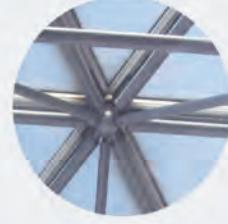




## **Avaliação Do Desempenho Acústico De Edifícios De Habitação**

**NUNO FERREIRA SILVA**

novembro de 2016



## Avaliação Do Desempenho Acústico De Edifícios De Habitação





**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO**  
**DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO**

NUNO FERREIRA SILVA

Relatório de Estágio submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE CONSTRUÇÕES**

Orientador: Engenheira Teresa Isabel Moreira de Carvalho Neto Silva

Supervisor: Alexandra Correia Barbosa (Alfaengenharia)

**OUTUBRO DE 2016**



# ÍNDICE GERAL

|  |      |
|--|------|
| Índice Geral .....   | iii  |
| Resumo.....  | v    |
| Abstract .....   | vii  |
| Agradecimentos .....   | ix   |
| Índice de Texto .....  | xi   |
| Índice de Figuras.....   | xiii |
| Índice de Tabelas.....   | xvii |
| Abreviaturas .....   | xix  |
| 1 Introdução.....  | 1    |
| 2 Estágio Em Ambiente Empresarial .....  | 5    |
| 3 Acústica De Edifícios .....  | 19   |
| 4 Estudo De Caso – Avaliação Do Desempenho Acústico De Edifícios De Habitação..... | 79   |
| 5 Considerações Finais .....   | 113  |
| Referências Bibliográficas .....   | 115  |
| Anexo I – Documentação De Fiscalização Produzida .....                             | 117  |
| Anexo II – Tabela Para Identificação Dos Varões De Betão Armado.....               | 147  |
| Anexo III – Estudos Prévios (Esboços Das Plantas).....                             | 151  |
| Anexo IV – Cálculos Cypevac III .....  | 155  |



## RESUMO

Este relatório constitui um documento desenvolvido no âmbito da unidade curricular Dissertação, Projeto ou Estágio, DIPRE, do Mestrado em engenharia civil do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Este documento começa por apresentar a empresa de acolhimento do estágio, bem como as atividades desenvolvidas durante o mesmo, com destaque para o acompanhamento e fiscalização de obras, estudos prévios para a reabilitação de uma moradia unifamiliar e projetos de condicionamento acústico.

O tema mais detalhado neste relatório é a acústica de edifícios, onde se pode encontrar a metodologia de cálculo a ser aplicada posteriormente no caso de estudo, nomeadamente o modelo de Sharp, o modelo de Meisser e a lei da massa teórica. Por outro lado, são apresentadas breves noções acerca dos ensaios acústicos, ruído ambiental e o ruído de equipamentos e instalações. Como ferramenta informática, e por forma a poderem ser obtidos valores utilizados em análises comparativas, é abordado o programa de cálculo automático Cypevac III, explicando-se o seu funcionamento e apresentados as tabelas de cálculo em anexos. Para finalizar a abordagem teórica, é apresentada a legislação aplicável à acústica de edifícios, nomeadamente o Regulamento Geral do Ruído e o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios.

Por último, é feito um caso de estudo relativa à avaliação do desempenho acústico de dois edifícios de habitação unifamiliares geminados, aplicando a metodologia de cálculo apresentada anteriormente. A avaliação está organizada de forma a ser semelhante a um projeto de condicionamento acústico. No fim deste capítulo, é feita uma análise comparativa aos resultados obtidos anteriormente nos dois edifícios.

**Palavras-chave:** Fiscalização; Acústica; Modelo de Sharp; Modelo de Meisser; Lei da massa; RGR; RRAE.



## **ABSTRACT**

This report is a document developed within the course thesis, project or internship, DIPRE, the Master of Civil Engineering of the School of Engineering of Porto.

This document starts with the host company of the stage, as well as the activities developed during the same, especially the monitoring and supervision of works, previous studies for the rehabilitation of a single family house and acoustic conditioning projects.

The most detailed theme in this report is the acoustics of buildings, where you can find the calculation methodology to be applied later in the case study, namely the model of Sharp, the model Meisser and the law of theoretical mass. On the other hand, are brief notions of acoustic testing, environmental noise and the noise of equipment and facilities. As a software tool, and so that it can be obtained values used in comparative analysis, is approached the computer program Cypevac III, explaining the functioning and presented the calculation tables in annexes. Finally the theoretical approach is presented legislation to the acoustics of buildings, including the General Noise Regulations and Regulation of the Acoustic Requirements of Buildings.

Finally, it made a case study on the assessment of the acoustic performance of two buildings twinned single-family housing, applying the calculation method presented above. The assessment is organized to be similar to an acoustic conditioning project. At the end of this chapter, there is a comparative analysis of the results obtained previously in two buildings.

