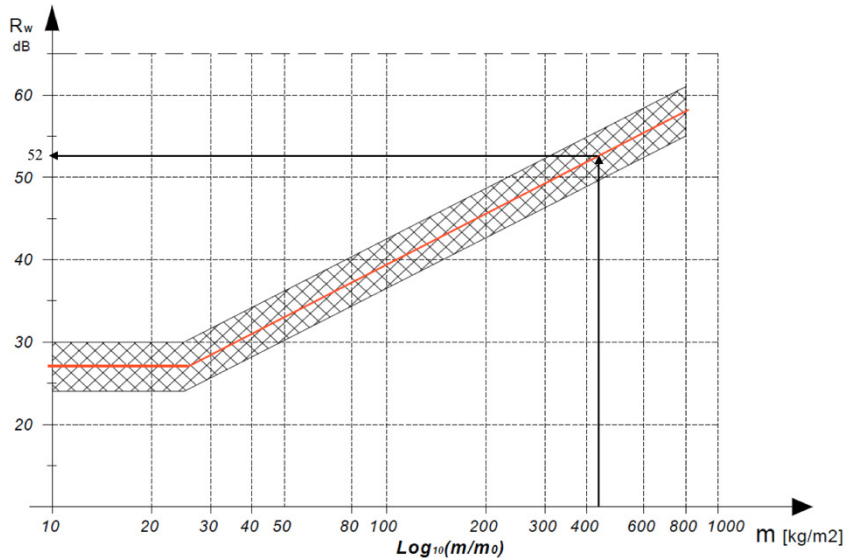


Figura 17 – Interpretação do elemento P3

**Solução P4:** Parede de betão armado de 15 cm + tijolo de 9 cm + gesso projetado de 1,5 cm.

A espessura deste elemento é de 25,5 cm, com uma massa volúmica de 472 kg/m<sup>2</sup>, sendo que a massa volúmica do betão armado e do gesso projetado foi consultada na memória descritiva da obra, o tijolo foi consultado e adaptado de uma tabela do livro de Alvenaria de tijolos [11]. Por conseguinte, com a interpretação do diagrama obteve-se um  $R_w$  de 53 dB, uma vez que este elemento não é homogéneo e o valor é lido pela linha média do ábaco, como se pode observar na Figura 18.

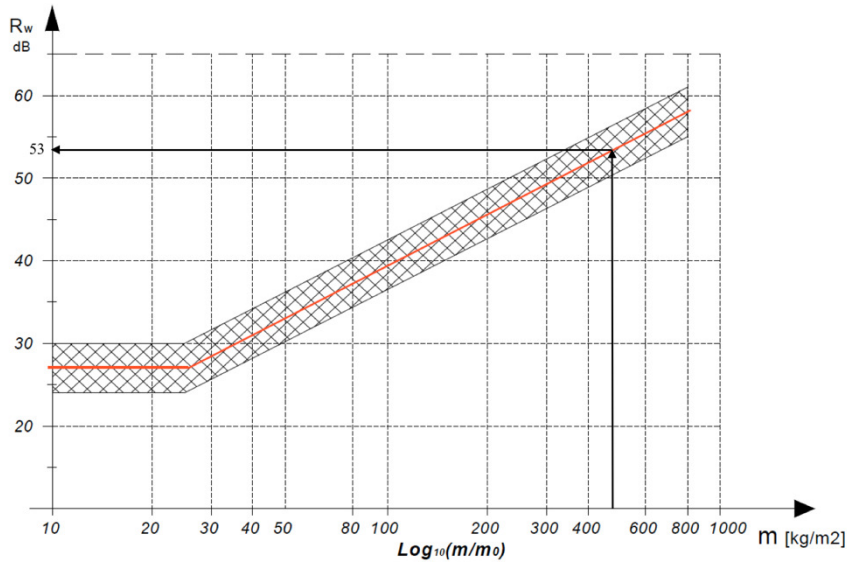


Figura 18 – Interpretação do elemento P4

#### 4.1.2. Lajes de piso

Para este estudo foram analisados vários ensaios em diferentes obras da mesma forma que nas paredes. De seguida são descritos como são constituídos os vários tipos de lajes com diferentes espessuras.

Solução L1: Laje aligeirada de betão de 30 cm + tela acústica célula fechada de 0,5 cm + betonilha com inertes de poliestireno de 10 cm + estratificado de 0.7 cm

A espessura deste elemento é de 41,2 cm, com uma massa volúmica de  $480 \text{ kg/m}^2$ , sendo que a massa volúmica da laje aligeirada foi retirada do EC2 [w.12], da tela acústica célula fechada foi retirada do *site* da marca “TEXSA” (Texsimpact5) [w.3], da betonilha com inertes de poliestireno foi retirada da memória descritiva da obra. Por conseguinte, com a interpretação do diagrama obteve-se um  $R_w$  de 53 dB, uma vez que este elemento não é homogéneo e o valor é lido pela linha média do ábaco, podendo observar-se na Figura 19.

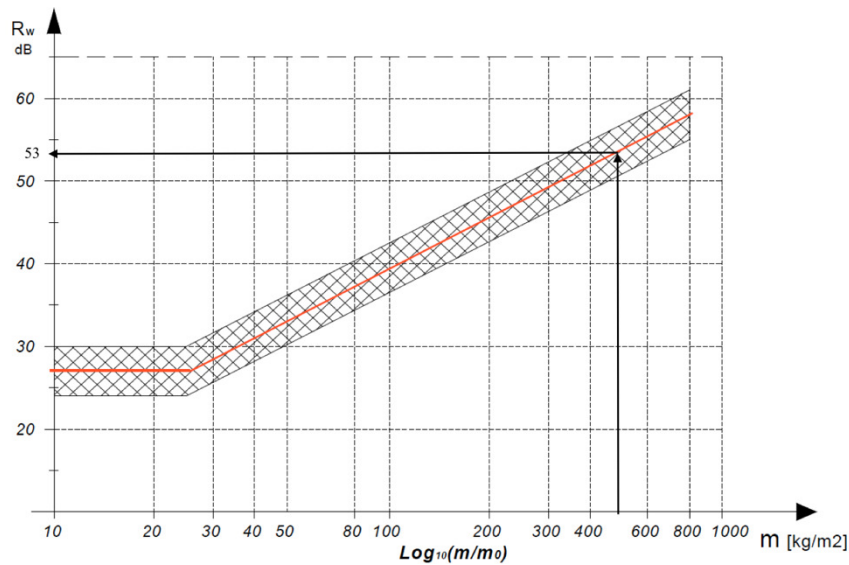


Figura 19 – Interpretação do elemento L1

Solução L2: betonilha de 5 cm + material de dessolidarização e absorção acústica de polipropileno reticulado do tipo “Impactodan da Danosa” de 0,5 cm + argamassa com inertes de poliestireno expandido tipo “Betespuma” de 5 cm + laje fungiforme maciça de 20 cm de espessura.

A espessura deste elemento é de 30,5 cm, com uma massa volúmica de  $625 \text{ kg/m}^3$ , sendo que a massa volúmica da betonilha foi consultada na memória descritiva da obra, do material de dessolidarização e absorção acústica foi consultado no *site* da marca “DANOSA” (Impactodan 5) [w.5], da argamassa com inertes de poliestireno expandido foi consultada numa ficha técnica da empresa “SECIL” [w.2] e da laje maciça foi consultada no EC2 [w.12]. Por conseguinte, com a interpretação do diagrama obteve-se um  $R_w$  de 59 dB, uma vez que este elemento é homogéneo, esse valor é lido pela linha superior do ábaco, podendo observar-se na Figura 20.



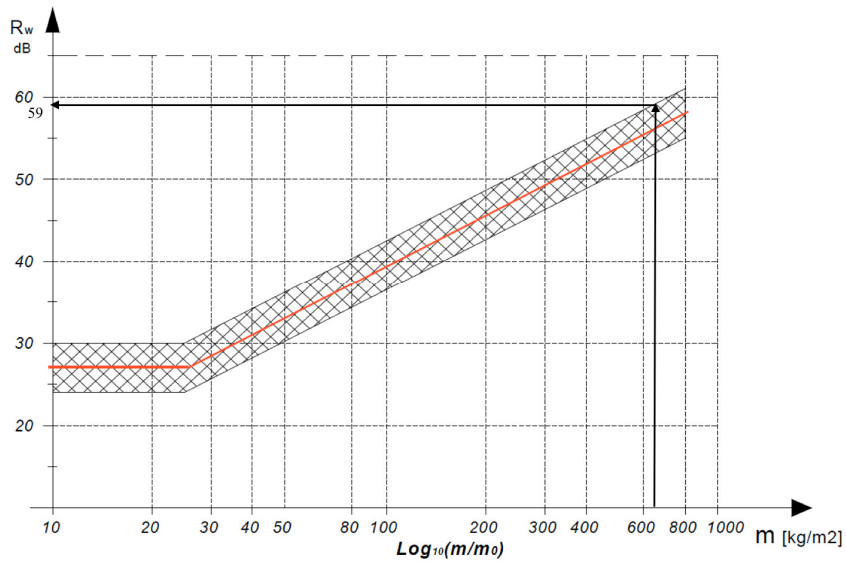


Figura 20 – Interpretação do elemento L2

**Solução L3:** Revestimento com pavimento estratificado + material de dessolidarização e absorção acústica em cortiça, CR11/2 cm + tela acústica, Fonas 2.8 + Laje pré-esforçada e pré fabricada (com 7 cm de compressão) + isolamento constituído por lâ de rocha de 5 cm + teto falso com gesso cartonado.

A espessura deste elemento é de 41 cm, com uma massa volúmica de  $688 \text{ kg/m}^2$ , sendo que a massa volúmica da laje foi retirada de um catalogo de lajes [w.6], do material de dessolidarização e absorção acústica em cortiça foi retirada do *site* da marca “Fibrosom” (aglomerado negro de cortiça), da tela acústica Fonas 2.8 foi retirada do *site* das “Fonas” [w.7], da lâ de rocha foi consultada na memória descritiva da obra acrescentando-se que o teto falso ainda não estava executado aquando foram realizados os ensaios. Por conseguinte, com a interpretação do diagrama obteve-se um  $R_w$  de 59 dB, uma vez que se trata de um elemento homogéneo, esse valor é lido na linha superior, podendo observar-se na Figura 21.

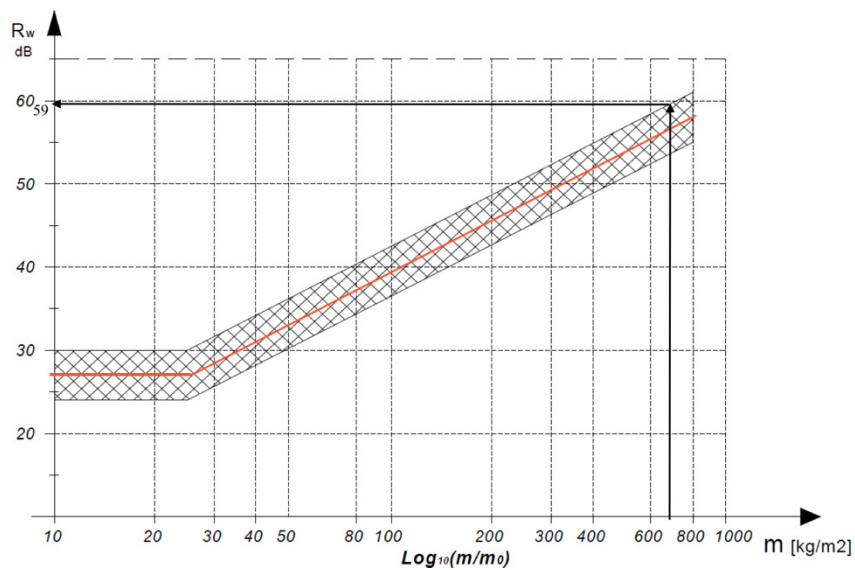


Figura 21 – Interpretação do elemento L3

### 4.1.3. Paredes exteriores

No caso das paredes exteriores, este método não é muito adequado, pois as fachadas analisadas em obra, na sua grande maioria são envidraçadas, conseqüentemente não têm a mesma massa volúmica do que uma parede em alvenaria. Os resultados do isolamento sonoro vão depender muito do tipo de envidraçado que é aplicado em obra.

### 4.2. Previsão analítica através de uma folha de cálculo (Excel)

A folha de cálculo utilizada para a obtenção do cálculo da redução de som aéreo desenvolvida pelo professor Diogo Mateus da Universidade de Coimbra, tem em conta as transmissões marginais, sendo que esta está de acordo com a norma EN 12354-1 [w.13].

Esta folha de cálculo permite fazer um estudo da avaliação acústica em relação aos sons aéreos, de modo que é necessário prever o valor de  $R_w$  para obter o valor de  $D_{nT,w}$ . Neste caso, para este estudo, são utilizados os valores de cada ensaio,  $D_{nT,w}$ , para que se obtenha o valor de  $R_w$ , e assim posteriormente seja realizada uma comparação entre os valores obtidos através desta folha de cálculo e outros métodos. Os resultados obtidos não serão muito precisos, visto que as transmissões marginais são valores estimados e de grande relevância em alguns casos.



O tipo de junção varia, tendo que se fazer a correspondência da junção existente, escolhendo entre as três junções de configuração distinta, em cruz, em T, ou T invertido, como se ilustra na Figura 24.

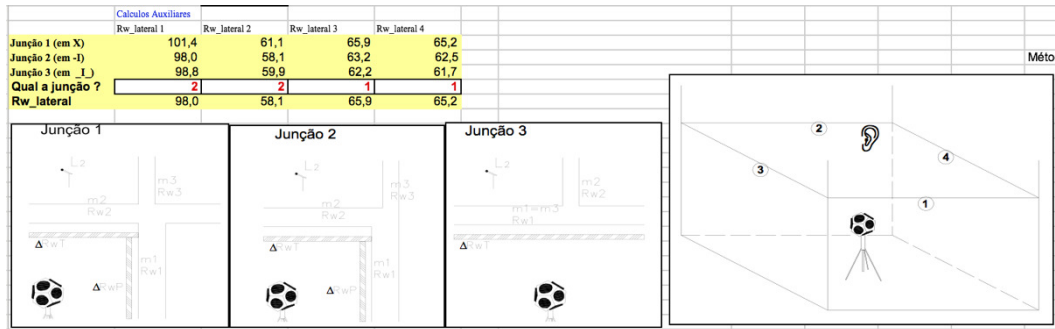


Figura 24 – Tipos de junções

Além disso, para o cálculo das transmissões marginais, é necessário definir que tipo de elemento está nas suas extremidades, para que se possa indicar as características necessárias, como se pode observar na Figura 25, indicando a tabela dos casos estudados no anexo B.

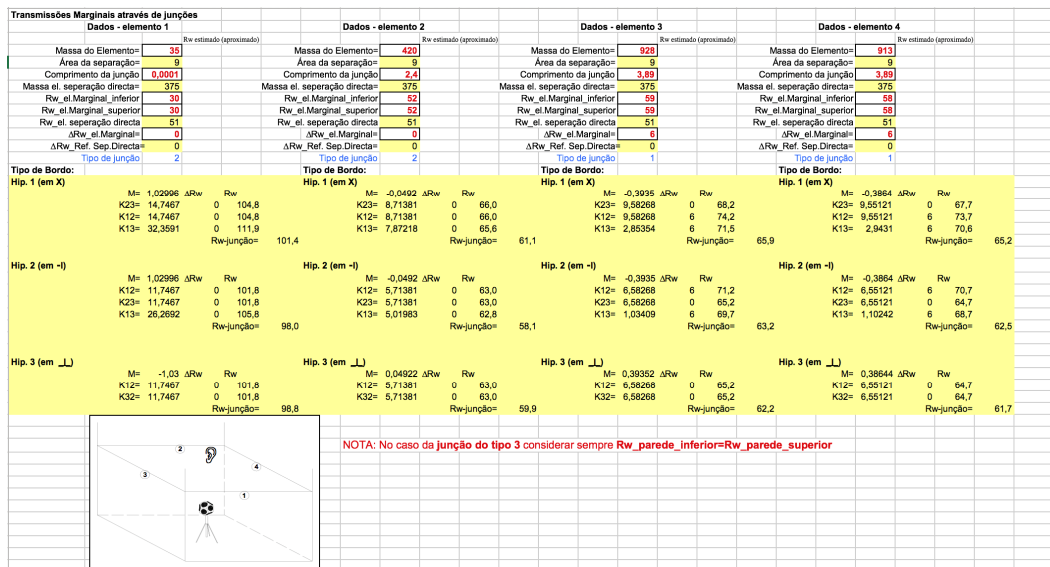


Figura 25 – Características dos elementos adjacentes ao elemento de avaliação

Por fim, modifica-se o valor de  $R_w$  até se obter o valor de  $D_{nT,w}$  resultante do ensaio em estudo, como se ilustra na Figura 26, e retira-se o valor de  $R_w$  para comparar com outros métodos.

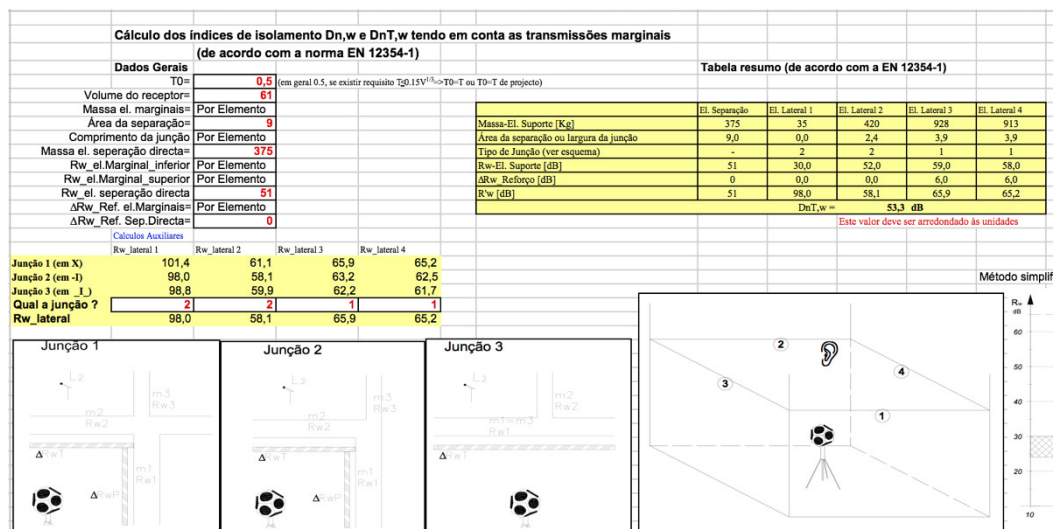


Figura 26 – Valores de  $R_w$  obtidos através da folha de cálculo

No caso em que existem envidraçados, o comprimento da junção considera-se aproximadamente zero, pois na realidade não existe uma ligação perfeita entre os elementos.

Este processo repete-se para cada elemento ensaiado, apresentando-se os resultados na Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 4 – Resultados obtidos pela folha de cálculo através dos valores de ensaios para as paredes

Elementos / Solução	Nº de ensaios realizados	$D_{nT,w}$ (ensaio)	$R_w$
Parede P1	2	55	54
		54	57
Parede P2	3	57	60
		55	55
		53	51
Parede P3	4	50	52
		50	51
		49	50
		47	48
Parede P4	1	51	50

Tabela 5 – Resultados obtidos pela folha de cálculo através dos valores de ensaio para as lajes

Elementos / Solução	Nº de ensaios realizados	$D_{nT,w}$ (ensaio)	$R_w$
Laje L1	1	51	54
Laje L2	3	55	58
		56	60
		58	57
Laje L3	1	60	67

### 4.3. Previsão com recurso ao programa INSUL

O INSUL é um programa para prever o isolamento acústico de soluções construtivas de paredes, lajes, coberturas e soluções de envidraçados. O programa estima a perda de transmissão sonora e de percussão, em bandas de 1/3 de oitava e calcula o índice de redução de som aéreo e de percussão. Contém extensos menus para seleccionar materiais e escolhas simples para variados detalhes de construção, avaliando rapidamente diferentes construções [12].

Este programa foi utilizado para fazer um estudo paramétrico a diferentes soluções de isolamento acústico. No programa foi necessário definir os vários tipos de materiais e as suas características para as várias soluções ensaiadas. Essas características foram adquiridas nas marcas utilizadas e pelas memórias descritivas das obras, estando esses valores apresentados numa tabela no anexo C. Também existe uma opção onde se define a área do emissor e do recetor, contudo, derivado a um estudo que se fez, as áreas do emissor e do recetor influenciam se estas forem muito divergentes.

No fluxograma da Figura 27, encontra-se o processo de cálculo para a previsão de  $R_w$  com recurso ao programa INSUL.

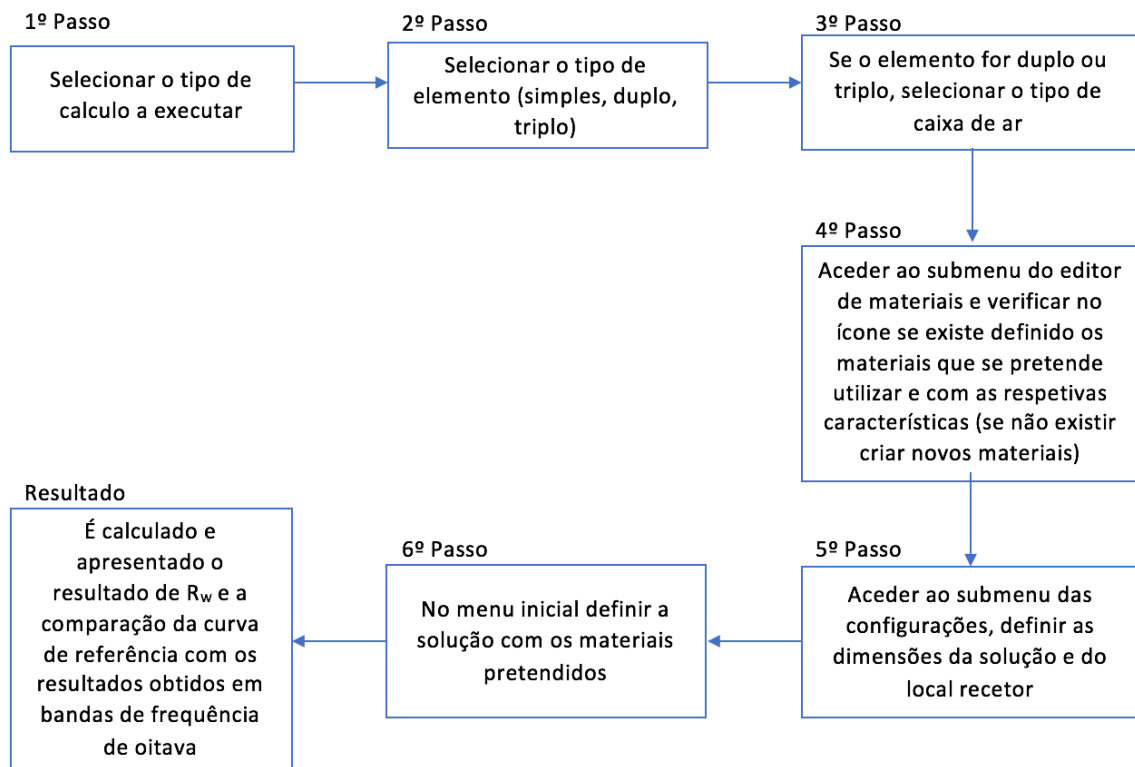


Figura 27 – Fluxograma da previsão de  $R_w$  com recurso ao programa INSUL

No programa de cálculo INSUL, possui na página inicial um menu onde se pode optar pelo estudo em relação ao isolamento entre compartimentos, sejam eles laterais ou verticais, fornecendo o cálculo de redução de ruído aéreo e ruído de impacto, pelo estudo da cobertura, fornecendo o ruído da chuva, pelo estudo dos diferentes sistemas de vidros, fornecendo a redução de ruído aéreo e pelo estudo de vários materiais porosos, fornecendo a redução dos materiais, tal como a lã de rocha, Figura 28.

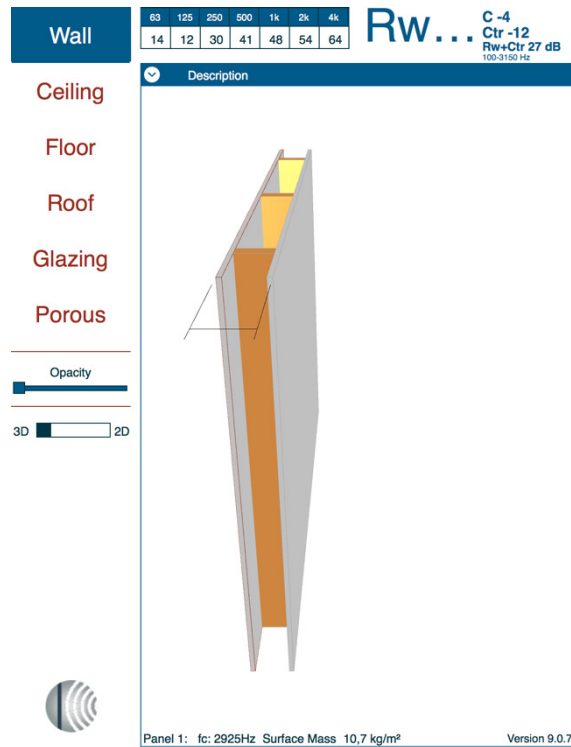


Figura 28 – Menu inicial - contém as opções de cálculo de sons aéreos e sons de percussão (fonte: INSUL)

Existe também a possibilidade de efetuar elementos simples, duplos ou triplos, com várias camadas de materiais diferentes, definindo-se todas as dimensões necessárias, Figura 29. E estabelecendo o sistema de caixa de ar mais adequado, em que se utiliza material de madeira ou metal, Figura 30, especificando também o material absorvente que se pode aplicar no interior da caixa de ar.





Figura 29 – Menu inicial – referente aos vários tipos de elementos (painéis) e definição das várias camadas de materiais no mesmo elemento (Layers) (fonte: INSUL)



Figura 30 – Menu inicial – referente ao tipo de caixa de ar e às suas dimensões (fonte: INSUL)

Ao aceder ao ícone de editor de materiais, observa-se um submenu que permitirá ter acesso às características dos vários tipos de materiais introduzidos, como se pode observar na

Figura 31. Também se pode observar no ícone “Insul”, que o programa tem uma lista de materiais já com as características introduzidas não dando para alterá-las.



Figura 31 – Submenu referente às características dos materiais introduzidos (fonte: INSUL)

Neste submenu, Figura 31, também se pode constatar que existem outros ícones que se podem criar mais características de materiais, como é o caso dos materiais absorventes.

No submenu das configurações, Figura 32, seleciona-se o tipo de característica dos materiais, que envolve as transmissões marginais, sendo neste estudo avaliada a construção pesada, com base no tipo de junção e em várias espessuras. No mesmo submenu existe outro ícone, onde se define as dimensões do elemento de separação do local do emissor e do recetor e as dimensões do local do recetor, Figura 33.

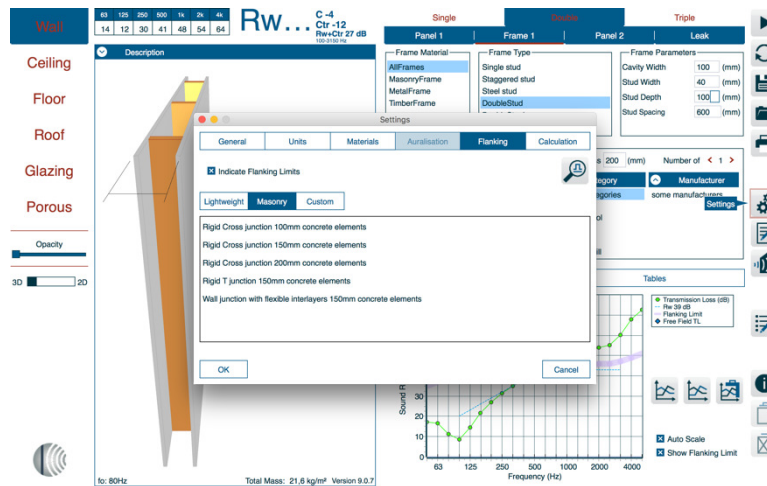


Figura 32 – Submenu referente às características dos materiais que envolve as transmissões marginais (fonte: INSUL)



Figura 33 – Submenu referente às dimensões do elemento e da envolvente (fonte: INSUL)

Posteriormente à colocação dos dados, define-se o elemento de análise, para que de seguida o programa forneça uma previsão do valor de redução de ruído, e um gráfico em que mostra a variação da redução do ruído com o aumento de um intervalo de frequências.

São apresentados na Tabela 6, de forma sucinta, os valores de  $R_w$  obtidos pelo *software*, relativamente a todos os ensaios realizados em obras, descrevendo respetivamente os vários tipos de elementos.

Tabela 6 – Valores de  $R_w$  obtidos no programa INSUL

Tipo de Solução	Referência da solução	Espessura (cm)	Obra	$R_w$ (Retirado do INSUL)
Paredes	P1	19,5	BTR	55
	P2	15	Urban Flat; Blanc1	56
	P3	30	Vita Housing	57
	P4	25,5	Blanc1	57
Lajes	L1	41,5	BTR	62
	L2	30,5	Urban Flat; Blanc1	62
	L3	41	Vita Housing	64

#### 4.4. Análise comparativa entre abordagens

Tendo em conta os métodos estudados anteriormente, é feita uma análise dos resultados e uma comparação entre estes. Na Tabela 7 e Tabela 8 é apresentado um resumo com os resultados obtidos pelos métodos anteriormente estudados.

Tabela 7 – Resumo de valores das várias abordagens estudadas relativamente às paredes

Elemento	Nº de ensaios	Abordagens para o cálculo de $R_w$		
		Lei da Massa	Folha de cálculo	Programa INSUL
P1	2	53	54	55
			57	
P2	3	54	60	56
			55	
			51	
P3	4	56	52	57
			51	
			50	
			48	
P4	1	53	50	57

Tabela 8 – Resumo de valores das várias abordagens estudadas relativamente às lajes

Elemento	Nº de ensaios	Abordagens para o cálculo de $R_w$		
		Lei da Massa	Folha de cálculo	Programa INSUL
L1	1	53	54	62
L2	3	59	58	62
			60	
			57	
L3	1	59	67	64

Verifica-se que pelo método da Lei da Massa, para cada elemento estudado obtém-se apenas um único índice de isolamento sonoro, uma vez que este resultado é dependente da massa volúmica desse mesmo elemento. Contudo, o índice do isolamento sonoro pode variar consoante a homogeneidade do elemento.

Em relação ao método da folha de cálculo, foi realizado um estudo mais complexo, visto que se consideraram as transmissões marginais dos elementos, o tipo de junção executada em obra e por fim os resultados fornecidos pela empresa, provenientes de vários ensaios em diferentes obras.

Por último, utilizou-se o *software* INSUL. Para tal, teve que se investigar sobre as características dos diferentes materiais constituintes dos vários elementos. Pela escassez de dados fornecidos por certas marcas de materiais, foi necessário recorrer a outras marcas que produzem materiais semelhantes.

Ao comparar os valores pelas várias abordagens, no caso do elemento P1, pode dizer-se que o resultado pela Lei da Massa é bastante próximo do da folha de cálculo, principalmente de um dos resultados, e ao do programa INSUL, visto que este admite uma variação até 3 dB, pois as comparações que o programa fez com dados de teste mostram geralmente uma variação dentro de 3 dB [12]. Os valores da folha de cálculo resultantes dos ensaios executados são diferentes devido às transmissões marginais e podendo diferir também relativamente à construção e erros que possam ocorrer na execução.

Em relação ao elemento P2, o resultado pela Lei da Massa é aproximado ao obtido pelo INSUL, já os resultados da folha de Excel são bastantes dispares, tendo em conta que os dois primeiros resultados foram obtidos de ensaios da mesma obra, sendo o primeiro

bastante elevado, o que se pode levar a ponderar se o ensaio foi realizado corretamente, já que o resultado correspondente ao segundo ensaio, na mesma obra, é bastante aceitável comparativamente com os dos outros métodos. Já o último resultado do mesmo elemento, é um pouco inferior do esperado, contudo neste caso, verifica-se uma grande área de envidraçado nos compartimentos analisados, tornando-se relevante para as transmissões marginais, afetando o resultado do  $R_w$ .

No que diz respeito ao elemento P3, os resultados obtidos pela Lei da Massa e pelo INSUL são semelhantes, como se obteve nos casos anteriores, já em relação à folha de cálculo todos os resultados são abaixo do esperado, sendo estes, resultantes de ensaios da mesma obra e construídos do mesmo modo o que sugere existirem transmissões marginais similares e por essa razão o índice de  $R_w$  serem igualmente similares.

Quanto ao último elemento de paredes interiores, P4, só se realizou um ensaio, daí só existir um resultado pela folha de cálculo. Sendo que esse resultado e o da Lei da massa são próximos, contudo o resultado obtido pelo INSUL, é bastante elevado, possivelmente devido ao ensaio ter-se realizado entre a sala de um apartamento e a caixa de escadas, visto que esta última está a dois níveis diferentes, contendo uma geometria diferente e visto que o programa faz o cálculo de dois elementos paralelos.

Relativamente aos elementos de lajes, no que se refere ao elemento L1, os resultados obtidos pela Lei da Massa e pela folha de cálculo são similares, já o resultado obtido pelo INSUL é bastante mais elevado, provavelmente devido ao elemento ser constituído por uma laje aligeirada e como só foi considerado as características da mesma, o programa assume que se trata de um bloco uniforme e não contabiliza os espaços vazios existentes das abobadilhas, pois no programa a laje não foi modelada como foi construída na realidade, por consequência o resultado ser tão elevado.

No que se refere ao elemento L2, foram realizados 3 ensaios em duas obras diferentes. Os dois primeiros foram realizados na mesma obra, sendo os resultados obtidos pelos três métodos próximos uns dos outros, contudo o resultado resultante do terceiro ensaio da folha de cálculo é um pouco baixo, podendo ser proveniente das transmissões marginais, uma vez que a diferença deste resultado, do método da Lei da Massa e do programa é pequena.

Por último, foi ensaiado e estudado o elemento L3, obteve-se resultados bastante distintos, possivelmente como foi utilizado cortiça, material absorvente, obteve-se um resultado mais elevado do que o esperado pela Lei da Massa, também é mais elevado do que pelo INSUL, porém o programa pode variar 3 dB [12], como já se referiu anteriormente, portanto, este valor ainda está contido no intervalo.

Na grande maioria, as transmissões marginais são as principais responsáveis pela variação de resultados como já se verificou anteriormente.

#### **4.5. Síntese final**

Após a análise dos resultados das soluções ensaiadas relativamente ao isolamento sonoro, nos quais se executaram algumas comparações entre soluções de paredes interiores iguais e lajes, de construções diferentes, resultados esses obtidos de três processos distintos, através do cálculo simplificado pela Lei da Massa, de uma folha de cálculo contabilizando as transmissões marginais e pelo programa INSUL, reconhece-se que no geral, os objetivos foram cumpridos uma vez que, os resultados obtidos pelas comparações efetuadas apresentam uma dispersão reduzida, apesar de haver algumas limitações.

Para se efetuar as comparações dos resultados, uma vez que os relatórios de ensaios apresentavam o índice do isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos,  $D_{nT,w}$ , e sendo que o programa e a Lei da Massa fornecem o índice de redução sonora,  $R_w$ , daí fez-se um estudo de todos os materiais envolventes dos elementos ensaiados, para que através da folha de cálculo fosse possível prever qual o índice de redução sonora corresponde ao valor do ensaio obtido, dado que todas essas características se encontram no anexo C.

Salienta-se ainda que os elementos simples (sem caixa de ar), apresentam resultados mais baixos do que os elementos duplos constituídos por uma caixa de ar, concluindo-se esses resultados através de um estudo paramétrico que se realizou com várias soluções, encontrando-se no anexo D, o estudo paramétrico de uma solução de paredes interiores com caixa de ar.





## **Capítulo 5 - Propostas de soluções construtivas**

---

## CAPÍTULO 5

### 5. Propostas de soluções construtivas

#### 5.1. Introdução

#### 5.2. Soluções com uso de painéis de magnésio

5.2.1. Solução de grande espessura com conectores metálicos

5.2.2. Solução de pequena espessura com conectores metálicos

5.2.3. Solução de grande espessura com conectores de madeira

5.2.4. Solução de pequena espessura com conectores de madeira

#### 5.3. Soluções com painéis de VIROC

5.3.1. Solução de grande espessura com conectores metálicos

5.3.2. Solução de pequena espessura com conectores metálicos

5.3.3. Solução de grande espessura com conectores de madeira

5.3.4. Solução de grande espessura com conectores de madeira

#### 5.4. Comparação das soluções

## **5. PROPOSTAS DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS**

### **5.1. Introdução**

As soluções atualmente adotadas para a construção e para a reabilitação de habitações, não são as mais eficazes, pois estas apresentam uma espessura significativa para verificarem os parâmetros do isolamento acústico ou então se a sua espessura for razoável, não cumpre os parâmetros da acústica, devido aos materiais utilizados. Cada vez mais existe a preocupação da área de ocupação e o seu aproveitamento, uma vez que para a mesma área de implantação obtém-se uma maior área de ocupação.

Existem novos materiais que se podem aplicar como bons isolantes acústicos, ocupando menos área, favorecendo assim principalmente as reabilitações de pequenas áreas.

Como finalização deste trabalho, são propostas várias soluções construtivas, em alternativa ao aproveitamento de espaços habitáveis, bem como ao cumprimento dos requisitos acústicos, verificando os índices regulamentares, utilizando para a realização deste estudo o programa de previsão do isolamento acústico.

Na Figura 34, apresenta-se o fluxograma síntese executado nesta última parte do estudo.

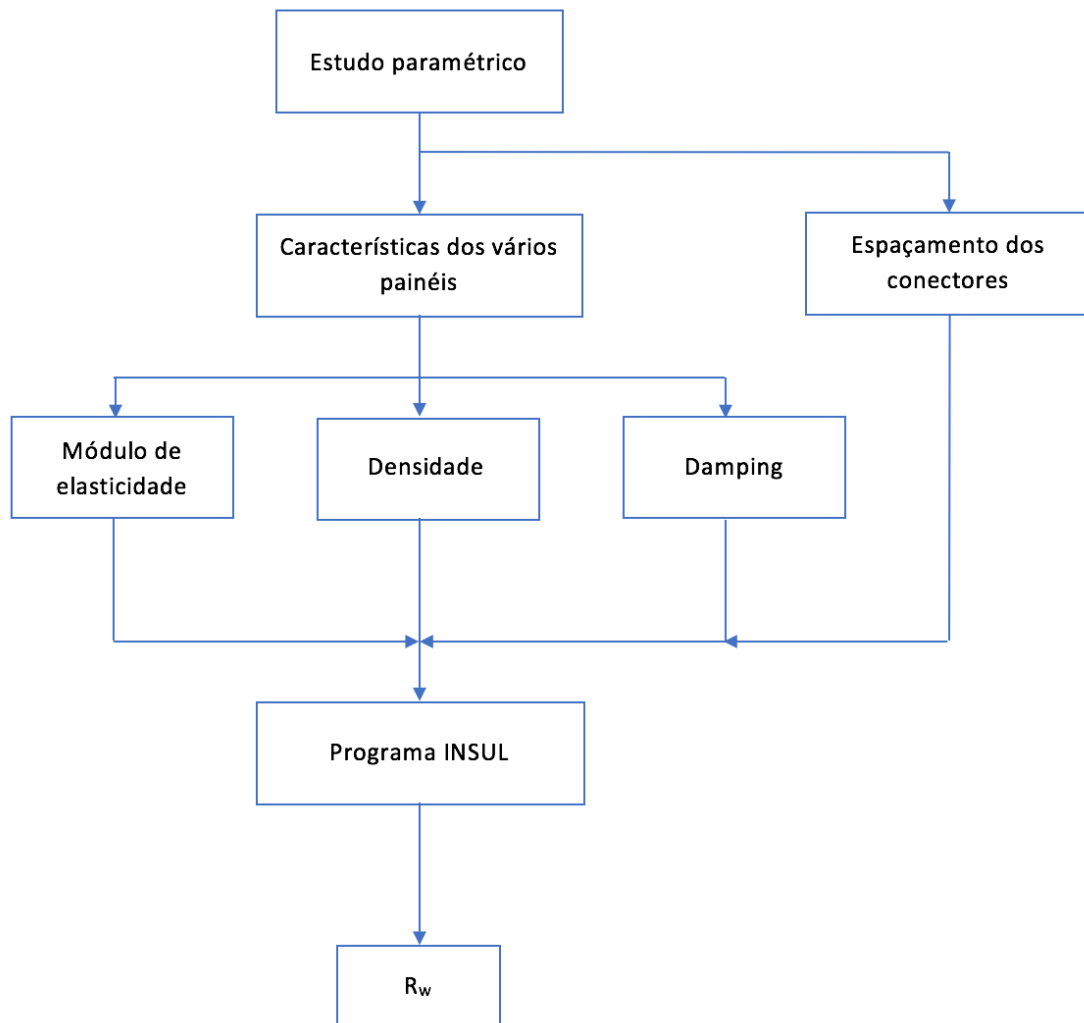


Figura 34 – Fluxograma da segunda parte do estudo executado

## 5.2. Soluções com uso de painéis de magnésio

Estas soluções visam mostrar a importância da densidade de uma parede, como também do tipo de conectores aplicados na caixa de ar.