**Keywords:** Supervision; Acoustic; Sharp Model; Meisser Model; Mass Law; RGR; RRAE.



## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à empresa Alfaengenharia pela oportunidade de me proporcionarem este estágio e por todos os conhecimentos transmitidos durante este período.

Um agradecimento especial à minha orientadora, Engenheira Teresa Neto, por toda a ajuda, persistência e compreensão que prestou durante o estágio, e pela sua orientação na elaboração do relatório.

A toda a minha família, conhecidos e em especial aos meus pais, pela paciência e por tornarem possível todo o meu percurso académico.

À minha colega de estágio, Diana Morais, por ter ultrapassado comigo este obstáculo.

Ao Engenheiro Marco Costa, pela troca de conhecimentos, apoio e ajuda prestada durante o estágio.

Aos meus amigos mais próximos por terem estado sempre presentes.

A todos os meus amigos e colegas de curso, pela partilha de experiências e conhecimentos durante todo o meu percurso académico.



# ÍNDICE DE TEXTO

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1       | Introdução.....                                       | 1  |
| 1.1     | Considerações Iniciais.....                           | 1  |
| 1.2     | Objetivos Do Estágio.....                             | 2  |
| 1.3     | Organização Do Relatório.....                         | 3  |
| 2       | Estágio Em Ambiente Empresarial.....                  | 5  |
| 2.1     | Apresentação Da Empresa.....                          | 5  |
| 2.2     | Atividades Desenvolvidas Durante o Estágio.....       | 6  |
| 2.2.1   | Fiscalização de obras.....                            | 6  |
| 2.2.2   | Acompanhamento de obras.....                          | 15 |
| 2.2.3   | Estudos Prévios.....                                  | 16 |
| 2.2.4   | Projetos de Condicionamento Acústico.....             | 17 |
| 3       | Acústica De Edifícios.....                            | 19 |
| 3.1     | Noções Gerais.....                                    | 19 |
| 3.2     | Isolamento Sonoro.....                                | 25 |
| 3.2.1   | Parâmetros.....                                       | 26 |
| 3.2.2   | Isolamento Sonoro a Sons Aéreos.....                  | 28 |
| 3.2.2.1 | Métodos de estimativa - $R_w$ .....                   | 30 |
| 3.2.2.2 | Métodos de previsão – $D_{nT,w}$ e $D_{2m,T,w}$ ..... | 40 |
| 3.2.2.3 | Ensaio acústicos (sons aéreos).....                   | 43 |
| 3.2.3   | Isolamento Sonoro A Sons De Percussão.....            | 48 |
| 3.2.3.1 | Metodologia de cálculo.....                           | 50 |
| 3.2.3.2 | Ensaio acústicos (sons de percussão).....             | 53 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 3.2.4   | Ruído ambiental.....   | 57  |
| 3.2.4.1 | Parâmetros .....   | 57  |
| 3.2.5   | Ruído de equipamentos e instalações.....   | 60  |
| 3.2.5.1 | Ruído de equipamentos .....  | 61  |
| 3.2.5.2 | Ruído de instalações.....  | 62  |
| 3.2.6   | Aplicação do CYPEVAC III .....   | 63  |
| 3.3     | Legislação Aplicável.....  | 70  |
| 3.3.1   | Regulamento Geral Do Ruído – RGR.....  | 71  |
| 3.3.2   | Regulamento Dos Requisitos Acústicos Dos Edifícios – RRAE .....                  | 74  |
| 4       | Estudo De Caso – Avaliação Do Desempenho Acústico De Edifícios De Habitação..... | 79  |
| 4.1     | Edifício de Habitação Unifamiliar – Cedofeita .....                              | 79  |
| 4.1.1   | Descrição do edifício.....   | 79  |
| 4.1.2   | Critérios exigenciais aplicáveis .....   | 84  |
| 4.1.3   | Estimativa do isolamento sonoro a sons aéreos .....                              | 85  |
| 4.1.3.1 | Paredes exteriores.....  | 85  |
| 4.1.3.2 | Paredes de meação .....  | 90  |
| 4.2     | Edifício de Habitação Unifamiliar – Gaia.....                                    | 95  |
| 4.2.1   | Descrição do edifício.....   | 95  |
| 4.2.2   | Critérios exigenciais aplicáveis .....   | 100 |
| 4.2.3   | Estimativa do isolamento sonoro a sons aéreos .....                              | 101 |
| 4.2.3.1 | Fachadas exteriores.....   | 101 |
| 4.2.3.2 | Parede de meação .....   | 106 |
| 4.3     | Análise Comparativa .....  | 109 |
| 5       | Considerações Finais .....   | 113 |
| 5.1     | Conclusões .....   | 113 |
| 5.2     | Desenvolvimentos Futuros .....   | 114 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1 - Logotipo da empresa.....  | 5  |
| Figura 2.2 – Planta estrutural das fundações [Fornecido pela empresa].....   | 9  |
| Figura 2.3 – Diferentes tipo de varões para betão armado [Adaptado de Joana de Sousa Coutinho, 2005]<br>.....                                      | 10 |
| Figura 2.4 – Armaduras dos lintéis antes da betonagem [Fotografia fornecida pela empresa].....   | 12 |
| Figura 2.5 - Módulo de Cupolex, juntamente com o esquema de instalação [Fonte: Fercanorte] .....   | 13 |
| Figura 2.6 – Exemplo de tijolo TérmicoProEtics [Fonte: artebel].....   | 14 |
| Figura 2.7 – Esquema da aplicação do sistema ETICS no tijolo [Fonte: artebel].....   | 14 |
| Figura 3.1 - Propagação do som [Fonte: Curso de Engenharia Ambiental da UNIVILLE].....   | 20 |
| Figura 3.2 - Pressão sonora e pressão atmosférica [Fonte: Imperialum] .....  | 20 |
| Figura 3.3 - Espectro sonoro, no domínio da frequência [Fonte: FQ8 – Sustentabilidade na Terra –<br>Edições ASA].....                              | 22 |
| Figura 3.4 - Exemplo de som puro à esquerda e som complexo à direita. ....   | 22 |
| Figura 3.5 – Curvas de igual sensibilidade auditiva [Almeida, 2007]. ....  | 23 |
| Figura 3.6 - Descrição das curvas de ponderação (filtros) A, B, C e D [Almeida, 2007]. ....  | 23 |
| Figura 3.7 - Níveis sonoros de vários sons [Fonte: S&P] .....  | 24 |
| Figura 3.8 - Sons aéreos e sons de percussão [Fonte: Imperialum].....  | 25 |
| Figura 3.9 - Curva de referência da norma NP EN ISO 717-1. ....  | 26 |
| Figura 3.10 - Funcionamento do isolamento sonoro a sons de condução aérea. ....  | 28 |
| Figura 3.11 - Caminhos de transmissão possíveis entre 2 salas adjacentes [Mateus, Diogo, 2008]. ....   | 29 |
| Figura 3.12 - Comportamento dos valores de R de acordo com a frequência em elementos simples<br>[Apontamentos física das construções – ISEP] ..... | 30 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 3.13 - Comportamento do isolamento sonoro a sons aéreos em elementos duplos [Dissertação Feup, Queirós, Mafalda].....  | 32 |
| Figura 3.14 - Comportamento do isolamento sonoro a sons aéreos em elementos duplos com frequências de coincidência iguais (esq.) e diferentes (dir.) [Dissertação Feup, Queirós, Mafalda]..         | 32 |
| Figura 3.15 - Ábaco para estimar o índice de redução sonora de elementos de compartimentação homogéneos, simples, em função da sua massa superficial [Fonte: Oliveira de Carvalho, A.P.,2011] ..... | 33 |
| Figura 3.16 - Ábaco para determinar o acréscimo de isolamento sonoro por acrescento de um novo pano divisório.....  | 34 |
| Figura 3.17 - Ábaco para determinar o acréscimo de isolamento sonoro de envidraçados em função da sua massa superficial.....  | 35 |
| Figura 3.18 - Traçado da curva para determinação dos valores de R, com base no modelo de Sharp. ....  | 36 |
| Figura 3.19 - Comportamento teórico de um elemento construtivo duplo [Fonte: Oliveira de Carvalho, A.P.,2004] .....   | 39 |
| Figura 3.20 - Exemplo de um elemento de separação heterogéneo [Mateus, Diogo, 2008]. .....  | 40 |
| Figura 3.21 - Exemplos da influência da transmissão marginal em elementos homogéneos. ....  | 41 |
| Figura 3.22 - Esquema de montagem dos equipamentos de ensaio. ....  | 43 |
| Figura 3.23 - Exemplo da determinação do valor $D_{nT,w}$ , após o ajuste das curvas [Boletim de ensaio ISEP] .....   | 47 |
| Figura 3.24 - Esquema da propagação de sons de percussão.....   | 48 |
| Figura 3.25 - Esquema da aplicação de uma lajeta flutuante em betão armado [Fonte: Apontamentos Mateus, Diogo, 2008].....   | 49 |
| Figura 3.26 - Esquema de montagem dos equipamentos de ensaio, com exemplo da máquina de percussão à direita. ....   | 53 |
| Figura 3.27 - Exemplo da determinação do valor $L'_{nT,w}$ , após o ajuste das curvas [Boletim de ensaio ISEP] .....  | 56 |
| Figura 3.28 - Apoios antivibráticos metálicos [Catálogo LESOL] .....  | 61 |
| Figura 3.29 - Membranas flexíveis [Catálogo LESOL] .....  | 61 |