As características dos painéis de magnésio foram adquiridas através da marca “MagnesiaCore”, dado que esta marca foi selecionada devido às relevantes características fornecidas [w.10].

No caso das características da lã de rocha e do betão, utilizam-se as mesmas dos materiais estudados no capítulo anterior, visto que os materiais são os mais adequados para as seguintes soluções.

Na Tabela 9 apresentam-se as características dos materiais utilizados para as soluções propostas, necessárias para a realização do estudo.

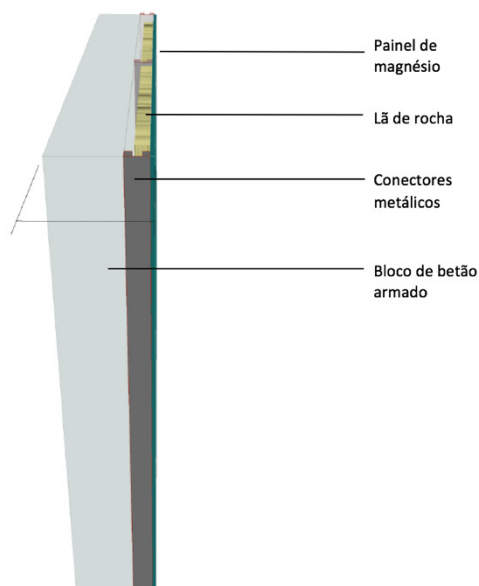
Tabela 9 – Características dos materiais utilizados nas várias soluções apresentadas com o painel de magnésio

Material	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de Elasticidade (GPa)	<i>Damping</i>	R1 (Rayl/m)
Betão	2500	30	0,010	-
Painéis de Magnésio	980	6,05	0,010	-
Lã de Rocha	70	-	-	22 000

O valor de *Damping*, isto é o fator de perdas, não é exato e nem sempre é conhecido, no entanto o programa aconselha a utilização do valor de 0,010 nos casos em que este é desconhecido, sucedendo-se a mesma situação nas soluções seguintes apresentadas.

### 5.2.1. Solução de grande espessura com conectores metálicos

Esta solução é constituída por um bloco de betão armado de 150 mm, uma caixa de ar com os conectores metálicos de 50 mm, preenchida com 40 mm de lã de rocha e um painel de magnésio de 12 mm, como se ilustra na Figura 35.

Figura 35 – Solução de grande espessura com os conectores “*Metallstander 25g*” – Solução SM1

O resultado de  $R_w$  previsto pelo programa para esta solução é de 65 dB, aplicando os conectores com um espaçamento de 800 mm. Esta solução embora tenha um índice de isolamento sonoro elevado, a espessura também é de grande relevância.

### 5.2.2. Solução de pequena espessura com conectores metálicos

No que se refere a esta solução, é constituída por dois painéis de magnésio de 12 mm, uma caixa de ar com os conectores metálicos de 50 mm, preenchida com 40 mm de lã de rocha e dois painéis de magnésio de 12 mm, como se ilustra na Figura 36.

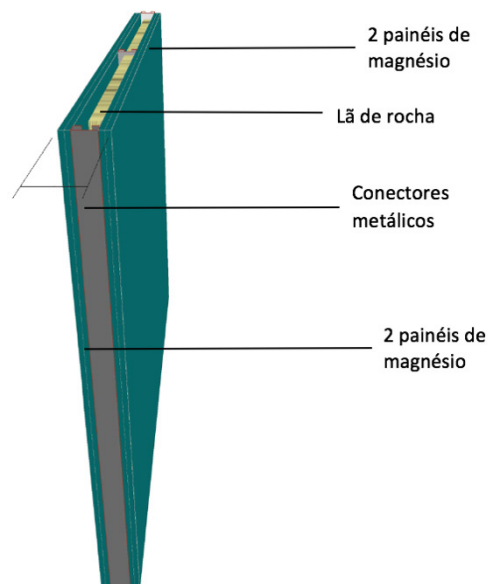


Figura 36 – Solução de pequena espessura com os conectores “*Metallstander 25g*” – Solução SM2

O resultado de  $R_w$  previsto pelo programa é de 55 dB, aplicando os conectores com um espaçamento de 800 mm. Apesar deste índice de redução não ser muito elevado, a espessura vai de encontro às soluções mais procuradas, apresentando os valores acima dos mínimos exigidos.

Estas duas soluções a cima propostas contêm os mesmos tipos de conectores, diferindo apenas na massa volúmica, constatando-se que quanto maior a densidade da parede melhor é o índice de redução sonora. Apesar dos painéis de magnésio possuírem características benéficas perante a acústica, a densidade total da parede é de grande importância, podendo-se concluir com a análise dos resultados obtidos.

### 5.2.3. Solução de grande espessura com conectores de madeira

Esta solução é constituída por um bloco de betão armado de 150 mm, uma caixa de ar com os conectores de 60 mm, preenchida com 40 mm de lã de rocha e um painel de magnésio de 12 mm, como se ilustra na Figura 37.

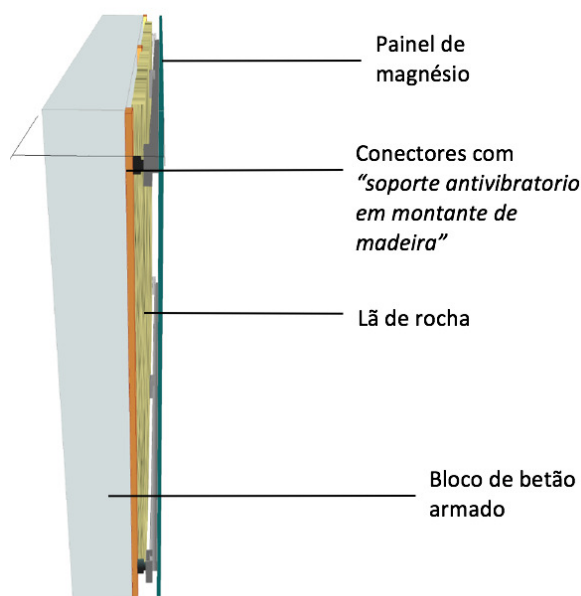


Figura 37 – Solução de grande espessura com os conectores “*Soporte antivibratorio em Montante de Madeira*” – Solução SM3

Para esta solução, o resultado previsto de  $R_w$  é de 70 dB, utilizando os conectores com um espaçamento de 800 mm. Esta solução é idêntica à primeira, apenas varia o tipo de conectores, indubitavelmente é uma solução mais eficaz, comparativamente com a primeira solução proposta, tendo por base uma espessura semelhante, no entanto o custo por  $m^2$  é mais elevado.

### 5.2.4. Solução de pequena espessura com conectores de madeira

Por fim, apresenta-se esta solução, constituída por dois painéis de magnésio de 12 mm, uma caixa de ar com os conectores de 60 mm, preenchida com 40 mm de lã de rocha e dois painéis de magnésio de 12 mm, como se ilustra na Figura 38.

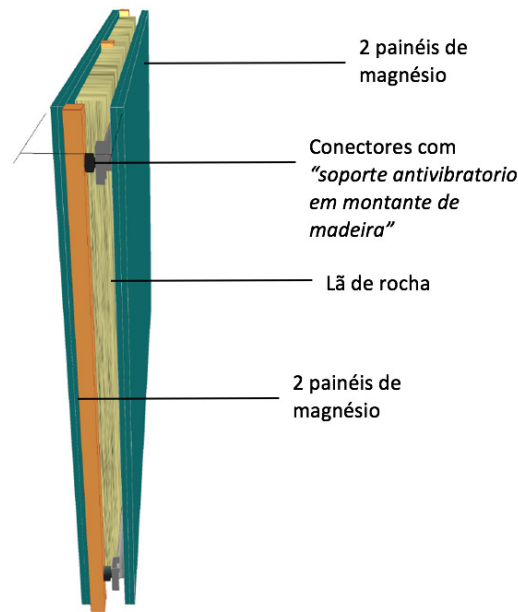


Figura 38 – Solução de pequena espessura com os conectores “*Soporte antivibratorio em Montante de Madeira*” – Solução SM4

Por sua vez, o resultado de  $R_w$  previsto é de 59 dB, aplicando os conectores com um espaçamento de 800 mm. Esta última solução com a aplicação de painéis de magnésio é a mais vantajosa em comparação com as duas soluções apresentadas de menor espessura, conseqüentemente é mais dispendiosa no custo da aplicação.

### 5.3. Soluções com uso de painéis de VIROC

Os painéis de VIROC são compósitos constituídos por uma mistura de partículas de madeira e cimento [w.11].

Estas soluções são análogas às soluções anteriores contendo o mesmo objetivo, melhorar o isolamento acústico e obter soluções de menor espessura.

Em relação à densidade do painel selecionado para este conjunto de soluções seguidamente apresentadas, foi adquirida através do *site* da empresa “Investwood” na unidade fabril “VIROC, SA”, porém não foi possível ter acesso ao módulo de elasticidade, apenas indicavam o  $R_w(C, C_{tr})$  de cada painel com a espessura corresponde e utilizando esse dado, com o auxílio do programa , estimou-se um intervalo de valores que poderá variar este valor, pois não foi possível obter o  $R_w(C, C_{tr})$  indicado, somente o mais paralelo possível, ou seja, o valor indicado da redução sonora é possível, já os termos de adaptação de cada espectro são aproximados. Por conseguinte, será apresentado dois resultados para a mesma



solução, podendo-se analisar a variação que se pode obter com este material. No que se refere ao valor de *Damping*, tal como nos casos anteriores, não é fornecido, deste modo é usado o valor de 0,010, o valor que o programa aconselha.

Quanto às características dos materiais restantes, lã de rocha e betão, são as mesmas das soluções anteriores, pois o que se vai variar neste conjunto de soluções é o tipo de painel aplicado.

Na Tabela 10, apresenta-se as características dos materiais utilizados para as novas soluções.

Tabela 10 – Características dos materiais utilizados nas varias soluções apresentadas com o painel de VIROC

Material	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de Elasticidade (GPa)	<i>Damping</i>	R1 (Rayl/m)
Painéis de VIROC	1350	1 - 6	0,010	-
Betão	2500	30	0,010	-
Lã de Rocha	70	-	-	22 000

### 5.3.1. Solução de grande espessura com conectores metálicos

Esta solução é constituída por um bloco de betão armado de 150 mm, uma caixa de ar com os conectores metálicos de 50 mm, preenchida com 40 mm de lã de rocha e um painel de VIROC de 10 mm, como se ilustra na Figura 39.

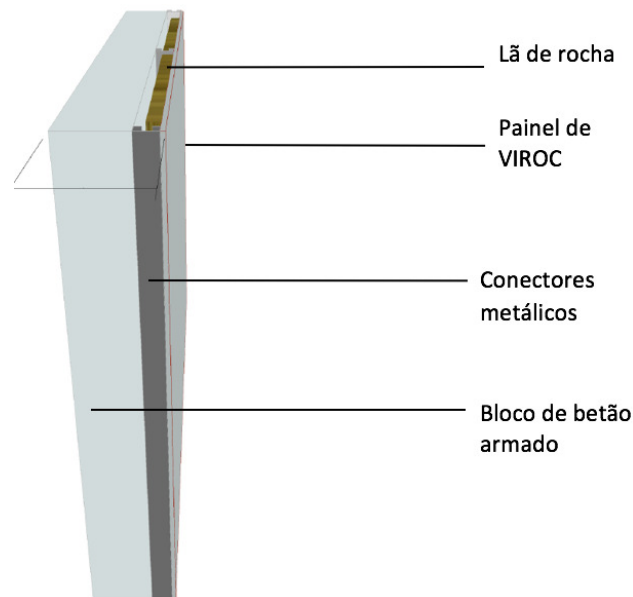


Figura 39 – Solução de grande espessura com os conectores “*Metallstander 25g*” – Solução SV1

O resultado de  $R_w$  previsto pelo programa é de 66 dB, tanto para um módulo de elasticidade de 1 GPa como de 6 GPa relativamente ao painel de VIROC, aplicando os conectores com um espaçamento de 800 mm. Esta solução embora tenha um índice de isolamento sonoro elevado, a espessura também é de grande relevância.

### 5.3.2. Solução de pequena espessura com conectores metálicos

No que se refere a esta solução, é constituída por dois painéis de VIROC de 10 mm, uma caixa de ar com os conectores metálicos de 50 mm, preenchida com 40 mm de lã de rocha e dois painéis de VIROC de 10 mm, como se ilustra na Figura 40.

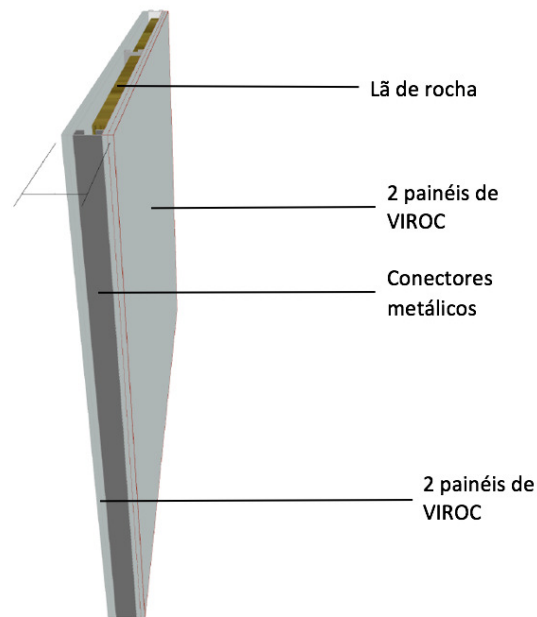


Figura 40 – Solução de pequena espessura com os conectores “*Metallstander 25g*” – Solução SV2

O resultado de  $R_w$  previsto pelo programa pode variar entre 59 e 60 dB, considerando um intervalo entre 1 e 6 GPa no módulo de elasticidade do painel de VIROC, aplicando os conectores com um espaçamento de 800 mm. Apesar deste índice de redução não ser muito elevado, a espessura vai de encontro às soluções mais procuradas, apresentando os valores acima dos mínimos exigidos.

### 5.3.3. Solução de grande espessura com conectores de madeira

Esta solução é constituída por um bloco de betão armado de 150 mm, uma caixa de ar com os conectores de 60 mm, preenchida com 40 mm de lã de rocha e um painel de VIROC de 10 mm, como se ilustra na Figura 41.

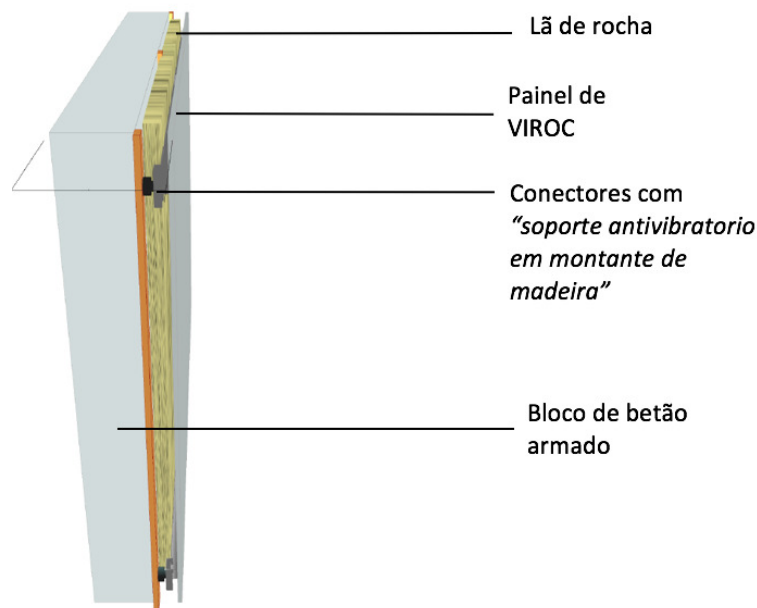


Figura 41 – Solução de grande espessura com os conectores “*Soporte antivibratorio em Montante de Madeira*” – Solução SV3

Para esta solução, o resultado previsto de  $R_w$  é de 71 dB, considerando o intervalo de 1 a 6 GPa relativamente ao módulo de elasticidade do painel de VIROC, utilizando os conectores com um espaçamento de 800 mm.

#### 5.3.4. Solução de pequena espessura com conectores de madeira

Por fim, apresenta-se esta solução, constituída por dois painéis de VIROC de 10 mm, uma caixa de ar com os conectores de 60 mm, preenchida com 40 mm de lã de rocha e dois painéis de VIROC de 10 mm, como se ilustra na Figura 42.

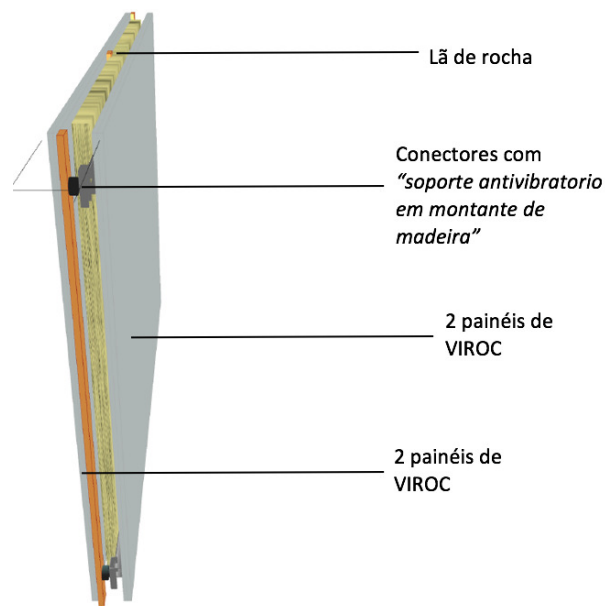


Figura 42 – Solução de pequena espessura com os conectores “*Soporte antivibratorio em Montante de Madeira*” – Solução SV4

Por sua vez, o resultado de  $R_w$  previsto é de 62 dB, tal como nos casos anteriores, utilizando um intervalo de 1 a 6 GPa no módulo de elasticidade do painel de VIROC, aplicando os conectores com um espaçamento de 800 mm.

#### 5.4 Comparação das soluções

Na Tabela 11 e Tabela 12, apresentam-se as diversas soluções de paredes interiores comparando-se o resultado de  $R_w$  com a espessura da mesma.

Na comparação das soluções, a massa volúmica, como se pode constatar, é muito importante, pois quanto maior é a massa volúmica, maior é o índice de redução sonora, porém a espessura do elemento também é maior. No entanto, também é relevante, os tipos de conectores aplicados na caixa de ar e o seu espaçamento, como se pode verificar no estudo paramétrico do anexo E e F, em que para a mesma densidade e o mesmo *damping*, com a variação do módulo de elasticidade e diferentes espaçamentos de conectores, obtêm-se melhores resultados de redução sonora,  $R_w$ , com espaçamentos maiores. Também se pode concluir, o crescente aumento do módulo de elasticidade favorece os resultados de redução sonora,  $R_w$ , melhorando. Outra análise que se fez, foi que para a mesma densidade, o mesmo módulo de elasticidade e vários espaçamentos de conectores, variando o

*damping*, o índice de redução sonora,  $R_w$ , aumenta com o crescente aumento do *damping* e com o aumento do espaçamento dos conectores.

Tabela 11 – Tabela resumo das soluções apresentadas com painel de Magnésio


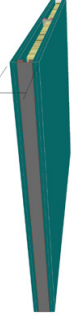



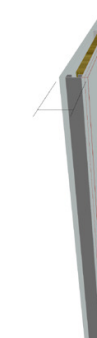
Tipo de painel	Tipo de conector	Descrição	Legenda das soluções	Massa volúmica ( $\text{kg/m}^2$ )	Espessura (cm)	$R_w$ (dB)
Painel de Magnésio	Metallstander 25g		SM1	389,6	21,2	65
			SM2	49,8	9,8	55
	Soporte antivibratorio em Montante de Madeira		SM3	389,6	22,2	70
			SM4	49,8	10,8	59

Tabela 12 – Tabela resumo das soluções apresentadas com painel de VIROC

Tipo de painel	Tipo de conector	Descrição	Legenda das soluções	Massa volúmica (kg/m <sup>2</sup> )	Espessura (cm)	R <sub>w</sub> (dB)
Painel de VIROC	<i>Metallstander</i> 25g		SV1	391,3	21,0	66
			SV2	56,8	9,0	59-60
	<i>Soporte antivibratorio em Montante de Madeira</i>		SV3	391,3	22,0	71
			SV4	56,8	10,0	62

Relativamente às soluções apresentadas, pode-se constatar que as soluções com mais massa volúmica e maior espessura são as que apresentam melhores resultados de  $R_w$ , no entanto, cada vez mais são procuradas soluções com pequenas espessuras para bons resultados de  $R_w$ . Em vista disso, a melhor solução com a relação espessura-melhor resultado é a que contém duas placas de VIROC de 10 mm, o “Soporte Antivibratorio em Montante de Madeira” de 70 mm contendo 40 mm de lã de rocha de  $70 \text{ kg/m}^3$  e mais duas placas de VIROC de 10 mm, pois fica com uma espessura total de 11 cm e prevê-se um resultado de  $R_w$  de 63 dB com o auxílio do programa INSUL, podendo-se consultar o estudo paramétrico de uma solução com grande espessura e outra solução com pequena espessura no anexo F.