| Figura 3.30 - Combinados à base de metal e borracha ou outro elastómero [Catálogo LESOL] .....  | 62 |
| Figura 3.31 - Aplicação de isolamento em tubagens.....  | 62 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 3.32 - Interface do Cypevac.....  | 63 |
| Figura 3.33 - Interface do Cypevac dados da obra.....  | 64 |
| Figura 3.34 - Interface do Cypevac com os diferentes tipos de paredes exteriores, interiores e pavimentos.....                                   | 64 |
| Figura 3.35 - Interface do Cypevac com a introdução dos dados do primeiro pano de parede, da caixa de ar e do segundo pano. ....                 | 65 |
| Figura 3.36 - Interface do Cypevac de um material individualmente.....   | 65 |
| Figura 3.37 - Interface do Cypevac: base de dados do LNEC. ....  | 66 |
| Figura 3.38 - Interface do Cypevac: esquema de um exemplo de parede introduzida. ....  | 66 |
| Figura 3.39 - Interface do Cypevac: esquema de um exemplo de um pavimento introduzido.....   | 67 |
| Figura 3.40 - Interface do Cypevac: exemplo da introdução de um compartimento. ....  | 67 |
| Figura 3.41 - Interface do Cypevac: exemplo da introdução de um envidraçado. ....  | 67 |
| Figura 3.42 - Interface do Cypevac: exemplo da introdução da contribuição das transmissões marginais   | 68 |
| Figura 3.43 - Interface do Cypevac: exemplo de uma parede exterior introduzida no compartimento...   | 68 |
| Figura 3.44 - Interface do Cypevac com a verificação do elemento construtivo.....  | 68 |
| Figura 3.45 - Interface do Cypevac com um exemplo das tabelas de cálculo.....  | 69 |
| Figura 4.1 - Amostra da planta de condicionantes do PDM da CMP publicada em diário da república. ..  | 80 |
| Figura 4.2 - Planta de condicionantes: Zonamento acústico com localização da zona de Cedofeita.....  | 80 |
| Figura 4.3 - Mapa do ruído da cidade do Porto para o período diurno-entardecer-noturno, com a indicação da zona em estudo (indicador Lden) ..... | 81 |
| Figura 4.4 - Mapa do ruído da cidade do Porto para o período noturno, com a indicação da zona em estudo (indicador Ln) .....                     | 81 |
| Figura 4.5 - Planta do edifício Cedofeita: Cave .....  | 82 |
| Figura 4.6 - Planta do edifício Cedofeita: Piso 0.....   | 82 |
| Figura 4.7 - Planta do edifício Cedofeita: Piso 1.....   | 83 |
| Figura 4.8 - Planta do edifício Cedofeita: Piso 2.....   | 83 |
| Figura 4.9 - Planta do edifício Cedofeita: Cobertura.....  | 84 |
| Figura 4.10 - Identificação e pormenor construtivo da parede Pe1. ....   | 85 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 4.11 - Cálculo do $R_w$ , segundo o modelo de Sharp, da parede Pe1 [Figura fornecida pela empresa].  | 86  |
| Figura 4.12 - Identificação e pormenor construtivo da parede Pe2.   | 88  |
| Figura 4.13 – Gráfico da lei das massas com a marcação do $R_w$ , da parede Pe2.  | 89  |
| Figura 4.14 - Identificação e pormenor construtivo da parede Pm1.   | 90  |
| Figura 4.15 - Cálculo do $R_w$ , segundo o modelo de Meisser, da parede Pm1 [figura fornecida pela empresa].                                      | 91  |
| Figura 4.16 - Identificação e pormenor construtivo da solução de correção da parede Pm1.  | 93  |
| Figura 4.17 - Planta de condicionantes: Zonamento acústico com localização da zona em estudo.   | 96  |
| Figura 4.18 - Mapa do ruído da cidade do Gaia para o período diurno-entardecer-noturno, com a indicação da zona em estudo (indicador $L_{den}$ ). | 96  |
| Figura 4.19 - Mapa do ruído da cidade do Gaia para o período noturno, com a indicação da zona em estudo (indicador $L_n$ ).                       | 97  |
| Figura 4.20 - Planta do edifício Gaia: Piso 0   | 98  |
| Figura 4.21 - Planta do edifício Gaia: Piso 1   | 98  |
| Figura 4.22 - Planta do edifício Gaia: Piso 0   | 99  |
| Figura 4.23 - Planta do edifício Gaia: alçado piso 0  | 99  |
| Figura 4.24 - Planta do edifício Gaia: alçado piso 1  | 99  |
| Figura 4.25 - Identificação em planta e alçado da parede exterior da sala, Pe1.   | 101 |
| Figura 4.26 - Identificação em planta e alçado da parede exterior do quarto, Pe2.   | 102 |
| Figura 4.27 - Pormenor da parede exterior do quarto, Pe2.   | 103 |
| Figura 4.28 - Cálculo do $R_w$ , segundo o modelo de Meisser, da parede Pe2 [figura fornecida pela empresa].                                      | 104 |
| Figura 4.29 - Identificação da parede de meiaçã da sala, Pm1.   | 106 |
| Figura 4.30 - Pormenor construtivo da parede de meiaçã da sala, Pm1.  | 106 |
| Figura 4.31 - Cálculo do $R_w$ , segundo o modelo de Meisser, da parede de meiaçã da sala, Pm1 [Material fornecido pela empresa].                 | 107 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 3.1 - Quadro síntese com as propriedades de alguns materiais. ....  | 37 |
| Tabela 3.2 - Valor de K, consoante a caixa de ar e o material absorvente [Fonte: Oliveira de Carvalho, A.P.,2011] ou dissertação ano anterior confirmar..... | 38 |
| Tabela 3.3 - Valores da curva de referência dos sons aéreos .....  | 46 |
| Tabela 3.4 - Resumo da verificação do cumprimento da legislação .....  | 46 |
| Tabela 3.5 - Fatores de correção devido às transmissões marginais $K_{TM}$ .....   | 50 |
| Tabela 3.6 - Redução sonora de revestimentos de piso resilientes.....  | 51 |
| Tabela 3.7 - Redução sonora de revestimentos de piso flutuantes.....   | 52 |
| Tabela 3.8 - Valores do método do invariante [Silva, 1978]. ....   | 52 |
| Tabela 3.9 - Valores da curva de referência para os sons de percussão.....   | 55 |
| Tabela 3.10 - Resumo da verificação do cumprimento da legislação .....   | 55 |
| Tabela 3.11 - Valores limite de exposição.....   | 73 |
| Tabela 3.12 - Exigências regulamentares - $D_{2m,nT,w}$ .....  | 76 |
| Tabela 3.13 - Exigências regulamentares - $D_{nT,w}$ .....   | 76 |
| Tabela 3.14 - Exigências regulamentares – $L'_{nT,w}$ .....  | 77 |
| Tabela 3.15 - Exigências regulamentares – $L_{Ar,nT}$ .....  | 77 |
| Tabela 4.1 - Critérios exigenciais aplicáveis para a habitação de Cedofeita .....  | 84 |
| Tabela 4.2 - Cálculo do $R_w$ , segundo a lei da massa, da parede Pe1.....   | 85 |
| Tabela 4.3 - Cálculo do $R_w$ , através de diferentes modelos, da parede Pe1. ....   | 86 |
| Tabela 4.4 - Cálculo do $D_{2m,nT,w}$ , da parede Pe1.....   | 87 |
| Tabela 4.5 - Cálculo do $R_w$ , segundo a lei da massa, da parede Pe2.....   | 88 |
| Tabela 4.6 - Cálculo do $R_w$ , através de diferentes modelos, da parede Pe2. ....   | 89 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 4.7 - Cálculo do $D_{2m,nT,w}$ , da parede Pe2.....  | 90  |
| Tabela 4.8 - Cálculo do $R_w$ , segundo a lei da massa, da parede Pm1.....  | 91  |
| Tabela 4.9 - Cálculo do $R_w$ , através de diferentes modelos, da parede Pm1.....                                     | 92  |
| Tabela 4.10 - Cálculo do $D_{nT,w}$ , da parede Pm1.....  | 92  |
| Tabela 4.11 - Cálculo do $R_w$ , segundo a lei da massa, da solução de correção da parede Pm1.....                    | 93  |
| Tabela 4.12 - Cálculo do $R_w$ , através de diferentes modelos, da solução de correção da parede Pm1....              | 93  |
| Tabela 4.13 - Cálculo do $D_{nT,w}$ , da solução de correção da parede Pm1. ....                                      | 94  |
| Tabela 4.14 - Critérios exigenciais aplicáveis para a habitação de Gaia .....   | 100 |
| Tabela 4.15 - Cálculo do $D_{2m,nT,w}$ , da parede exterior da sala, Pe1.....   | 102 |
| Tabela 4.16 - Cálculo do $R_w$ , segundo a lei da massa, da parede Pe2.....   | 103 |
| Tabela 4.17 - Cálculo do $R_w$ , através de diferentes modelos, da parede Pe2.....                                    | 104 |
| Tabela 4.18 - Cálculo do $D_{2m,nT,w}$ , da parede Pe2.....   | 105 |
| Tabela 4.19 - Cálculo do $R_w$ , segundo a lei da massa, da parede Pm1.....   | 107 |
| Tabela 4.20 - Cálculo do $R_w$ , através de diferentes modelos, da parede Pm1.....                                    | 108 |
| Tabela 4.21 - Cálculo do $D_{nT,w}$ , da parede de meiação da sala Pm1.....   | 108 |
| Tabela 4.22 – Comparação do índice de redução sonora para diferentes tipos de paredes.....                            | 109 |
| Tabela 4.23 – Comparação do índice de índice de isolamento sonoro de diferentes elementos de fachada.....             | 110 |
| Tabela 4.24 – Comparação do índice de índice de isolamento sonoro de diferentes elementos de paredes de meiação ..... | 111 |