## **Capítulo 6 – Considerações Finais**

---

## **CAPÍTULO 6**

### 6. Considerações Finais

- 6.1. Aprendizagem pessoal
- 6.2. Principais conclusões
- 6.3. Dificuldades sentidas
- 6.4. Desenvolvimento de estudos futuros

## **6. Considerações Finais**

### **6.1. Aprendizagem pessoal**

A acústica de edifícios é imprescindível para o bem-estar dos utilizadores dos edifícios, uma vez que passam mais de 80% do seu tempo em espaços fechados, para tal é necessário que também haja uma boa execução em obra. Utilizando os conhecimentos adquiridos na Universidade e aplica-los no âmbito do estágio foi uma tarefa desafiante, pois o tema da acústica ainda não é muito estudado. Além disso permitiu que acumulasse conhecimento pela visita às várias obras, como também a análise destas soluções em projeto.

Este estágio também me proporcionou a experiência de estar integrada numa empresa com estrutura técnica grande bem como me potenciou a participação em ensaios realizados numa das obras da empresa.

### **6.2. Principais conclusões**

A realização do relatório de estágio, teve como principais objetivos a avaliação de ensaios de isolamento sonoro realizados em várias obras da empresa CIVILRIA e novas propostas de soluções mais eficazes no que diz respeito ao nível acústico.

Primeiramente foram apresentados vários conceitos da acústica de edifícios e a importância da acústica de edifícios na qualidade de vida dos utentes.

O processo de análise de soluções do capítulo 3 teve diversas etapas. Iniciando por um estudo dos projetos das três obras e a localização das soluções ensaiadas, no sentido de verificar e perceber as áreas e a sua geometria, de forma a que o estudo das soluções fosse o mais correto possível, pois ainda foram detetados alguns lapsos na caracterização de soluções e na localização dos ensaios. Foi realizado um estudo pelo método da Lei da massa, para que através da massa volúmica de cada solução se obtivessem valores de índice de redução sonora,  $R_w$ . Para que se pudesse realizar uma comparação entre valores do método e do ensaio, fez-se uma previsão analítica através de uma folha de calculo, para se prever qual o  $R_w$  correspondente ao  $D_{nT,w}$  do ensaio contabilizando as transmissões marginais. E por fim utilizou-se o programa INSUL para prever o índice de redução sonora. Verificando-se que na maioria das soluções os resultados eram semelhantes.

No capítulo 4, foram pesquisados dados técnicos sobre dois tipos de materiais e suas características para aplicar em novas soluções, e diferentes tipos de conectores com o objetivo de reduzir a espessura das soluções com maior redução sonora,  $R_w$ . Também se executou um estudo paramétrico onde se variou as características dos materiais, tais como o módulo de elasticidade, a densidade e o *damping* e ainda, o espaçamento dos conectores, onde se pôde concluir que o índice de redução sonora pouco variava com a exceção da variação da densidade, apesar de não ser grande para o intervalo de valores em estudo, provando que a densidade do material é talvez a característica mais importante, fazendo toda a diferença.

As soluções ideais nos dias de hoje, seriam as mais finas possíveis e com altos valores de índice de redução sonora,  $R_w$ , mas como se pode concluir pelo estudo anteriormente executado, para haver bons resultados, o ideal é o material ter uma grande densidade e para tal a espessura também é mais elevada do que o pretendido. Contudo já começam de existir materiais e soluções que tendo uma pequena espessura conduzem a um índice de redução sonora combinados com conectores de ligação nas caixas de ar, mais alto.

### **6.3. Dificuldades sentidas**

Um dos principais objetivos do estágio, como já foi referido anteriormente, consiste em estudar e propor novas soluções, com recurso ao programa INSUL. Para isso é necessário formular uma base de dados no programa com as características dos materiais utilizados, como tal essa base de dados é muito impactante para os resultados finais das soluções.

Uma das dificuldades sentidas na parte da constituição de soluções alternativas, foi a falta de informação técnica das características dos materiais, dificultando assim o estudo das soluções e tendo que se atribuir intervalo de valores plausíveis, tendo por base materiais semelhantes. No caso dos painéis de VIROC e no caso dos painéis de Magnésio existiam vários fornecedores com dados bastante dispersos, tendo que optar pelo uso dos dados de um dos fornecedores. Além disso, como a versão do programa era a primeira para os computadores portáteis MAC, tinha alguns “*bugs*”, sendo que um deles era que o programa bloqueava, sem guardar a solução que se estava a criar, o que dificultou e tornou-se mais demoroso o estudo das soluções.

Outra dificuldade que se deparou foi a incoerência entre algumas soluções descritas na memória descritiva dos projetos e o que foi realmente construído em obra, e a falta de fiabilidade na indicação dos compartimentos ensaiados, no que diz respeito à indicação do emissor e do recetor, isto condicionando o estudo executado aos elementos ensaiados. Uma vez que foi necessário saber a constituição das soluções ensaiadas e das paredes e elementos construtivos adjacentes para que se pudesse comparar resultados entre os do ensaio, pela Lei da Massa e pelo *software* INSUL.

#### **6.4. Desenvolvimento de estudos futuros**

O estudo desenvolvido no presente trabalho, poderá ser ampliado em trabalhos futuros, propondo-se que se desenvolvam mais ensaios para cada tipo de solução estudada, para haver uma melhor comparação de soluções e uma melhor análise dos valores obtidos.

Também é de grande relevância o estudo a novos materiais, na medida em que é importante que se façam ensaios com novas soluções para analisar o resultado das mesmas e para perceber melhor o seu comportamento no que diz respeito à redução de ruído sonoro.

Por fim, como este estudo incidiu mais em soluções de isolamento de ruído aéreo de paredes interiores, seria interessante uma análise de soluções de fachadas com grandes vãos envidraçados, visto que na construção atual é na tendência crescente. Também seria interessante, estudar e analisar soluções para a reabilitação, como por exemplo, analisar e ensaiar o caso da solução “box in a box”.



## **Referências Bibliográficas**

---





## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. J. Leão, “Acústica de Edifícios. Recomendações Técnico-Práticas para a Concepção de Edifícios Escolares E De Habitação,” Faculdade de Engenharia do Porto, 1994.
- [2] D. I. S. Duarte, “O Desempenho Acústico dos Edifícios e os Pormenores Construtivos,” UCoimbra, 2015.
- [3] D. Mateus, “Acústica de Edifícios e Controlo de Ruído,” 2008.
- [4] J. T. Martins, “ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS - VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DO CÁLCULO DE TRANSMISSÕES,” Faculdade de Engenharia do Porto, 2008.
- [5] S. M. da S. Anastácio, “Estágio CERTIFER – medições acústicas e tratamento de dados,” Aveiro, 2011.
- [6] J. Patrício, *acústica nos edifícios*, 2003rd ed. 2003.
- [7] N. Sousa, “Caracterização do comportamento acústico a sons de percussão de soluções à base de espumas de poliuretano,” Faculdade de Engenharia do Porto, 2012.
- [8] D. M. Queirós, “Caracterização do Comportamento Acústico de Edifícios Reabilitados,” Faculdade de Engenharia do Porto, 2010.
- [9] G. M. Pires, “Modelos de Cálculo para o Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea entre Compartimentos,” Faculdade de Ciências de Lisboa, 2012.
- [10] A. R. Ferreira, “Soluções Técnicas para Isolamento Sonoro de Edifícios de Habitação,” Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2007.
- [11] E. B. Dias, Ed., *Manual de Alvenaria de Tijolo*, 2ª edição. Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro.
- [12] “Sound Insulation Prediction Program - Users Manual.” Marshall Day Acoustics,

2017.

- [13] A. Minhalma, “Análise Modal de um Edifício de Paredes de Alvenaria Resistente,” Faculdade de Ciências e Tecnologia de Lisboa, 2015.
- [14] P. R. Pragosa, “Desempenho das argamassas de betonilha com incorporação de RCD,” Técnico de Lisboa, 2012.

## Internet

- [w.1] Knauf – Tipo Standard A: <https://www.knauf.pt>
- [w.2] Secil – ficha técnica:  
[https://www.secilargamassas.pt/uploads/documentos/Ficha\\_Tecnica\\_ISODUR.pdf](https://www.secilargamassas.pt/uploads/documentos/Ficha_Tecnica_ISODUR.pdf)
- [w.3] Texsa – Texsimpact:  
[http://www.texsa.com/en/pl39/productos/id642/texsimpact.htm?fcate\\_39=328#pestanyesPro ducte1](http://www.texsa.com/en/pl39/productos/id642/texsimpact.htm?fcate_39=328#pestanyesPro ducte1)
- [w.4] Fibrosom – Aglomerado negro de cortiça: <http://www.fibrosom.com>
- [w.5] Danosa – Impactodan 5:  
<http://portal.danosa.com/danosa/CMServlet?node=620005&lng=4&site=3>
- [w.6] Lajes Minos- Catálogo pdf
- [w.7] Isover – Fonas 2.8: <https://www.isover.pt/produtos/fonas-28>
- [w.8] Imagem de ensaio a sons aéreos entre compartimentos:  
<http://melhoracustica.com.br/acustica-em-uma-obra-ensaios-de-desempenho-acustico/>
- [w.9] Imagem de ensaio a sons aéreos na fachada: <https://www.dbwave.pt/portfolio-servicos/medicao-de-isolamento-sonoro/>
- [w.10] Magnesiacore: <http://www.magnesiacore.com>

[w.11] VIROC: <http://www.viroc.pt>

[w.12] Eurocódigo 2

[w.13] Norma EN 12354-1

### **Software utilizado**

Insul90: 2017

### **Documentos não citados**

N. F. Silva, “Avaliação Do Desempenho Acústico De Edifícios De Habitação,” 2016

G. M. Pires, “Modelos de Cálculo para o Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea entre Compartimentos,” 2012

D. M. Queirós, “Caracterização do Comportamento Acústico de Edifícios Reabilitados,” 2010.



---

## **Anexos**

---



Anexo A – Tabela das soluções analisadas, respetivos valores de calculo e utilizados e valores de comparação.

	Tipo de solução	Espessura (cm)	Obras	Massa Volúmica Kg/m <sup>2</sup>	$\Delta R_w$ dB	$R_w$ pela lei da massa	$\Delta R_w$		$D_{nT,w}$ Valor calculo tabela	$R'_w$ Valor cálculo	$D_{nT,w}$ ensaio	$R'_w$ ensaio	$R_w$ Tabela de cálculo	K Trans. marginais	$R_w$ do INSUL dB
							Parede	recetor							
Paredes	Bloco maciço de 15cm + gesso projetado de 3cm + pladur	19,5	BTR (Ensaio 1) Sala - Sala	354	0	53	10	62	55	52	55	52	54	2	55
			BTR (Ensaio 6) Zona de estar - zona de estar				18	48	51	52	54	55	57	2	
	Parede simples de betão armado de 15cm	15	Urban Flat (Ensaio 2)	375	0	54	17	52	50	50	57	57	60	3	56
			Urban Flat (Ensaio 8)				10	52	51	49	55	53	55	2	
			Blanc 1 (Ensaio 1) 1.3A - 1.4A				9	61	53	50	53	50	51	1	
	Parede de blocos de betão de 15cm + Lã de rocha (3cm) + Tijolo de 9cm + Gesso projetado nas duas faces	30	Vita Housing (Ensaio 4)	422	0	56	11	35	50	50	50	50	52	2	57
			Vita Housing (Ensaio 6)				18	63	51	51	50	50	51	1	
			Vita Housing (Ensaio 8)				19	60	51	51	49	49	50	1	
			Vita Housing (Ensaio 9)				17	55	51	51	47	47	48	1	
	Parede de betão armado (15cm) + tijolo de 9cm + gesso projetado	25,5	Blanc 1 (Ensaio 5) sala - escadas	472	0	56	9,22	60,0	54	51	51	48	49	1	57

Valores de cálculo

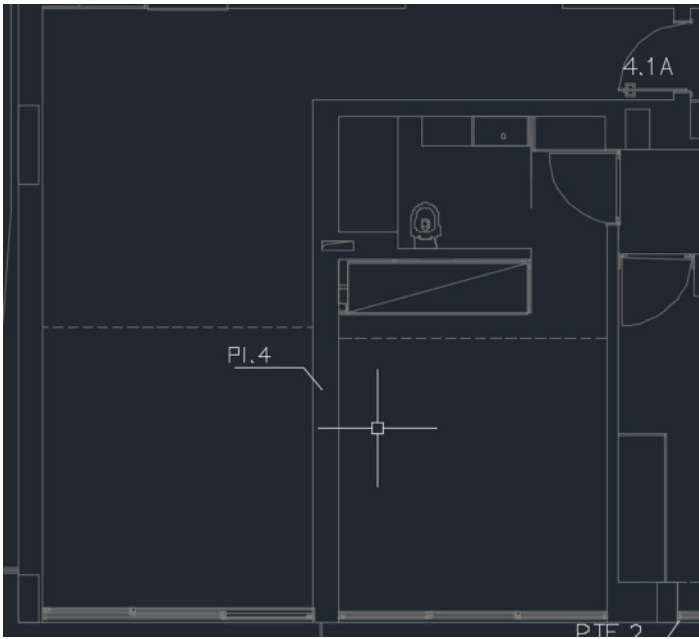
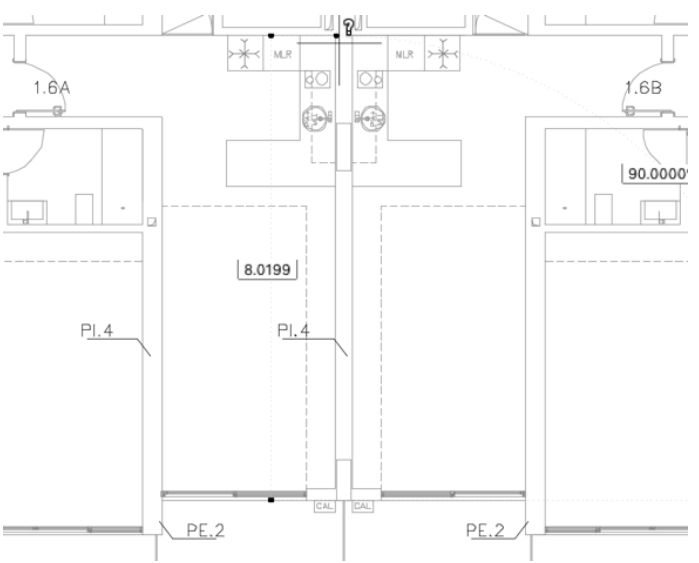
Valores de comparação

Valores de ensaio feito em obra

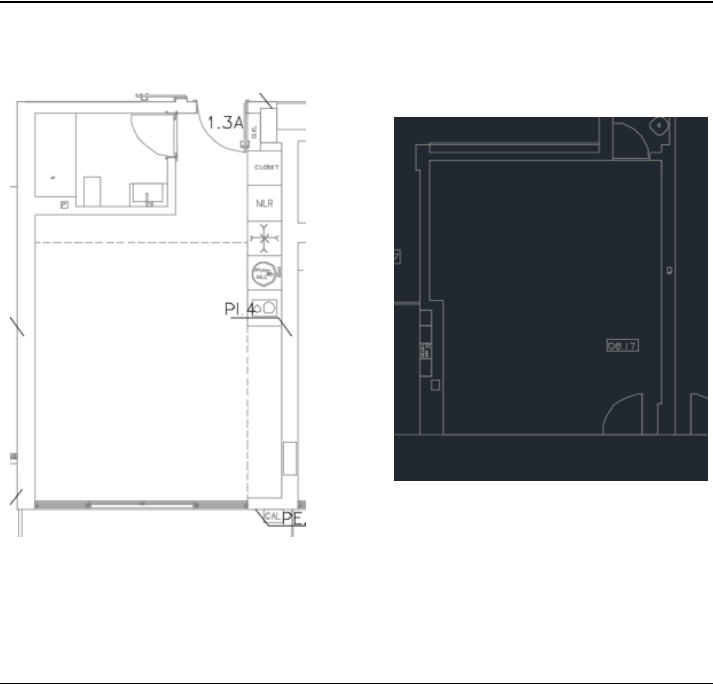
	Tipo de solução	Espessura (cm)	Obras	Massa Volúmica Kg/m <sup>2</sup>	$\Delta R_w$ dB	$R_w$ pela lei da massa	Área (m <sup>2</sup> ) Parede	Volume (m <sup>3</sup> ) recetor	$D_{nT,w}$ Valor calculo tabela	$R'_w$ Valor cálculo	$D_{nT,w}$ ensaio	$R'_w$ ensaio	$R_w$ Tabela de cálculo	K Trans. marginais	$R_w$ do INSUL dB
Lajes	Revestimento com pavimento estratificado + Material de dessolidarização e absorção acústica em cortiça, CR11/2 cm + tela acústica Fonas 2.8 cm + Laje pré esforçada e pré fabricada (7cm de compressão) + Isolamento constituído por lã de rocha projetada (5cm) ( e teto falso com gesso cartonado)	41	Vita Housing (Ensaio 2) comercio / apartamento	637	0	59	25,5	61,2	49	50	60	61	67	6	64
	Laje aligeirada de betão + tela acústica célula fechada 0,5cm + betonilha com inertes de poliestireno 10cm + estratificado 0.7cm	41,2	BTR (Ensaio 3) fração I - T	480	0	53	16,8	40,6	59	60	51	52	54	2	62
	betonilha 5cm + material de dessolidarização e absorção acústica de polipropileno reticulado do tipo "Impactodan da Danosa" 0,5cm + argamassa com inertes de poliestireno expandido tipo "Betespuma" 5cm + laje fungiforme maciça com 20cm de espessura	30,5	Urban Flat (Ensaio 4)	625	0	59	20	65	53	53	55	55	58	3	62
			Urban Flat (Ensaio 10)				20	52	56	57	56	57	60	3	
			Blanc 1 (Ensaio 3)				25	60	59	60	58	59	57	-2	




Anexo B – Tabelas das soluções analisadas e as características dos materiais envolventes dos elementos ensaiados