## ABREVIATURAS

$A_{2(f)}$  – Superfície de absorção equivalente do compartimento recetor

$c$  – celeridade (velocidade de propagação do som no ar)

$C_L$  – velocidade de propagação das ondas longitudinais

$C$  ou  $ctr$  – termos de adaptação do ruído rosa, ou ruído de tráfego, respetivamente

$d$  – espessura da caixa de ar

$D$  – isolamento sonoro bruto

$D_{2m,nT,w}$  – índice de isolamento sonoro a sons aéreos, entre o exterior e o interior

$D_{nT,w}$  – índice de isolamento sonoro a sons aéreos, entre elementos de compartimentação interiores

ETICS – External Thermal Isolation Composite System

$f$  – frequência

$f_c$  – frequência crítica

$f_0$  – frequência de ressonância

$h$  – espessura do elemento

$I$  – fator de incerteza

$K_{TM}$  – correção devida à ocorrência de transmissões marginais

$L_{Aeq,T}$  – nível sonoro contínuo equivalente, ponderado

$L(t)$  – nível de pressão sonora no instante  $t$

$L_I$  – nível de intensidade sonora

$L_p$  – nível de pressão sonora

$L_w$  – nível de potência sonora

$L'_{nT,w}$  – índice de isolamento sonoro a sons de percussão

## ABREVIATURAS

$L_{1(f)}$  – Nível sonoro do compartimento emissor por frequência

$L_{2(f)}$  – Nível sonoro do compartimento recetor por frequência

$L_{1,2m(f)}$  – diferença entre o nível médio de pressão sonora exterior, medido a 2 m da fachada do edifício

$L_d$  – indicador de ruído diurno

$L_e$  – indicador do ruído de entardecer

$L_n$  – indicador do ruído noturno

$L_{den}$  – indicador do ruído diurno, entardecer, noturno

$m$  – massa superficial de um elemento

$n$  – fator de perdas internas

$P(t)$  – pressão total resultante num determinado ponto (Pa)

$p(t)$  – pressão sonora (Pa)

$P_0$  – pressão atmosférica ( $2 \times 10^{-5}$  Pa)

$R_{(f)}$  – redução sonora por frequência

$R_w$  – índice de redução sonora

$R'_w$  – índice de redução sonora aparente

$R_{wconjunto}$  – índice de redução sonora do conjunto

$S$  – Área do elemento separador entre os dois compartimentos

$T$  – período de tempo considerado

$TM$  – transmissões marginais

$T_0$  – tempo de reverberação de referência (por norma 0,5 s)

$V$  – Volume do compartimento recetor

$\gamma$  – coeficiente de poisson

$\lambda$  – comprimento de onda

$\rho_0$  – massa volúmica do ar ( $\pm 1,2 \text{ kg/m}^3$ )

$\Delta R_w$  – acréscimo de isolamento sonoro

$\Delta L_w$  – redução da transmissão sonora, devido ao revestimento do piso

$\tau_{conjunto}$  – coeficiente de transmissão sonora do conjunto

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O presente relatório descreve o trabalho desenvolvido durante o estágio curricular efetuado na empresa Alfaengenharia para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, do Ramo de Construções, no Instituto Superior de Engenharia do Porto.

O estágio desenvolveu-se no âmbito de um protocolo estabelecido entre o referido estabelecimento de ensino superior e a empresa e decorreu entre 22 de fevereiro a 29 de julho.

Durante este período foram realizadas diversas atividades, com destaque para:

- Projetos de condicionamento acústico;
- Acompanhamento e Fiscalização de Obras;
- Projeto de abastecimento e drenagem de águas residuais;
- Estudo Prévio de Projetos de Especialidades;
- Soluções Construtivas no âmbito da reabilitação de habitações.

Este relatório tem como objetivo apresentar o trabalho desenvolvido durante o período de estágio, com destaque para a fiscalização de obras, o seu acompanhamento e a temática da reabilitação. Por outro lado, abordar a temática da acústica de edifícios, de forma a apresentar diferentes métodos de estimativa para o cálculo do isolamento sonoro, referindo a importância da realização de ensaios acústicos “in situ”, expondo toda a legislação aplicável. O objetivo final do relatório é desenvolver um estudo de desempenho acústico para edifícios de habitação unifamiliares.