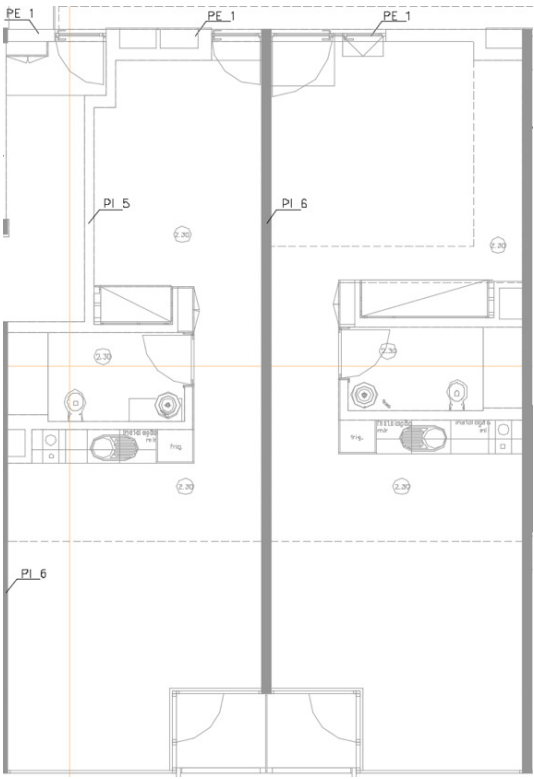
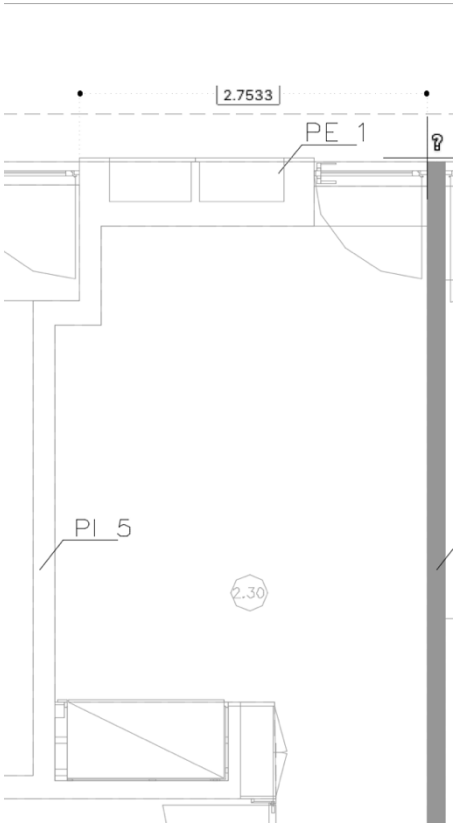
Soluções em estudo		Volume recetor (m <sup>3</sup> )	Área da solução (m <sup>2</sup> )	Massa volúmica (Kg/m <sup>2</sup> )	Comprimento da junção	ΔR <sub>w</sub> (dB)	R <sub>w</sub> (lei da Massa, gráfico)	Junção	D <sub>nT,w</sub> (ensaio)	R <sub>w</sub> (tabelas de cálculo)	R <sub>w</sub> (INSUL)		
 <p>Vita Housing</p>		4.1A/4.2A (ensaio4)	Parede de blocos de betão + Lã de rocha (3cm) + Tijolo de 9cm + Gesso projetado nas duas faces			422	-	0	56	-			
		Envolventes do 4.1A/4.2A	(1) Fachada (envidraçada)			35	0	0	30	2			
			(2) Parede igual à do ensaio			422	2,4	0	52	3			
			(3) Laje inferior, Revestimento com pavimento estratificado + Material de dessolidarização e absorção acústica em cortiça, CR11/2 cm +Laje pré esforçada e pré fabricada (7cm de compressão)	35	11	624	4,6	0,33	55	1	50	52	57
			(4) Laje superior, Revestimento com pavimento estratificado + Material de dessolidarização e absorção acústica em cortiça, CR11/2 cm +Laje pré esforçada e pré fabricada (7cm de compressão)			624	4,6	0,33	55	1			
		1.5A/1.2B (ensaio6) Supondo que o ensaio foi 1.6A / 1.6B	Parede de blocos de betão + Lã de rocha (3cm) + Tijolo de 9cm + Gesso projetado nas duas faces			422	-	0	56	-			
		Envolventes do 1.6A / 1.6B	(1) Fachada (envidraçada)			35	0	0	30	2			
			(2) Parede igual à do ensaio			422	2,4	0	52	1			
			(3) Laje inferior, Revestimento com pavimento estratificado + Material de dessolidarização e absorção acústica em cortiça, CR11/2 cm +Laje pré esforçada e pré fabricada (7cm de compressão)	63	18	624	8	0,33	55	1	50	51	57
			(4) Laje superior, Revestimento com pavimento estratificado + Material de dessolidarização e absorção acústica em cortiça, CR11/2 cm +Laje pré esforçada e pré fabricada (7cm de compressão)			624	8	0,33	55	1			



	1.4B / 1.5B (ensaio9)	Parede de blocos de betão + Lã de rocha (3cm) + Tijolo de 9cm + Gesso projetado nas duas faces	55	17	422	-	0	56	-	47	48	57
	Envolventes 1.4B / 1.5B	(1) Fachada (envidraçada)			35	0	0	30	2			
		(2) Parede igual à do ensaio			422	2,4	0	52	2			
		(3) Laje inferior, Revestimento com pavimento estratificado + Material de dessolidarização e absorção acústica em cortiça, CR11/2 cm + tela acústica Fonas 2.8 +Laje pré esforçada e pré fabricada (7cm de compressão) + Isolamento constituído por lã de rocha (5cm) ( e teto falso com gesso cartonado)			628	2,55	0,33	55	1			
(4) Laje superior, Revestimento com pavimento estratificado + Material de dessolidarização e absorção acústica em cortiça, CR11/2 cm +Laje pré esforçada e pré fabricada (7cm de compressão)	624	2,55	0,33	55	1							
	3.6A / 3.6B (ensaio8)	Parede de blocos de betão + Lã de rocha (3cm) + Tijolo de 9cm + Gesso projetado nas duas faces	60	19	422	-	0	56	-	49	50	57
	Envolventes do 3.6A / 3.6B	(1) Fachada (envidraçada)			35	0	0	30	2			
		(2) Parede igual à do ensaio			422	2,4	0	52	1			
		(3) Laje inferior, Revestimento com pavimento estratificado + Material de dessolidarização e absorção acústica em cortiça, CR11/2 cm +Laje pré esforçada e pré fabricada (7cm de compressão)			624	8	0,33	55	1			
(4) Laje superior, Revestimento com pavimento estratificado + Material de dessolidarização e absorção acústica em cortiça, CR11/2 cm +Laje pré esforçada e pré fabricada (7cm de compressão)	624	8	0,33	55	1							

	Loja1, blocoA / 1.3A (ensaio2)	Revestimento com pavimento estratificado + Material de dessolidarização e absorção acústica em cortiça, CR11/2 cm + tela acústica Fonas 2.8 +Laje pré esforçada e pré fabricada (7cm de compressão) + Isolamento constituído por lã de rocha (5cm) ( e teto falso com gesso cartonado)	61,2	25,5	637	-	0,33	59	-	60	67	64
	Envolventes da Loja1, blocoA / 1.3A	(1) Fachada (envidraçada)			35	0	0	30	2			
		(2) Parede simples de blocos maciços de betão + gesso projetado nas duas faces			420	5,2	0	52	1			
		(3) Parede dupla de bloco de betão + lã de rocha + tijolo de 9cm + gesso projetado nas duas faces			322	6,15	0	49	1			
		(4) Parede dupla de bloco de betão + lã de rocha + tijolo de 9cm + gesso projetado nas duas faces			322	6,15	0	49	1			

Urban Flat

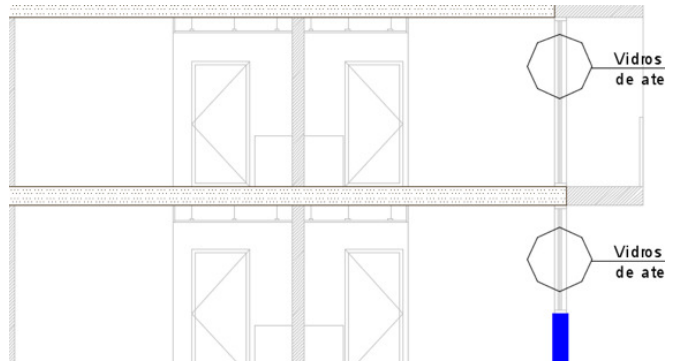
	0.2 / 0.3 (ensaio2)	Parede simples de betão armado de 15cm	52	17	375	7,2	0	54	-	57	60	56
	Envolventes 0.2 / 0.3	(1) Fachada (envidraçada)			30	0	0	28	2			
		(2) Parede simples de betão armado de 15cm			375	2,4	0	51	2			
		(3) Laje inferior, betonilha 5cm + material de dessolidarização e absorção acústica de polipropileno reticulado do tipo "Impactodan da Danosa" 0,5cm + poliuretano projectado (45kg/m3) 5cm + laje fungiforme maciça com 20cm de espessura			587	7,2	8	54	1			
		(4) Laje superior, betonilha 5cm + material de dessolidarização e absorção acústica de polipropileno reticulado do tipo "Impactodan da Danosa" 0,5cm + argamassa com inertes de poliestireno expandido tipo "Betespuma" 5cm + laje fungiforme maciça com 20cm de espessura			613	7,2	8	55	1			

	1.1 / 1.2 (ensaio8)	Parede simples de betão armado de 15cm	52	10	375	7,2	0	54	-	55	55	56
	Envolventes Zona Comum / 1.2	(1) Fachada (envidraçada)			30	0	0	28	2			
		(2) Parede simples de betão armado de 15cm			375	2,4	0	51	2			
		(3) Laje superior, betonilha 5cm + material de dessolidarização e absorção acústica de polipropileno reticulado do tipo "Impactodan da Danosa" 0,5cm + argamassa com inertes de poliestireno expandido tipo "Betespuma" 5cm + laje fungiforme maciça com 20cm de espessura			613	7,2	8	55	1			
		(4) Laje superior, betonilha 5cm + material de dessolidarização e absorção acústica de polipropileno reticulado do tipo "Impactodan da Danosa" 0,5cm + argamassa com inertes de poliestireno expandido tipo "Betespuma" 5cm + laje fungiforme maciça com 20cm de espessura	613	7,2	8	55	1					
	Zona Comum / 1.2 (ensaio6)	Parede de tijolo térmico (19cm) + Painéis de poliestireno expandido, pelo exterior (4cm) + Gesso projetado, pelo interior + Reboco delgado, pelo interior	52	4	197	2,75	0	45		46		
	Envolventes Zona Comum / 1.2	(1) Parede simples de bloco de betão + gesso projetado nas duas faces			420	2,4	0	52				
		(2) Porta			-	2,4	0	-				
		(3) Laje inferior, betonilha 5cm + material de dessolidarização e absorção acústica de polipropileno reticulado do tipo "Impactodan da Danosa" 0,5cm + argamassa com inertes de poliestireno expandido tipo "Betespuma" 5cm + laje fungiforme maciça com 20cm de espessura			613	2,7	8	55				
		(4) Laje superior, betonilha 5cm + material de dessolidarização e absorção acústica de polipropileno reticulado do tipo "Impactodan da Danosa" 0,5cm + argamassa com inertes de poliestireno expandido tipo "Betespuma" 5cm + laje fungiforme maciça com 20cm d	613	2,7	8	55						

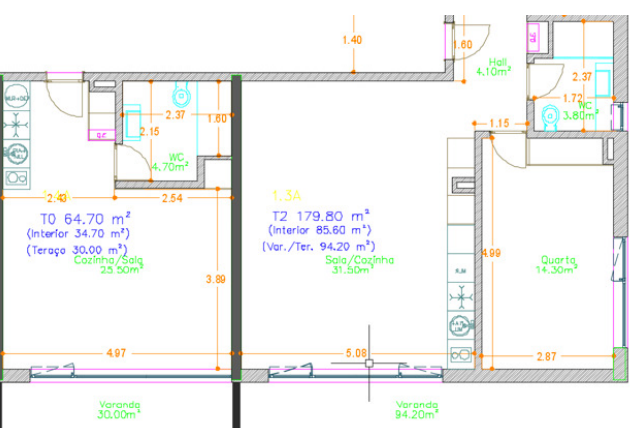
	0.2 / 1.2 (ensaio4)	betonilha 5cm + material de dessolidarização e absorção acústica de polipropileno reticulado do tipo "Impactodan da Danosa" 0,5cm + argamassa com inertes de poliestireno expandido tipo "Betespuma" 5cm + laje fungiforme maciça com 20cm de espessura	65	20	613	-	8	59	-	55	58	62
	Envolventes 0.2 / 1.2	(1) Fachada (envidraçada)			30	0	0	28	2			
		(2) Parede simples de betão armado de 15cm			375	3,25	0	51	2			
		(3) Parede simples de betão armado de 15cm			375	4,2	0	51	1			
		(4) Parede simples de betão armado de 15cm			375	7,15	0	51	1			
	Garagem / 0.2 (ensaio10)	betonilha 5cm + material de dessolidarização e absorção acústica de polipropileno reticulado do tipo "Impactodan da Danosa" 0,5cm + poliuretano projectado (45kg/m3) 5cm + laje fungiforme maciça com 20cm de espessura	52	20	587,25	-	8	58	-	56	60	62
	Envolventes Garagem / 0.2	(1) Fachada (envidraçada)			30	0	0	28	2			
		(2) Parede simples de betão armado de 15cm			375	3,25	0	51	3			
		(3) Parede simples de betão armado de 15cm			375	4,2	0	51	1			
		(4) Parede simples de betão armado de 15cm			375	7,15	0	51	3			

BTR

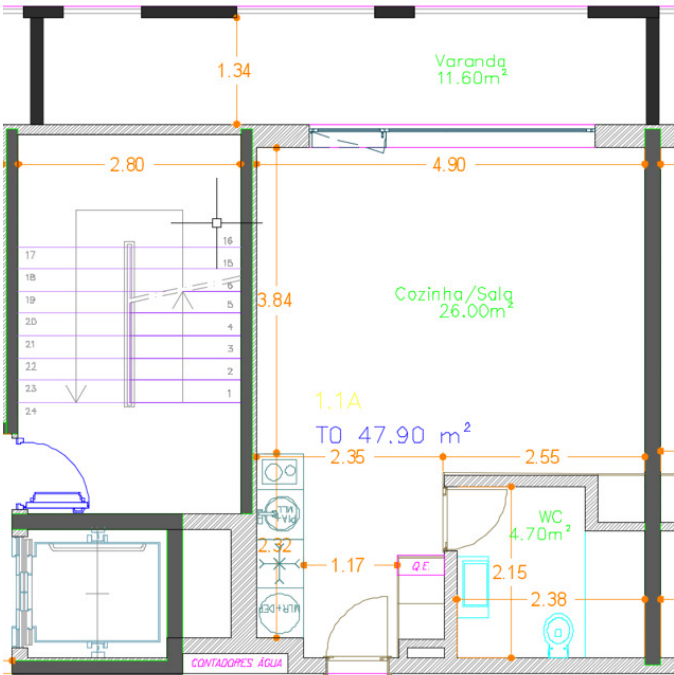
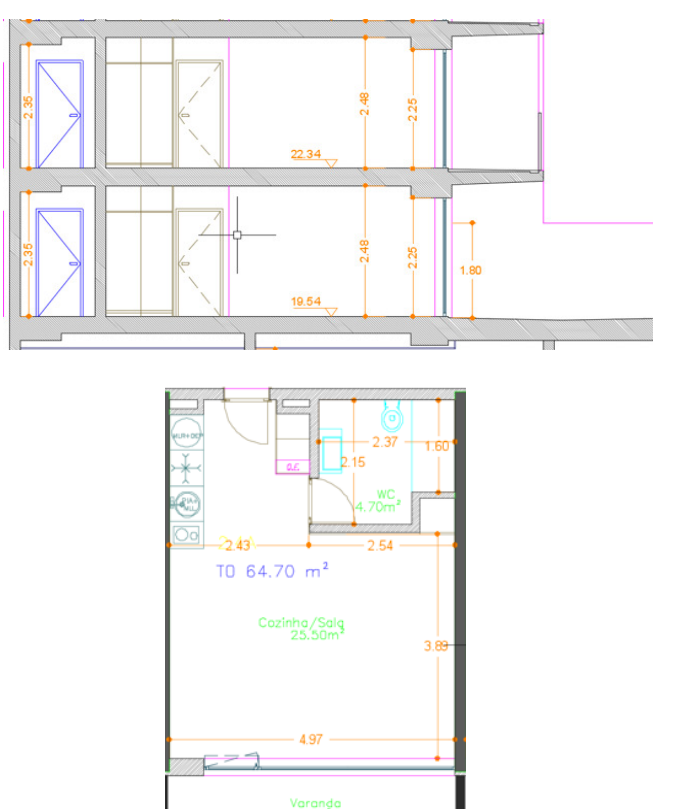
	Ensaio 1 - fração I / fração J (lateral)	Bloco maciço + gesso projetado de 3cm + pladur	62	10	354	-	0	53	-	55	54	55
	Envolventes das frações I / J	(1) Parede de betão de 20cm			500	2,4	0	53	2			
		(2) Fachada (envidraçada)			30	0	0	28	2			
		(3) Laje inferior (garagem), Lã de rocha projetada com 3cm + laje de betão + tela acústica célula fechada + betonilha com inertes de poliestireno de 10cm + estratificado de 0,7cm			837,5	5,75	6	58	1			
	(4) Laje superior, Betão + tela acústica célula fechada 0,5cm + betonilha com inertes de poliestireno 10cm + estratificado 0.7cm	830	5,75	6	58	1						
	Ensaio 6 - w / X	Bloco maciço + gesso projetado de 3cm + pladur	48	18	354	6,3	0	53	-	54	57	55
	Envolventes das frações W / X	(1) Fachada (envidraçada)			30	0	0	28	2			
		(2) Bloco maciço de 15cm + lã de rocha + tijolo de 9cm + gesso projetado nas duas faces			424	2,4	0	52	2			
		(3) Betão + tela acústica célula fechada 0,5cm + betonilha com inertes de poliestireno 10cm + estratificado 0.7cm			795	6,3	6	57	1			
	(4) Betão + tela acústica célula fechada 0,5cm + betonilha com inertes de poliestireno 10cm + estratificado 0.7cm	795	6,3	6	57	1						

	Ensaio 3 - I / T	Betão + tela acústica célula fechada 0,5cm + betonilha com inertes de poliestireno 10cm + estratificado 0.7cm	40,6	16,8	795	-	6	53	-	51	54	62
	Envolventes das frações I / T	(1) Bloco maciço de 15cm + lâ de rocha + tijolo de 9cm + gesso projetado nas duas faces			502,2	5,75	6	53	1			
		(2) Bloco maciço de 15cm + lâ de rocha + tijolo de 9cm + gesso projetado nas duas faces			502,2	8,85	0	53	1			
		(3) Parede de betão 20cm			500	3,15	0	53	2			
		(4) Fachada (envidraçada)			30	0	0	28	2			

Blanc 1

	Blanc 1 (Ensaio 1) 1.3A - 1.4A	Parede simples de betão armado de 15cm	61	9	375	-	0	54	-	53	51	56
	Envolventes das frações 1.3A - 1.4A	(1) Fachada (envidraçada)			35	0	0	30	2			
		(2) Bloco maciço de betão de 15cm, gesso ou reboco projetado nas duas faces			420	2,4	0	52	2			
		(3) Laje inferior, lâ de rocha projetada com 6cm, laje fungiforme aligeirada com 0.35m, 0.05 de betonilha, tela acústica (célula fechada, Lnw > 21 db), 0.05m de betonilha com inertes de poliestireno, estratificado 0.7cm			928	3,89	6	59	1			
		(4) Laje superior, laje fungiforme aligeirada com 0.35m, 0.05 de betonilha, tela acústica (célula fechada, Lnw > 21 db), 0.05m de betonilha com inertes de poliestireno, estratificado 0.7cm			913	3,89	6	58	1			



	Blanc 1 (Ensaio 5) sala - escadas	Bloco de betão (15cm) + tijolo de 7cm + gesso projetado	60	9,22	472	-	0	53	-	51	50	57
	Envolventes das frações Sala / Escadas	(1) Bloco maciço de betão de 15cm, lâ de rocha com 3cm, tijolo de 9cm e gesso projetado nas duas faces (30cm espessura total)			422	2,4	0	52	3			
		(2) Sistema ETICS (reboco delgado com rede, EPS 6cm), ceresite, tijolo de termoargila de 24 e gesso projetado			277	2,4	0	47	2			
		(3) Laje inferior, lâ de rocha projetada com 6cm, laje fungiforme aligeirada com 0.35m, 0.05 de betonilha, tela acústica (célula fechada, Lnw > 21 db), 0.05m de betonilha com inertes de poliestireno, estratificado 0.7cm			928	3,84	6	59	1			
		(4) Laje superior, laje fungiforme aligeirada com 0.35m, 0.05 de betonilha, tela acústica (célula fechada, Lnw > 21 db), 0.05m de betonilha com inertes de poliestireno, estratificado 0.7cm			913	3,84	6	58	1			
	Blanc 1 (Ensaio 3)	Tecto falso em gesso cartonado, laje fungiforme aligeirada com 0.35m, 0.05 de betonilha, tela acústica, 0.05m de betonilha com inertes de poliestireno, estratificado 0.7cm	60	25	913	-	6	58	-	58	55	65
	Envolventes das frações	(1) Fachada (envidraçada)			35	0	0	30	2			
		(2) Bloco maciço de betão de 15cm, lâ de rocha com 3cm, tijolo de 9cm e gesso projetado nas duas faces (30cm espessura total)			422	4,97	0	52	1			
		(3) Bloco maciço de betão de 15cm, lâ de rocha com 3cm, tijolo de 9cm e gesso projetado nas duas faces (30cm espessura total)			422	3,89	0	52	1			
		(4) Bloco maciço de betão de 15cm, lâ de rocha com 3cm, tijolo de 9cm e gesso projetado nas duas faces (30cm espessura total)			422	3,89	0	52	1			