## 1.2 OBJETIVOS DO ESTÁGIO

Um estágio curricular pretende essencialmente desenvolver as competências de um estudante para poder ingressar no mercado de trabalho com outro nível de preparação, fortalecendo desta forma a aquisição de novos conhecimentos, a aplicação dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso e o desenvolvimento das competências pessoais e profissionais através do contacto com o ambiente empresarial.

Destacam-se a valorização de capacidades como rigor, ética e a aptidão para trabalho individual e em equipa.

Desta forma, este estágio teve como principais objetivos:

- Aplicar e fortalecer os conhecimentos adquiridos ao longo do curso;
- Adquirir experiência na área de projeto;
- Aumentar os conhecimentos na área da fiscalização de obras;
- Desenvolver competências pessoais e profissionais, através do contacto com o mercado de trabalho;
- Resolver problemas concretos ocorridos tanto em gabinete como em obra.
- Conhecer a realidade do mundo profissional.

### 1.3 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

O presente relatório de estágio encontra-se dividido em 5 capítulos, referências bibliográficas e anexos.

No capítulo 1 é feita uma breve introdução, onde se apresentam as considerações iniciais, os objetivos do estágio e a organização do relatório.

O capítulo 2 aborda essencialmente o estágio curricular frequentado, através da descrição da empresa bem como das atividades desenvolvidas durante o período de estágio, fazendo um relato dos acontecimentos que ocorreram, desde o acompanhamento e fiscalização de obras à elaboração de projetos.

O capítulo 3 refere-se à temática da acústica de edifícios, de forma a abordar corretamente o capítulo seguinte. São definidos alguns conceitos fundamentais para a perceção da acústica de edifícios e apresentada toda a metodologia de cálculo para o isolamento sonoro a sons aéreos e sons de percussão, com destaque para a lei da massa teórica, o modelo de Sharp e o modelo de Meisser. Para completar, é abordado o programa de cálculo automático Cypevac, servindo no final como comparação aos métodos de cálculo manuais. É feita uma referência aos ensaios acústicos e, por último, à legislação aplicável ao estudo acústico de edifícios de habitação.

No capítulo 4 é feita uma avaliação do desempenho acústico de habitações unifamiliares geminadas, aplicando desta forma todos os modelos de cálculo teóricos apresentados no capítulo anterior. A abordagem que é feita às habitações, tenta ser semelhante a um projeto de condicionamento acústico para licenciamento, tarefa desenvolvida durante o estágio curricular. Por fim, é efetuada uma análise comparativa entre as habitações alvo de estudo, nomeadamente ao nível das soluções construtivas.

No capítulo 5 são apresentadas as considerações finais, retirando-se conclusões acerca do estágio curricular, bem como da avaliação do desempenho acústico de habitações.



## 2 ESTÁGIO EM AMBIENTE EMPRESARIAL

### 2.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Como referido anteriormente, o estágio foi realizado na Alfaengenharia, uma empresa fortemente vocacionada para a área de projeto e consultoria em Engenharia Civil.

A sua atividade comercial começou essencialmente na área da acústica e das avaliações imobiliárias. Posteriormente, em 2010, manteve o nome comercial de Alfaengenharia e foi fundada a empresa: alexandra correia barbosa, soluções de engenharia, unipessoal lda. Com a criação da empresa, e devido a solicitações de clientes, bem como gosto por diferentes áreas do mercado da construção e fundamentalmente reabilitação, alargou-se o domínio de atividade. A empresa passou a fornecer todo um conjunto de serviços integrados da fase de projeto de acompanhamento do cliente no processo construtivo: Avaliação, Projeto, Consultoria, Ensaios, Certificação, Fiscalização, entre outros.

Ao longo do tempo a empresa ganhou um vasto portfólio e experiência na área dos Projetos de Condicionamento Acústico, com destaque para empreendimentos na área da indústria, comércio, serviços, entre outros.

Atualmente, e paralelamente aos Projetos de Acústica, a empresa desenvolve um conjunto de projetos integrados na área da reabilitação de edifícios no grande Porto. Mais recentemente, começou a sua atividade na fiscalização da construção de edifícios.

A metodologia de trabalho da empresa baseia-se no rigor e perfeição dos trabalhos desenvolvidos, sendo que todas as questões técnicas dos projetos são discutidas entre os elementos disponíveis de forma a encontrar a melhor solução.



Figura 2.1 - Logotipo da empresa.

## **2.2 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O ESTÁGIO**

Ao longo do período de estágio foi possível a realização de diversas tarefas, desde projeto até ao acompanhamento de obras no terreno.

No terreno foi possível observar os trabalhos que estavam a ser executados, fazer o respetivo acompanhamento e fiscalização, bem como participar em reuniões de obra com o empreiteiro, dono de obra, arquiteto e diretor técnico de obra.