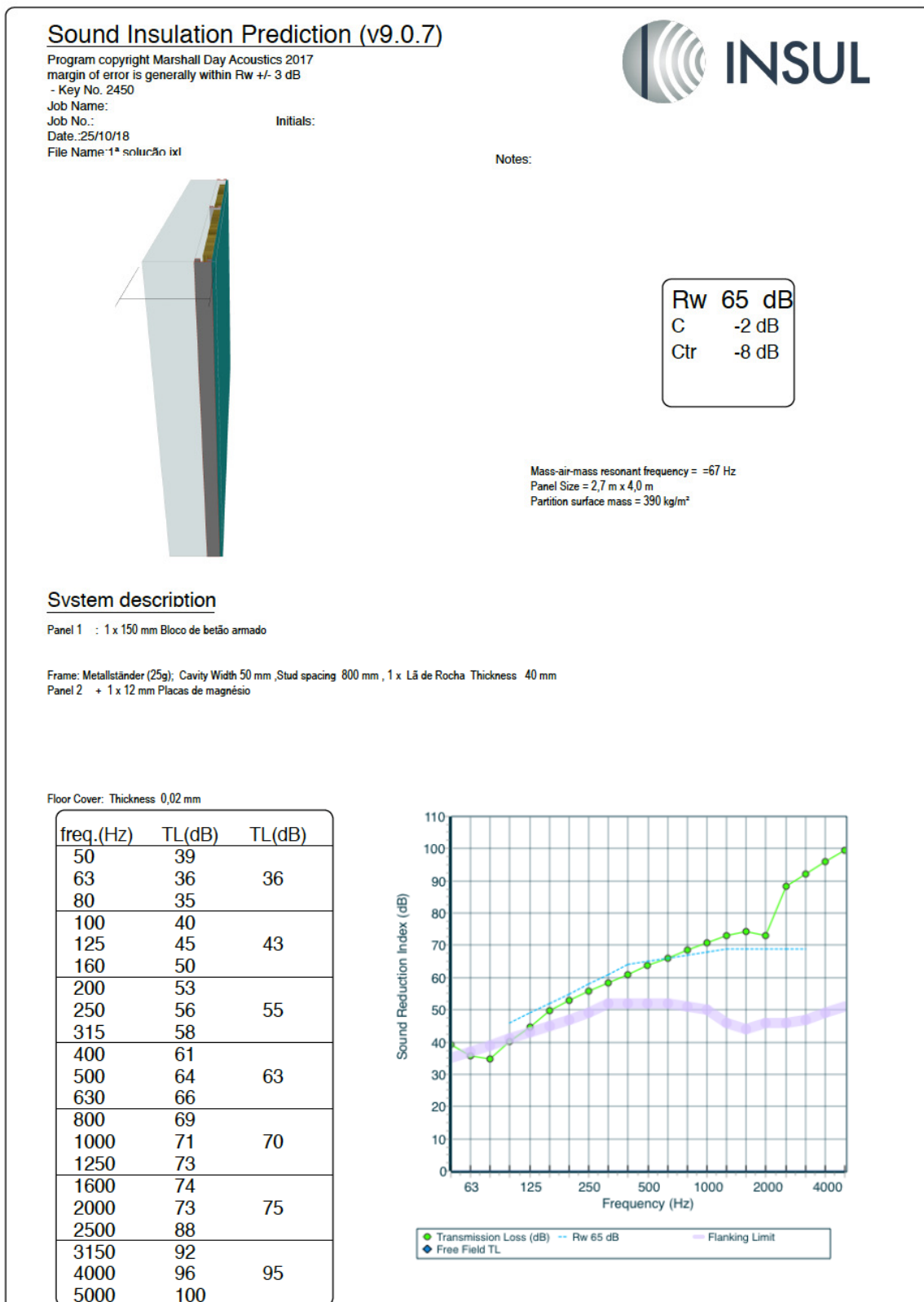
## Anexo C – Características dos materiais dos ensaios [w.1], [w.2], [w.3], [w.4], [w.5], [w.6], [w.7], [13], [14].

Materiais dos ensaios	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Fonte	Módulo de elasticidade (GPa)	Fonte
Bloco de betão armado	2500	EC2	30	EC2
Bloco de betão	2000	Memória descritiva das obras	30	Memória descritiva das obras
Tijolo de 9	830	Adaptado do livro de alvenarias de Tijolos	1,25	Tese António Pedro Silva Minhalma
Lã de rocha	70	Memória descritiva das obras		
Gesso projetado	1500	Memória descritiva das obras	5	Documento de homologação do LNEC
Placas de Gesso	630	Knauf, tipo Standard A	Longitudinal: 2,8 Transversal: 2,2	Knauf Standard A
Poliestireno projetado	300	ISODUR	0,6	ISODUR
Painéis de poliestireno expandido	20	Memória descritiva das obras e documento de homologação do LNEC	0,1	Documento de homologação do LNEC
Betonilhas	1700	Memória descritiva das obras	25	Tese Rui Pedro Pragosa
Argamassa com inertes de poliestireno expandido “Bespuma”	800	Ficha técnica-SECIL (betão leve)	2	Ficha técnica – SECIL (Betão leve)
Tela acústica de célula fechada	25	TEXSA – TEXSIMPACT 5	0,000435	TEXSA – TEXSIMPACT 5
Tela acústica Fonas 2.8	285	Fonas 2.8	0,00014	Fonas 2.8
Material de absorção acústica em cortiça CR11/2cm	130	Fibrosom – Aglomerado negro de cortiça	0,1	Fibrosom – Aglomerado negro de cortiça
Material de absorção acústica tipo Impactodan 5	27	Danosa – Impactodan 5	0,002	Danosa – Impacodan 5
Poliuretano projetado	45	Memória descritiva das obras	0,2	Empresa CELTIPOL
Laje fungiforme maciça	2500	EC2	30	EC2
Laje fungiforme aligeirada	2300	EC2	30	EC2
Laje pré esforçada e pré fabricada	1348	Catálogo das Lajes Minos	30	EC2

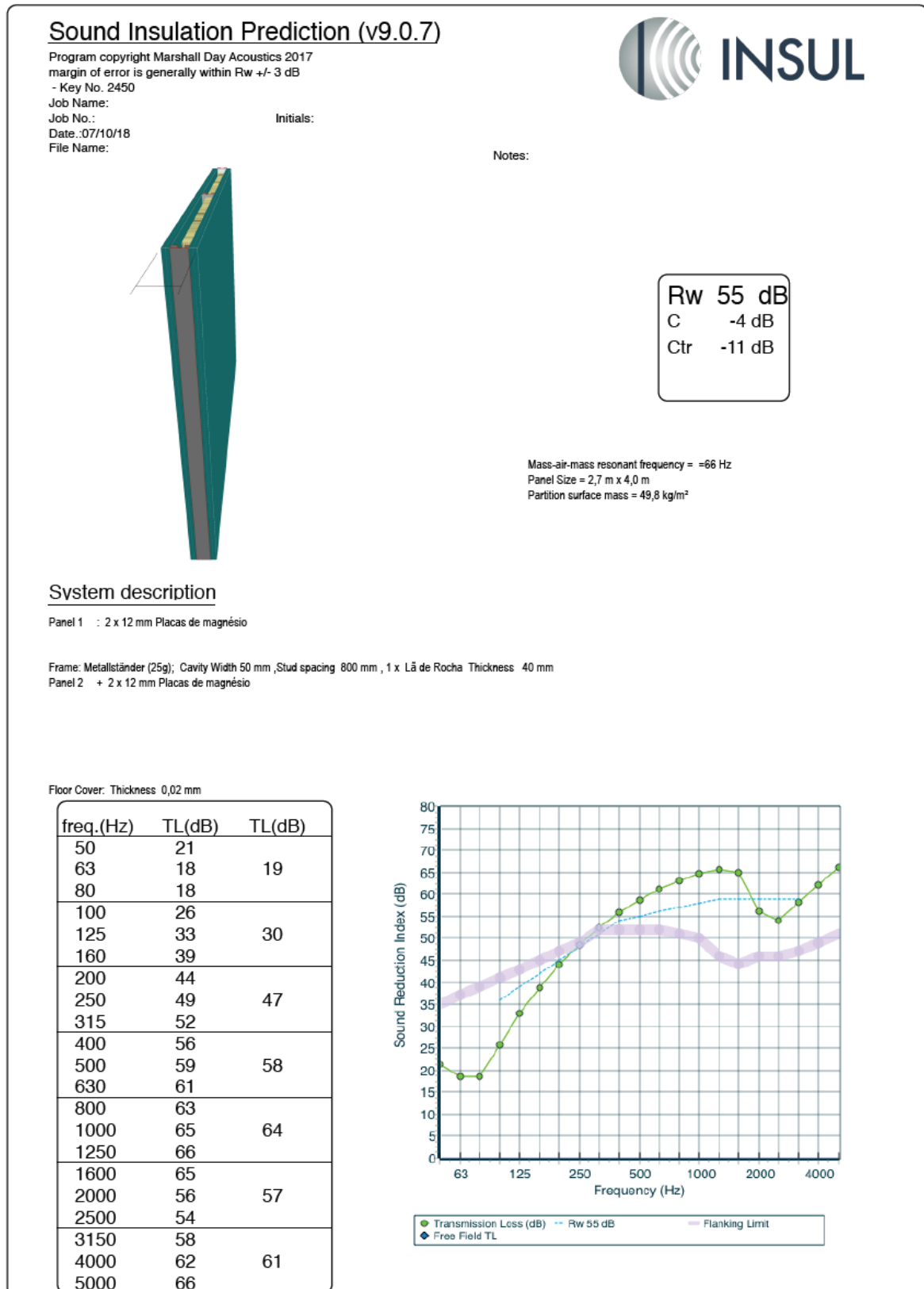


Anexo D – Boletins previstos para as soluções propostas pelo programa INSUL.

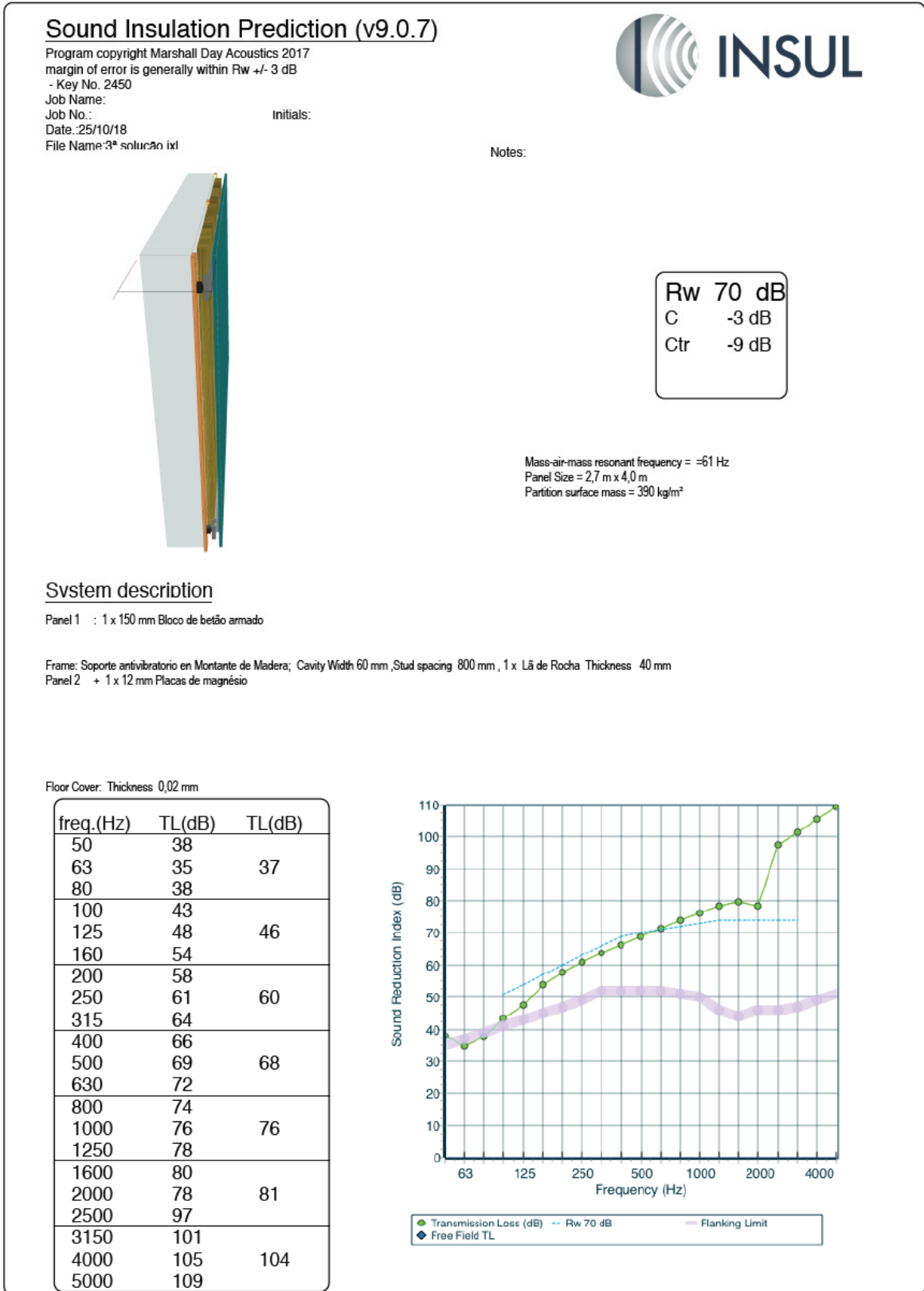
Soluções com painel de Magnésio  
1ª solução



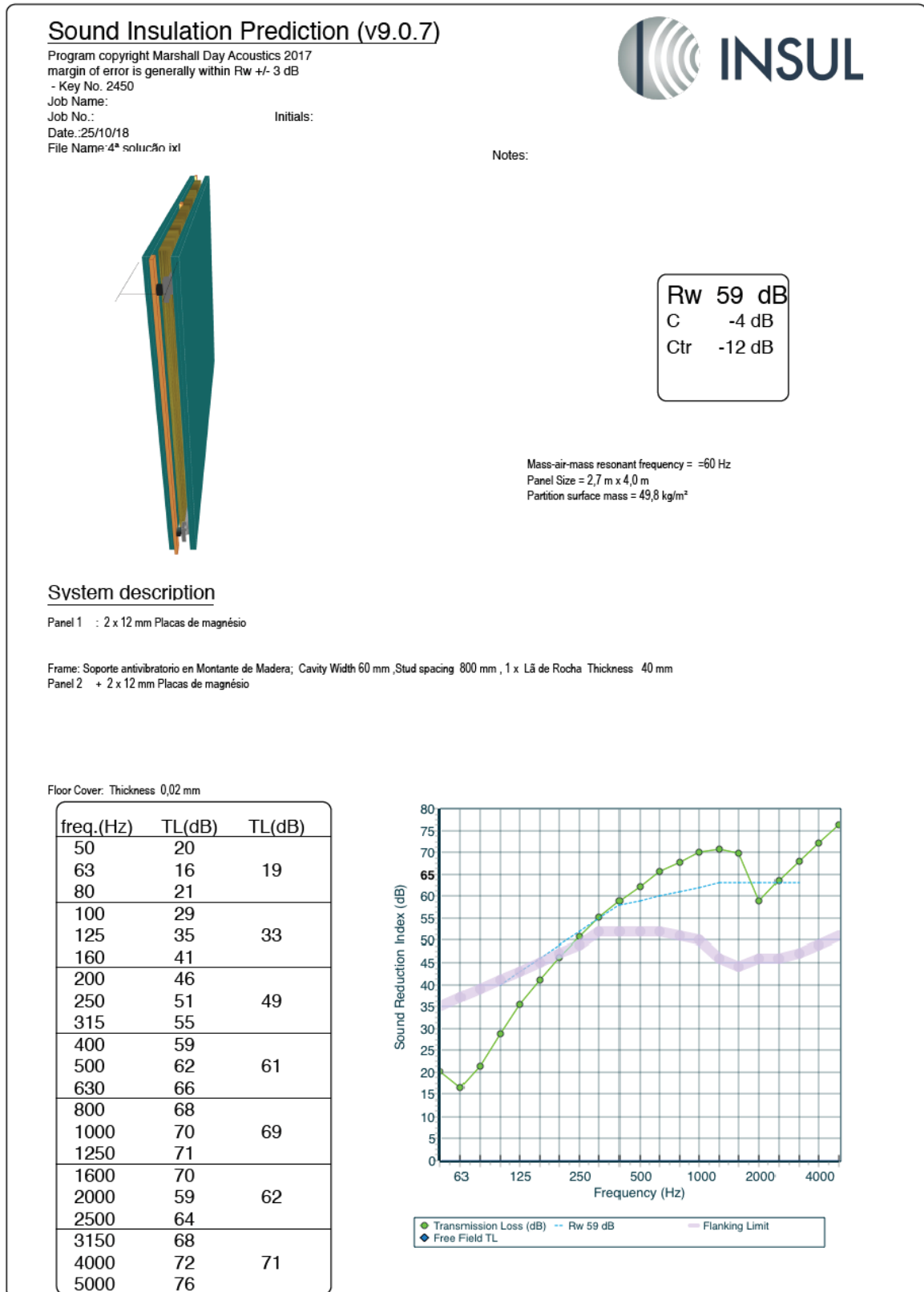
Soluções com painel de Magnésio  
2ª solução



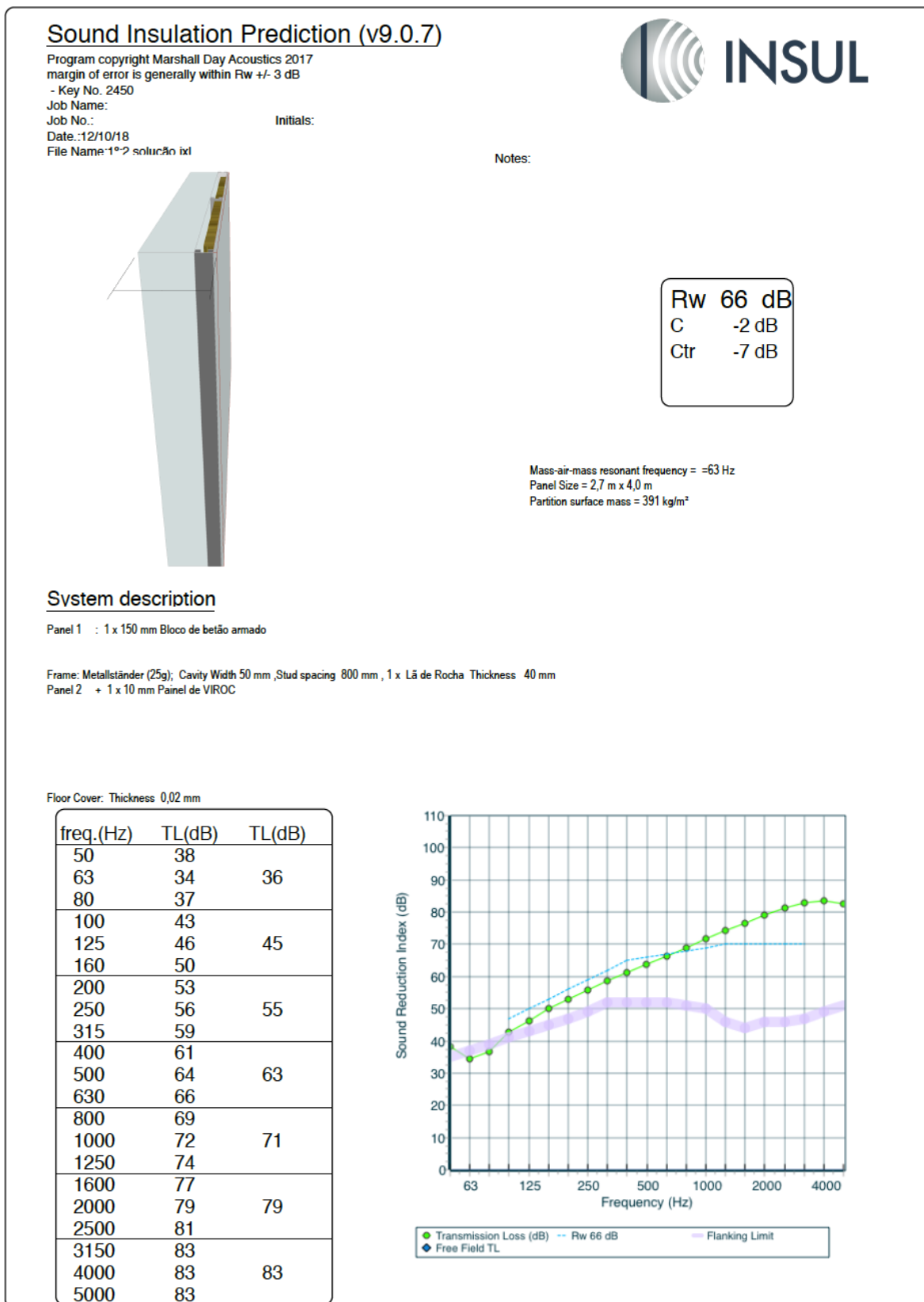
Soluções com painel de Magnésio  
3ª solução



Soluções com painel de Magnésio  
4ª solução



Soluções com painel de VIROC  
1ª solução








Soluções com painel de VIROC  
3ª solução

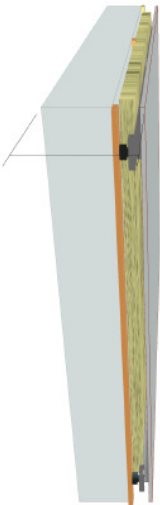
### Sound Insulation Prediction (v9.0.7)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017  
margin of error is generally within  $R_w \pm 3$  dB  
- Key No. 2450

Job Name:  
Job No.:  
Date: 18/10/18  
File Name: 3ª solução.txt

Initials:  
  
Notes:





**$R_w$  71 dB**  
C     -3 dB  
Ctr   -9 dB

Mass-air-mass resonant frequency = -57 Hz  
Panel Size = 2,7 m x 4,0 m  
Partition surface mass = 391 kg/m<sup>2</sup>

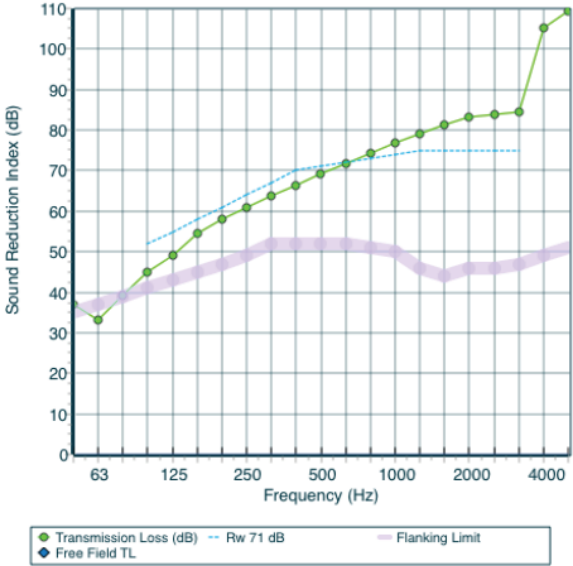
#### System description

Panel 1 : 1 x 150 mm Bloco de betão armado

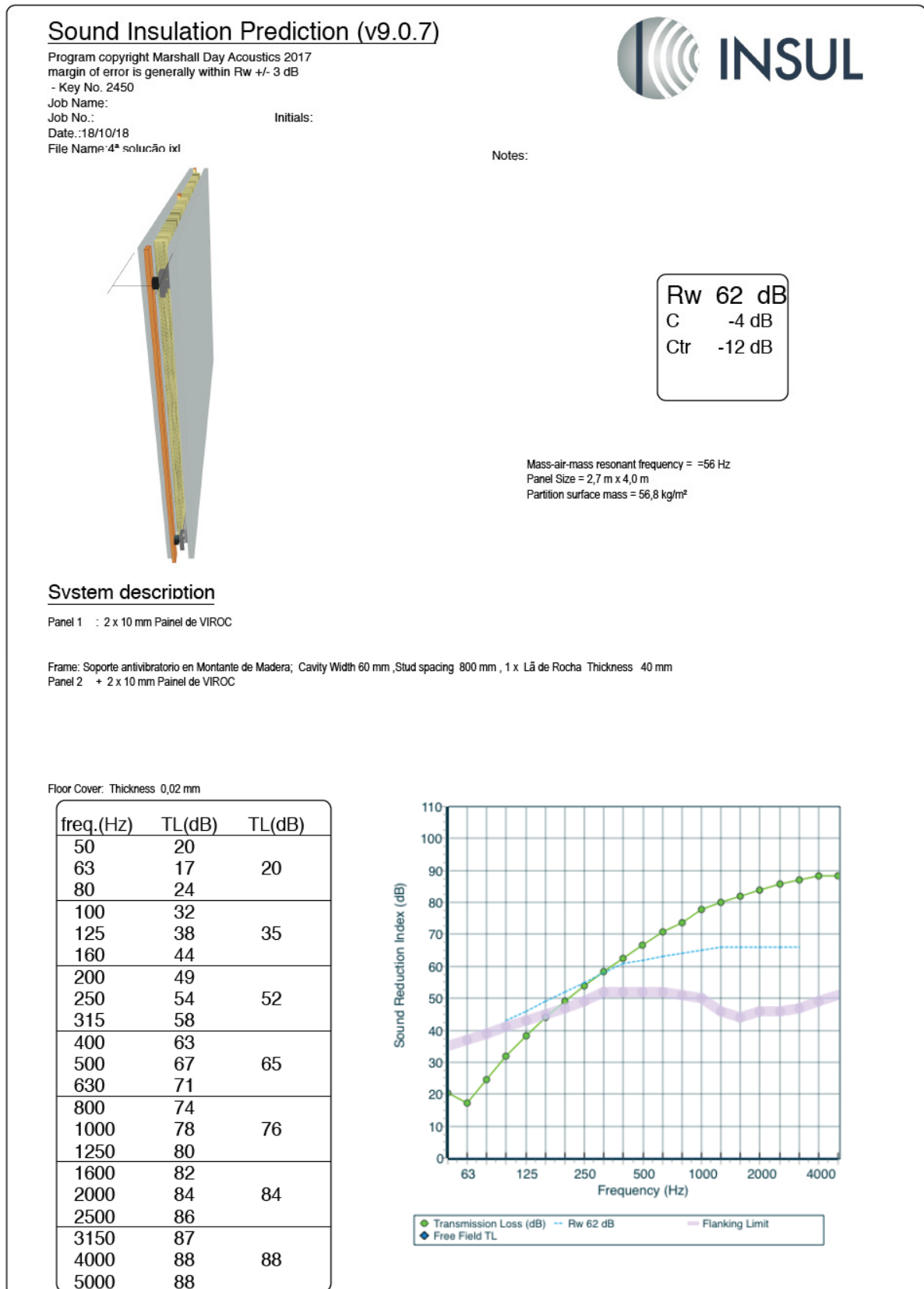
Frame: Soporte antivibratorio en Montante de Madera; Cavity Width 60 mm ,Stud spacing 800 mm , 1 x Lã de Rocha Thickness 40 mm  
Panel 2 : 1 x 10 mm Painel de VIROC

Floor Cover: Thickness 0,02 mm

freq.(Hz)	TL(dB)	TL(dB)
50	37	
63	33	36
80	39	
100	45	
125	49	48
160	55	
200	58	
250	61	60
315	64	
400	66	
500	69	69
630	72	
800	74	
1000	77	76
1250	79	
1600	81	
2000	83	83
2500	84	
3150	84	
4000	105	89
5000	109	



Soluções com painel de VIROC  
4ª solução



Anexo E –Exemplo de uma solução do estudo paramétrico de paredes que se executam atualmente.

Solução – Tijolo de 9 cm + caixa de ar de 4 cm com lã de rocha de 3 cm + tijolo de 9 cm +reboco nas duas faces

Verificação de como varia o  $R_w$  com a variação do módulo de elasticidade e da densidade do tijolo de 9 e utilizando um espaçamento de conectores de 600 mm, 700 mm e 800 mm.

Nas tabelas seguintes estabilizou-se as características do reboco, a caixa de ar, os espaçamentos dos conectores em cada tabela, e o *Damping* do tijolo de 9, variando as características da densidade do tijolo de 9 em cada coluna, como se pode observar nas colunas das células a azul, nas três tabelas seguintes.

Características:			Características:			Características:		
Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	800	Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830	Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	900
	Damping	0,01		Damping	0,01		Damping	0,01
Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750	Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750	Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750
	Damping	0,01		Damping	0,01		Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6		Módulo de Elasticidade	6		Módulo de Elasticidade	6
	Caixa de ar	40		Caixa de ar	40		Caixa de ar	40
	Espaçamento dos conectores	600		Espaçamento dos conectores	600		Espaçamento dos conectores	600

E <sub>tijolo</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	57
1,05	57
1,1	56
1,15	56
1,2	56
1,25	55
1,3	55
1,35	55
1,4	55
1,45	55
1,5	54
1,55	54
1,6	54
1,65	54
1,7	54
1,75	53
1,8	53
1,85	53
1,9	53
1,95	53
2	53

E <sub>tijolo</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	57
1,05	57
1,1	57
1,15	57
1,2	56
1,25	56
1,3	56
1,35	55
1,4	55
1,45	55
1,5	55
1,55	55
1,6	54
1,65	54
1,7	54
1,75	54
1,8	53
1,85	53
1,9	53
1,95	53
2	53

E <sub>tijolo</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	59
1,05	58
1,1	58
1,15	58
1,2	57
1,25	57
1,3	57
1,35	57
1,4	56
1,45	56
1,5	56
1,55	56
1,6	56
1,65	55
1,7	55
1,75	55
1,8	55
1,85	55
1,9	54
1,95	54
2	54

Características:

Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	800
	Damping	0,01
Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6
	Caixa de ar	40
	Espaçamento dos conectores	700

Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830
	Damping	0,01
Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6
	Caixa de ar	40
	Espaçamento dos conectores	700

Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	900
	Damping	0,01
Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6
	Caixa de ar	40
	Espaçamento dos conectores	700

E <sub>tijolo</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	58
1,05	58
1,1	58
1,15	57
1,2	57
1,25	57
1,3	57
1,35	56
1,4	56
1,45	56
1,5	56
1,55	55
1,6	55
1,65	55
1,7	55
1,75	55
1,8	55
1,85	54
1,9	54
1,95	54
2	54

E <sub>tijolo</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	59
1,05	59
1,1	58
1,15	58
1,2	57
1,25	57
1,3	57
1,35	57
1,4	56
1,45	56
1,5	56
1,55	56
1,6	56
1,65	56
1,7	55
1,75	55
1,8	55
1,85	55
1,9	55
1,95	54
2	54

E <sub>tijolo</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	60
1,05	59
1,1	59
1,15	59
1,2	58
1,25	58
1,3	58
1,35	58
1,4	58
1,45	57
1,5	57
1,55	57
1,6	57
1,65	57
1,7	56
1,75	56
1,8	56
1,85	56
1,9	56
1,95	56
2	55

Características:

Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	800
	Damping	0,01
Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6
	Caixa de ar	40
	Espaçamento dos conectores	800

Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830
	Damping	0,01
Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6
	Caixa de ar	40
	Espaçamento dos conectores	800

Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	900
	Damping	0,01
Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6
	Caixa de ar	40
	Espaçamento dos conectores	800

E <sub>tijolo</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	60
1,05	59
1,1	59
1,15	58
1,2	58
1,25	58
1,3	58
1,35	57
1,4	57
1,45	57
1,5	57
1,55	57
1,6	57
1,65	56
1,7	56
1,75	56
1,8	56
1,85	55
1,9	55
1,95	55
2	55

E <sub>tijolo</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	60
1,05	60
1,1	59
1,15	59
1,2	59
1,25	58
1,3	58
1,35	58
1,4	58
1,45	58
1,5	57
1,55	57
1,6	57
1,65	57
1,7	57
1,75	56
1,8	56
1,85	56
1,9	56
1,95	56
2	55

E <sub>tijolo</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	61
1,05	61
1,1	60
1,15	60
1,2	60
1,25	60
1,3	59
1,35	59
1,4	59
1,45	59
1,5	58
1,55	58
1,6	58
1,65	58
1,7	57
1,75	57
1,8	57
1,85	57
1,9	57
1,95	57
2	57

Verificação de como varia o  $R_w$  com a variação do módulo de elasticidade e da densidade do reboco e utilizando um espaçamento de conectores de 600 mm, 700 mm e 800 mm.

Nas tabelas seguintes estabilizou-se as características do tijolo de 9, a caixa de ar, os espaçamentos dos conectores em cada tabela, e o *Damping* do reboco, variando as características da densidade do reboco em cada coluna, como se pode observar nas colunas das células a azul, nas três tabelas seguintes.

Características:

Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1500
	Damping	0,01
Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	1,25
	Caixa de ar	40
	Espaçamento dos conectores	600

Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750
	Damping	0,01
Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	1,25
	Caixa de ar	40
	Espaçamento dos conectores	600

Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2000
	Damping	0,01
Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	1,25
	Caixa de ar	40
	Espaçamento dos conectores	600

E <sub>reboco</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	56
2	55
3	55
4	55
5	55
6	55
7	55
8	55
9	55
10	55
11	55
12	55
13	55
14	55
15	55

E <sub>reboco</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	56
2	56
3	56
4	56
5	56
6	56
7	56
8	56
9	55
10	55
11	56
12	56
13	56
14	56
15	56

E <sub>reboco</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	57
2	57
3	57
4	56
5	56
6	56
7	56
8	56
9	56
10	56
11	56
12	56
13	56
14	56
15	56



Características:

Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1500
	Damping	0,01
Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	1,25
	Caixa de ar	40
	Espaçamento dos conectores	700

Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750
	Damping	0,01
Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	1,25
	Caixa de ar	40
	Espaçamento dos conectores	700

Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2000
	Damping	0,01
Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	1,25
	Caixa de ar	40
	Espaçamento dos conectores	700

Ereboco (Gpa)	Rw (dB)
1	57
2	57
3	57
4	57
5	57
6	57
7	57
8	57
9	57
10	57
11	57
12	57
13	57
14	57
15	57

Ereboco (Gpa)	Rw (dB)
1	57
2	57
3	57
4	57
5	57
6	57
7	57
8	57
9	57
10	57
11	57
12	57
13	57
14	57
15	57

Ereboco (Gpa)	Rw (dB)
1	58
2	58
3	58
4	58
5	58
6	58
7	58
8	58
9	58
10	58
11	58
12	58
13	57
14	57
15	57

Características:								
Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1500	Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750	Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2000
	Damping	0,01		Damping	0,01		Damping	0,01
Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830	Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830	Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830
	Damping	0,01		Damping	0,01		Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	1,25		Módulo de Elasticidade	1,25		Módulo de Elasticidade	1,25
	Caixa de ar	40		Caixa de ar	40		Caixa de ar	40
	Espaçamento dos conectores	800		Espaçamento dos conectores	800		Espaçamento dos conectores	800

E <sub>reboco</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	58
2	58
3	58
4	58
5	58
6	58
7	58
8	58
9	58
10	58
11	58
12	58
13	58
14	58
15	58

E <sub>reboco</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	58
2	58
3	58
4	58
5	58
6	58
7	58
8	58
9	58
10	58
11	58
12	58
13	58
14	58
15	58

E <sub>reboco</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	59
2	59
3	59
4	59
5	59
6	59
7	59
8	59
9	59
10	59
11	59
12	59
13	59
14	59
15	59

Verificação de como varia o  $R_w$  com a variação do *Damping* e da densidade do tijolo de 9 e utilizando um espaçamento de conectores de 600 mm, 700 mm e 800 mm.

Nas tabelas seguintes estabilizou-se as características do reboco, a caixa de ar, os espaçamentos dos conectores em cada tabela, e o módulo de elasticidade do tijolo de 9, variando as características da densidade do tijolo de 9 em cada coluna, como se pode observar nas colunas das células a azul, nas três tabelas seguintes.

**Características:**

Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	800
	Módulo de Elasticidade	1,25
Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6
	Caixa de ar	40
	Espaçamento dos conectores	600

Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830
	Módulo de Elasticidade	1,25
Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6
	Caixa de ar	40
	Espaçamento dos conectores	600

Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	900
	Módulo de Elasticidade	1,25
Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6
	Caixa de ar	40
	Espaçamento dos conectores	600

Damping	Rw (dB)
0,005	53
0,006	54
0,007	54
0,008	55
0,009	55
0,01	55
0,011	56
0,012	56
0,013	56
0,014	57
0,015	57
0,016	57
0,017	58
0,018	58
0,019	58
0,02	58

Damping	Rw (dB)
0,005	53
0,006	54
0,007	54
0,008	55
0,009	55
0,01	56
0,011	56
0,012	56
0,013	57
0,014	57
0,015	57
0,016	58
0,017	58
0,018	58
0,019	58
0,02	58

Damping	Rw (dB)
0,005	55
0,006	55
0,007	56
0,008	56
0,009	57
0,01	57
0,011	57
0,012	58
0,013	58
0,014	58
0,015	59
0,016	59
0,017	59
0,018	59
0,019	59
0,02	60

**Características:**

Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	800
	Módulo de Elasticidade	1,25
Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6
	Caixa de ar	40
Espaçamento dos conectores		700

Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830
	Módulo de Elasticidade	1,25
Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6
	Caixa de ar	40
Espaçamento dos conectores		700

Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	900
	Módulo de Elasticidade	1,25
Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6
	Caixa de ar	40
Espaçamento dos conectores		700

Damping	Rw (dB)
0,005	54
0,006	55
0,007	56
0,008	57
0,009	57
0,01	57
0,011	57
0,012	57
0,013	58
0,014	58
0,015	58
0,016	59
0,017	59
0,018	59
0,019	59
0,02	59

Damping	Rw (dB)
0,005	55
0,006	55
0,007	56
0,008	56
0,009	57
0,01	57
0,011	57
0,012	58
0,013	58
0,014	58
0,015	59
0,016	59
0,017	59
0,018	59
0,019	59
0,02	60

Damping	Rw (dB)
0,005	56
0,006	57
0,007	57
0,008	58
0,009	58
0,01	58
0,011	59
0,012	59
0,013	59
0,014	60
0,015	60
0,016	60
0,017	60
0,018	61
0,019	61
0,02	61

Características:								
Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	800	Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830	Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	900
	Módulo de Elasticidade	1,25		Módulo de Elasticidade	1,25		Módulo de Elasticidade	1,25
Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750	Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750	Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750
	Damping	0,01		Damping	0,01		Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6		Módulo de Elasticidade	6		Módulo de Elasticidade	6
	Caixa de ar	40		Caixa de ar	40		Caixa de ar	40
	Espaçamento dos conectores	800		Espaçamento dos conectores	800		Espaçamento dos conectores	800

Damping	Rw (dB)
0,005	56
0,006	56
0,007	57
0,008	57
0,009	58
0,01	58
0,011	58
0,012	59
0,013	59
0,014	59
0,015	60
0,016	60
0,017	60
0,018	60
0,019	60
0,02	61

Damping	Rw (dB)
0,005	56
0,006	56
0,007	57
0,008	57
0,009	58
0,01	58
0,011	59
0,012	59
0,013	59
0,014	59
0,015	60
0,016	60
0,017	60
0,018	60
0,019	61
0,02	61

Damping	Rw (dB)
0,005	57
0,006	58
0,007	58
0,008	59
0,009	59
0,01	60
0,011	60
0,012	60
0,013	60
0,014	61
0,015	61
0,016	61
0,017	61
0,018	62
0,019	62
0,02	62

Verificação de como varia o  $R_w$  com a variação do *Damping* e da densidade do tijolo de 9 e utilizando um espaçamento de conectores de 600 mm, 700 mm e 800 mm.

Nas tabelas seguintes estabilizou-se as características do tijolo de 9, a caixa de ar, os espaçamentos dos conectores em cada tabela, e o módulo de elasticidade do tijolo de 9, variando as características da densidade do reboco em cada coluna, como se pode observar nas colunas das células a azul, nas três tabelas seguintes.

Características:								
Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1500	Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750	Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2000
	Módulo de Elasticidade	6		Módulo de Elasticidade	6		Módulo de Elasticidade	6
Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830	Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830	Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830
	Damping	0,01		Damping	0,01		Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	1,25		Módulo de Elasticidade	1,25		Módulo de Elasticidade	1,25
	Caixa de ar	40		Caixa de ar	40		Caixa de ar	40
Espaçamento dos conectores		600	Espaçamento dos conectores		600	Espaçamento dos conectores		600

Damping	Rw (dB)
0,005	55
0,006	55
0,007	55
0,008	55
0,009	55
0,01	55
0,011	56
0,012	56
0,013	56
0,014	56
0,015	56
0,016	56
0,017	56
0,018	56
0,019	56
0,02	56

Damping	Rw (dB)
0,005	55
0,006	55
0,007	55
0,008	55
0,009	56
0,01	56
0,011	56
0,012	56
0,013	56
0,014	56
0,015	56
0,016	56
0,017	56
0,018	57
0,019	57
0,02	57

Damping	Rw (dB)
0,005	56
0,006	56
0,007	56
0,008	56
0,009	56
0,01	56
0,011	57
0,012	57
0,013	57
0,014	57
0,015	57
0,016	57
0,017	57
0,018	57
0,019	58
0,02	58



**Características:**

Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1500
	Módulo de Elasticidade	6
Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	1,25
	Caixa de ar	40
	Espaçamento dos conectores	700

Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750
	Módulo de Elasticidade	6
Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	1,25
	Caixa de ar	40
	Espaçamento dos conectores	700

Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2000
	Módulo de Elasticidade	6
Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	1,25
	Caixa de ar	40
	Espaçamento dos conectores	700

Damping	Rw (dB)
0,005	56
0,006	56
0,007	56
0,008	57
0,009	57
0,01	57
0,011	57
0,012	57
0,013	57
0,014	57
0,015	57
0,016	57
0,017	57
0,018	58
0,019	58
0,02	58

Damping	Rw (dB)
0,005	56
0,006	56
0,007	57
0,008	57
0,009	57
0,01	57
0,011	57
0,012	57
0,013	57
0,014	57
0,015	58
0,016	58
0,017	58
0,018	58
0,019	58
0,02	58

Damping	Rw (dB)
0,005	57
0,006	57
0,007	57
0,008	57
0,009	58
0,01	58
0,011	58
0,012	58
0,013	58
0,014	58
0,015	58
0,016	59
0,017	59
0,018	59
0,019	59
0,02	59

**Características:**

Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1500
	Módulo de Elasticidade	6
Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	1,25
	Caixa de ar	40
Espaçamento dos conectores		800

Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1750
	Módulo de Elasticidade	6
Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	1,25
	Caixa de ar	40
Espaçamento dos conectores		800

Reboco	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2000
	Módulo de Elasticidade	6
Tijolo 9	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	830
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	1,25
	Caixa de ar	40
Espaçamento dos conectores		800

Damping	Rw (dB)
0,005	57
0,006	57
0,007	58
0,008	58
0,009	58
0,01	58
0,011	58
0,012	58
0,013	58
0,014	58
0,015	58
0,016	59
0,017	59
0,018	59
0,019	59
0,02	59

Damping	Rw (dB)
0,005	57
0,006	58
0,007	58
0,008	58
0,009	58
0,01	58
0,011	58
0,012	58
0,013	59
0,014	59
0,015	59
0,016	59
0,017	59
0,018	59
0,019	59
0,02	59

Damping	Rw (dB)
0,005	58
0,006	58
0,007	58
0,008	59
0,009	59
0,01	59
0,011	59
0,012	59
0,013	59
0,014	59
0,015	60
0,016	60
0,017	60
0,018	60
0,019	60
0,02	60

Anexo F – Estudo paramétrico de duas das soluções alternativas de paredes apresentadas anteriormente.

Solução SM1 – Parede de betão armado de 15 cm + caixa de ar de 5 cm com lã de rocha 4 cm + painel de magnésio de 0,9 cm

Verificação de como varia o  $R_w$  com a variação do módulo de elasticidade e da densidade do betão e utilizando um espaçamento de conectores de 800 mm, 900 mm e 1000 mm.

Nas tabelas seguintes estabilizou-se as características do painel de magnésio, a caixa de ar, os espaçamentos dos conectores em cada tabela, e o *Damping* do betão, variando as características da densidade do betão em cada coluna, como se pode observar nas colunas das células a azul, nas três tabelas seguintes.

Características:

Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500
	Damping	0,01
Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6,05
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	800

Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2400
	Damping	0,01
Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6,05
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	800

Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2300
	Damping	0,01
Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6,05
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	800

E <sub>betão</sub> (Gpa)	Rw (dB)
15	65
16	65
17	65
18	65
19	65
20	65
21	65
22	65
23	65
24	65
25	65
26	65
27	65
28	65
29	65
30	65

E <sub>betão</sub> (Gpa)	Rw (dB)
15	65
16	65
17	65
18	64
19	64
20	64
21	64
22	64
23	64
24	64
25	64
26	64
27	64
28	64
29	64
30	64

E <sub>betão</sub> (Gpa)	Rw (dB)
15	64
16	64
17	64
18	64
19	64
20	64
21	64
22	64
23	64
24	64
25	64
26	64
27	64
28	64
29	64
30	64

Características:

Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500
	Damping	0,01
Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6,05
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	900

Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2400
	Damping	0,01
Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6,05
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	900

Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2300
	Damping	0,01
Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6,05
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	900

E <sub>betão</sub> (Gpa)	Rw (dB)
15	65
16	65
17	65
18	65
19	65
20	65
21	65
22	65
23	65
24	65
25	65
26	65
27	65
28	65
29	65
30	65

E <sub>betão</sub> (Gpa)	Rw (dB)
15	65
16	65
17	65
18	65
19	65
20	65
21	65
22	65
23	65
24	65
25	65
26	65
27	65
28	65
29	65
30	65

E <sub>betão</sub> (Gpa)	Rw (dB)
15	64
16	64
17	64
18	64
19	64
20	64
21	64
22	64
23	64
24	64
25	64
26	64
27	64
28	64
29	64
30	64

Características:								
Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500	Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2400	Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2300
	Damping	0,01		Damping	0,01		Damping	0,01
Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980	Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980	Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980
	Damping	0,01		Damping	0,01		Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6,05		Módulo de Elasticidade	6,05		Módulo de Elasticidade	6,05
	Caixa de ar	60		Caixa de ar	60		Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	1000		Espaçamento dos conectores	1000		Espaçamento dos conectores	1000

E <sub>betão</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
15	66
16	66
17	66
18	66
19	66
20	66
21	65
22	65
23	65
24	65
25	65
26	65
27	65
28	65
29	65
30	65

E <sub>betão</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
15	65
16	65
17	65
18	65
19	65
20	65
21	65
22	65
23	65
24	65
25	65
26	65
27	65
28	65
29	65
30	65

E <sub>betão</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
15	65
16	65
17	65
18	64
19	64
20	64
21	64
22	64
23	64
24	64
25	64
26	64
27	64
28	64
29	64
30	64

Verificação de como varia o  $R_w$  com a variação do módulo de elasticidade e da densidade do painel de magnésio e utilizando um espaçamento de conectores de 800 mm, 900 mm e 1000 mm.

Nas tabelas seguintes estabilizou-se as características do betão, a caixa de ar, os espaçamentos dos conectores em cada tabela, e o *Damping* do painel de magnésio, variando as características da densidade do painel de magnésio em cada coluna, como se pode observar nas colunas das células a azul, nas três tabelas seguintes.

Características:

Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	850
	Damping	0,01
Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	30
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	800

Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980
	Damping	0,01
Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	30
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	800

Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1200
	Damping	0,01
Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	30
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	800

$E_{\text{Painel magnésio}}$ (Gpa)	<b>Rw (dB)</b>
1	64
2	64
3	64
4	64
5	64
6	64
7	64
8	64
9	64
10	64

$E_{\text{Painel magnésio}}$ (Gpa)	<b>Rw (dB)</b>
1	65
2	65
3	65
4	65
5	65
6	65
7	65
8	65
9	65
10	65

$E_{\text{Painel magnésio}}$ (Gpa)	<b>Rw (dB)</b>
1	65
2	65
3	65
4	65
5	65
6	65
7	65
8	65
9	65
10	65



Características:

Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	850
	Damping	0,01
Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	30
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	900

Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980
	Damping	0,01
Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	30
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	900

Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1200
	Damping	0,01
Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	30
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	900

E <sub>Painel magnésio</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	64
2	64
3	64
4	64
5	64
6	64
7	64
8	64
9	64
10	64

E <sub>Painel magnésio</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	65
2	65
3	65
4	65
5	65
6	65
7	65
8	65
9	65
10	65

E <sub>Painel magnésio</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	66
2	66
3	66
4	66
5	66
6	66
7	66
8	66
9	66
10	66

**Características:**

Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	850
	Damping	0,01
Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	30
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	1000

Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980
	Damping	0,01
Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	30
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	1000

Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1200
	Damping	0,01
Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	30
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	1000

E <sub>Painel magnésio</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	65
2	65
3	65
4	65
5	65
6	65
7	65
8	65
9	65
10	65

E <sub>Painel magnésio</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	65
2	65
3	65
4	65
5	65
6	65
7	65
8	65
9	65
10	65

E <sub>Painel magnésio</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	66
2	66
3	66
4	66
5	66
6	66
7	66
8	66
9	66
10	66

Verificação de como varia o  $R_w$  com a variação do *Damping* e da densidade do betão e utilizando um espaçamento de conectores de 800 mm, 900 mm e 1000 mm.

Nas tabelas seguintes estabilizou-se as características do painel de magnésio, a caixa de ar, os espaçamentos dos conectores em cada tabela, e o módulo de elasticidade do betão, variando as características da densidade do betão em cada coluna, como se pode observar nas colunas das células a azul, nas três tabelas seguintes.

**Características:**

Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500
	Módulo de Elasticidade	30
Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6,05
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	800

Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2400
	Módulo de Elasticidade	30
Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6,05
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	800

Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2300
	Módulo de Elasticidade	30
Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6,05
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	800

Damping	Rw (dB)
0,005	64
0,006	64
0,007	64
0,008	64
0,009	65
0,01	65
0,011	65
0,012	65
0,013	65
0,014	65
0,015	65
0,016	65
0,017	65
0,018	65
0,019	65
0,02	65

Damping	Rw (dB)
0,005	64
0,006	64
0,007	64
0,008	64
0,009	64
0,01	64
0,011	64
0,012	64
0,013	64
0,014	64
0,015	65
0,016	65
0,017	65
0,018	65
0,019	65
0,02	65

Damping	Rw (dB)
0,005	63
0,006	63
0,007	63
0,008	64
0,009	64
0,01	64
0,011	64
0,012	64
0,013	64
0,014	64
0,015	64
0,016	64
0,017	64
0,018	64
0,019	64
0,02	64

**Características:**

Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500
	Módulo de Elasticidade	30
Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6,05
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	900

Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2400
	Módulo de Elasticidade	30
Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6,05
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	900

Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2300
	Módulo de Elasticidade	30
Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6,05
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	900

Damping	Rw (dB)
0,005	65
0,006	65
0,007	65
0,008	65
0,009	65
0,01	65
0,011	65
0,012	65
0,013	65
0,014	65
0,015	65
0,016	65
0,017	65
0,018	65
0,019	65
0,02	66

Damping	Rw (dB)
0,005	64
0,006	64
0,007	64
0,008	64
0,009	65
0,01	65
0,011	65
0,012	65
0,013	65
0,014	65
0,015	65
0,016	65
0,017	65
0,018	65
0,019	65
0,02	65

Damping	Rw (dB)
0,005	64
0,006	64
0,007	64
0,008	64
0,009	64
0,01	64
0,011	64
0,012	64
0,013	64
0,014	64
0,015	64
0,016	64
0,017	64
0,018	65
0,019	65
0,02	65

**Características:**

Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500
	Módulo de Elasticidade	30
Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6,05
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	1000

Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2400
	Módulo de Elasticidade	30
Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6,05
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	1000

Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2300
	Módulo de Elasticidade	30
Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade	6,05
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	1000

Damping	Rw (dB)
0,005	65
0,006	65
0,007	65
0,008	65
0,009	65
0,01	65
0,011	65
0,012	65
0,013	65
0,014	66
0,015	66
0,016	66
0,017	66
0,018	66
0,019	66
0,02	66

Damping	Rw (dB)
0,005	65
0,006	65
0,007	65
0,008	65
0,009	65
0,01	65
0,011	65
0,012	65
0,013	65
0,014	65
0,015	65
0,016	65
0,017	65
0,018	65
0,019	65
0,02	65

Damping	Rw (dB)
0,005	64
0,006	64
0,007	64
0,008	64
0,009	64
0,01	64
0,011	64
0,012	64
0,013	65
0,014	65
0,015	65
0,016	65
0,017	65
0,018	65
0,019	65
0,02	65

Verificação de como varia o  $R_w$  com a variação do *Damping* e da densidade do painel de magnésio e utilizando um espaçamento de conectores de 800 mm, 900 mm e 1000 mm.

Nas tabelas seguintes estabilizou-se as características do betão, a caixa de ar, os espaçamentos dos conectores em cada tabela, e o módulo de elasticidade do painel de magnésio, variando as características da densidade do painel de magnésio em cada coluna, como se pode observar nas colunas das células a azul, nas três tabelas seguintes.

**Características:**

Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	850
	Módulo de Elasticidade	6,05
Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade (Gpa)	30
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	800

Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980
	Módulo de Elasticidade	6,05
Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade (Gpa)	30
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	800

Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1200
	Módulo de Elasticidade	6,05
Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade (Gpa)	30
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	800

Damping	Rw (dB)
0,005	64
0,006	64
0,007	64
0,008	64
0,009	64
0,01	64
0,011	64
0,012	64
0,013	64
0,014	64
0,015	64
0,016	64
0,017	64
0,018	64
0,019	64
0,02	64

Damping	Rw (dB)
0,005	65
0,006	65
0,007	65
0,008	65
0,009	65
0,01	65
0,011	65
0,012	65
0,013	65
0,014	65
0,015	65
0,016	65
0,017	65
0,018	65
0,019	65
0,02	65

Damping	Rw (dB)
0,005	65
0,006	65
0,007	65
0,008	65
0,009	65
0,01	65
0,011	65
0,012	65
0,013	65
0,014	65
0,015	65
0,016	65
0,017	65
0,018	65
0,019	65
0,02	65



Características:								
Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	850	Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980	Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1200
	Módulo de Elasticidade	6,05		Módulo de Elasticidade	6,05		Módulo de Elasticidade	6,05
Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500	Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500	Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500
	Damping	0,01		Damping	0,01		Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade (Gpa)	30		Módulo de Elasticidade (Gpa)	30		Módulo de Elasticidade (Gpa)	30
	Caixa de ar	50		Caixa de ar	50		Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	900		Espaçamento dos conectores	900		Espaçamento dos conectores	900

Damping	Rw (dB)
0,005	64
0,006	64
0,007	64
0,008	64
0,009	64
0,01	64
0,011	64
0,012	64
0,013	64
0,014	64
0,015	64
0,016	64
0,017	64
0,018	64
0,019	64
0,02	64

Damping	Rw (dB)
0,005	65
0,006	65
0,007	65
0,008	65
0,009	65
0,01	65
0,011	65
0,012	65
0,013	65
0,014	65
0,015	65
0,016	65
0,017	65
0,018	65
0,019	65
0,02	65

Damping	Rw (dB)
0,005	66
0,006	66
0,007	66
0,008	66
0,009	66
0,01	66
0,011	66
0,012	66
0,013	66
0,014	66
0,015	66
0,016	66
0,017	66
0,018	66
0,019	66
0,02	66

**Características:**

Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	850
	Módulo de Elasticidade	6,05
Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade (Gpa)	30
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	1000

Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	980
	Módulo de Elasticidade	6,05
Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade (Gpa)	30
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	1000

Painel de magnésio	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1200
	Módulo de Elasticidade	6,05
Betão	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	2500
	Damping	0,01
	Módulo de Elasticidade (Gpa)	30
	Caixa de ar	50
	Espaçamento dos conectores	1000

Damping	Rw (dB)
0,005	65
0,006	65
0,007	65
0,008	65
0,009	65
0,01	65
0,011	65
0,012	65
0,013	65
0,014	65
0,015	65
0,016	65
0,017	65
0,018	65
0,019	65
0,02	65

Damping	Rw (dB)
0,005	65
0,006	65
0,007	65
0,008	65
0,009	65
0,01	65
0,011	65
0,012	65
0,013	65
0,014	65
0,015	65
0,016	65
0,017	65
0,018	65
0,019	65
0,02	65

Damping	Rw (dB)
0,005	66
0,006	66
0,007	66
0,008	66
0,009	66
0,01	66
0,011	66
0,012	66
0,013	66
0,014	66
0,015	66
0,016	66
0,017	66
0,018	66
0,019	66
0,02	66

Solução SV4 – dois painéis de VIROC de 1,0 cm + caixa de ar de 6 cm com lã de rocha 4 cm + dois painéis de VIROC de 1,0 cm

Verificação de como varia o  $R_w$  com a variação do módulo de elasticidade e da densidade dos painéis de VIROC e utilizando um espaçamento de conectores de 800 mm, 900 mm e 1000 mm.

Nas tabelas seguintes estabilizou-se os espaçamentos dos conectores em cada tabela, a caixa de ar e o *Damping* do painel de VIROC, variando as características da densidade em cada coluna, como se pode observar nas colunas das células a azul, nas três tabelas seguintes.

Características:

Painel de VIR OC	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1250
	Damping	0,01
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	800

Painel de VIR OC	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1350
	Damping	0,01
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	800

Painel de VIR OC	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1450
	Damping	0,01
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	800

E <sub>Painel magnésio</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	61
2	61
3	61
4	61
5	61
6	61
7	60
8	60
9	60
10	60

E <sub>Painel magnésio</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	62
2	62
3	62
4	62
5	62
6	62
7	62
8	62
9	62
10	61

E <sub>Painel magnésio</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	64
2	63
3	63
4	63
5	63
6	63
7	63
8	63
9	63
10	63

Características:

Painel de VIR OC	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1250
	Damping	0,01
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	900

Painel de VIR OC	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1350
	Damping	0,01
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	900

Painel de VIR OC	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1450
	Damping	0,01
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	900

E <sub>Painel magnésio</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	61
2	61
3	61
4	61
5	61
6	61
7	60
8	60
9	60
10	60

E <sub>Painel magnésio</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	62
2	62
3	62
4	62
5	62
6	62
7	62
8	62
9	62
10	61

E <sub>Painel magnésio</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	64
2	63
3	63
4	63
5	63
6	63
7	63
8	63
9	63
10	63

Características:

Painel de VIR OC	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1250
	Damping	0,01
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	1000

Painel de VIR OC	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1350
	Damping	0,01
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	1000

Painel de VIR OC	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1450
	Damping	0,01
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	1000

E <sub>Painel magnésio</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	61
2	61
3	61
4	61
5	61
6	61
7	60
8	60
9	60
10	60

E <sub>Painel magnésio</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	62
2	62
3	62
4	62
5	62
6	62
7	62
8	62
9	62
10	61

E <sub>Painel magnésio</sub> (Gpa)	R <sub>w</sub> (dB)
1	64
2	64
3	63
4	63
5	63
6	63
7	63
8	63
9	63
10	63

Verificação de como varia o  $R_w$  com a variação do *Damping* e da densidade do betão e utilizando um espaçamento de conectores de 800 mm, 900 mm e 1000 mm.

Nas tabelas seguintes estabilizou-se os espaçamentos dos conectores em cada tabela, a caixa de ar e o módulo de elasticidade do painel de VIROC, variando as características da densidade em cada coluna, como se pode observar nas colunas das células a azul, nas três tabelas seguintes.

**Características:**

Painel de VIR OC	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1250
	Módulo de Elasticidade	2,5
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	800

Painel de VIR OC	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1350
	Módulo de Elasticidade	2,5
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	800

Painel de VIR OC	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1450
	Módulo de Elasticidade	2,5
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	800

Damping	Rw (dB)
0,005	61
0,006	61
0,007	61
0,008	61
0,009	61
0,01	61
0,011	61
0,012	61
0,013	61
0,014	61
0,015	61
0,016	61
0,017	61
0,018	61
0,019	61
0,02	61

Damping	Rw (dB)
0,005	62
0,006	62
0,007	62
0,008	62
0,009	62
0,01	62
0,011	62
0,012	62
0,013	62
0,014	62
0,015	62
0,016	62
0,017	62
0,018	62
0,019	62
0,02	62

Damping	Rw (dB)
0,005	63
0,006	63
0,007	63
0,008	63
0,009	63
0,01	63
0,011	63
0,012	63
0,013	63
0,014	63
0,015	63
0,016	63
0,017	63
0,018	63
0,019	63
0,02	63



**Características:**

Painel de VIR OC	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1250
	Módulo de Elasticidade	2,5
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	900

Painel de VIR OC	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1350
	Módulo de Elasticidade	2,5
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	900

Painel de VIR OC	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1450
	Módulo de Elasticidade	2,5
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	900

Damping	Rw (dB)
0,005	61
0,006	61
0,007	61
0,008	61
0,009	61
0,01	61
0,011	61
0,012	61
0,013	61
0,014	61
0,015	61
0,016	61
0,017	61
0,018	61
0,019	61
0,02	61

Damping	Rw (dB)
0,005	62
0,006	62
0,007	62
0,008	62
0,009	62
0,01	62
0,011	62
0,012	62
0,013	62
0,014	62
0,015	62
0,016	62
0,017	62
0,018	62
0,019	62
0,02	62

Damping	Rw (dB)
0,005	63
0,006	63
0,007	63
0,008	63
0,009	63
0,01	63
0,011	63
0,012	63
0,013	63
0,014	63
0,015	63
0,016	63
0,017	63
0,018	63
0,019	63
0,02	63

**Características:**

Painel de VIR OC	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1250
	Módulo de Elasticidade	2,5
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	1000

Painel de VIR OC	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1350
	Módulo de Elasticidade	2,5
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	1000

Painel de VIR OC	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1450
	Módulo de Elasticidade	2,5
	Caixa de ar	60
	Espaçamento dos conectores	1000

Damping	Rw (dB)
0,005	61
0,006	61
0,007	61
0,008	61
0,009	61
0,01	61
0,011	61
0,012	61
0,013	61
0,014	61
0,015	61
0,016	61
0,017	61
0,018	61
0,019	61
0,02	61

Damping	Rw (dB)
0,005	62
0,006	62
0,007	62
0,008	62
0,009	62
0,01	62
0,011	62
0,012	62
0,013	62
0,014	62
0,015	62
0,016	62
0,017	62
0,018	62
0,019	62
0,02	62

Damping	Rw (dB)
0,005	63
0,006	63
0,007	63
0,008	63
0,009	63
0,01	63
0,011	63
0,012	63
0,013	63
0,014	63
0,015	63
0,016	63
0,017	63
0,018	63
0,019	63
0,02	63