No gabinete foi possível executar diversas tarefas desde os projetos de condicionamento acústico à preparação de obra através de estudos prévios, passando pela elaboração dos relatórios e documentação relativa à fiscalização da empreitada no Grande Porto.

Nos subcapítulos seguintes descrevem-se com algum detalhe as tarefas referidas anteriormente.

### **2.2.1 Fiscalização de obras**

A atividade da fiscalização de obras foi uma tarefa atribuída nos primeiros contactos com a empresa de acolhimento. Foi estabelecido que ficaria encarregue, juntamente com outro engenheiro da empresa, de uma obra que consistia na construção de uma moradia unifamiliar em Penafiel. Como o estágio teve início em finais de fevereiro e a obra devido a atrasos sucessivos só começou em meados de abril, foi solicitado ao estagiário a organização e resumo de toda a legislação e documentação relativa à fiscalização de obras, segurança e saúde, betão, aço e qualidade do produto.

Entretanto, dia 05 de março de 2016, houve uma primeira reunião no local da obra com todos os intervenientes, e que teve como objetivo:

- Compatibilização dos diferentes projetos;
- Detecção de erros de projeto;
- Esclarecimento de dúvidas do empreiteiro com os projetistas;
- Estudo de soluções alternativas;
- Preparação do início da obra.

Aquando do início anunciado dos trabalhos, foi comunicada a necessidade de começar a rever e analisar os projetos de arquitetura e de estabilidade fazendo a sua respetiva compatibilização de forma a prestar um serviço de fiscalização preventivo ou fiscalização de projeto.

Como se veio a constatar mais tarde, a atuação da fiscalização pode ser otimizada com o recurso a checklists, fichas de controlo de conformidade ou planos de inspeção e ensaio. Desta forma, há um melhor controlo da obra, dado que estes instrumentos funcionam como auxiliares de memória. Rapidamente, procedeu-se ao desenvolvimento desses documentos para diversas atividades que foram consideradas determinantes serem alvo de uma ação de fiscalização mais atenta. Remete-se em anexo grande parte da documentação que foi produzida no âmbito da fiscalização de obras.

Fazem parte de algumas das funções da fiscalização, organizadas por áreas funcionais, as seguintes:

- Verificação da conformidade: garantir que a obra é executada de acordo com o projeto, revisão do projeto, agendamento de reuniões com todos os intervenientes, execução de rotinas de inspeção através de fichas de controlo de conformidade, realização de ensaios de desempenho;
- Gestão da informação: controlo das versões atualizadas das peças escritas e desenhadas, verificação das frentes de obra, realização de atas de reuniões de obra, gestão de correspondência enviada e recebida, registo e gestão das não conformidades;
- Gestão de custos: controlo orçamental da obra, medição dos trabalhos com rigor, atualização da conta corrente da obra, atualização da previsão do custo final da obra, elaboração da conta final;
- Controlo de prazos: registo dos avanços na frente de obra, avaliação e aprovação do plano de trabalhos do empreiteiro, realização de balizamentos periódicos;
- Controlo da qualidade: aprovação de subempreiteiros, aprovação prévia de materiais com possíveis amostras padrão, discussão de processos construtivos, comprovação da conformidade dos materiais com o estabelecido em projeto, coordenação da realização de ensaios previstos nas condições técnicas de execução, verificação da conformidade dos equipamentos fornecidos com o estabelecido em projeto;
- Licenciamento / Contrato: verificação do cumprimento dos atos da contratação, do licenciamento e legais da empreitada;
- Segurança: acompanhamento da implementação das medidas de segurança;
- Controlo ambiental: acompanhamento da montagem e desmontagem do estaleiro; verificação das medidas no que toca aos Resíduos da Construção e Demolição.

## CAPÍTULO 2

No entanto, as bases do contrato da empresa com o Dono de Obra consistiam apenas nas seguintes tarefas:

- Deslocamento à obra com a frequência adequada para verificar a conformidade dos trabalhos com o estabelecido em projeto;
- Verificar a qualidade dos materiais aplicados;
- Comunicar ao Dono de Obra e ao coordenador de projeto todas as divergências ou deficiências encontradas no decorrer da obra;
- Garantir que as condições de segurança estavam a ser cumpridas;
- Agendamento de reuniões com todos os intervenientes para garantir a continuidade dos trabalhos em boas condições;

Apresentam-se de seguida as atividades de fiscalização que o estagiário teve oportunidade de participar enquanto membro da equipa de fiscalização, com toda a pormenorização e detalhes considerados importantes.

A obra consistia na construção de uma moradia de habitação unifamiliar isolada, localizada em Penafiel. A moradia iria ser composta por um piso e mezanino, destinados à habitação e apresentava a seguinte distribuição de espaços:

- Piso 0: Sala de estar, jantar, cozinha, lavandaria, halls, quartos e duas instalações sanitárias;
- Mezanino: escritório.

A habitação estava a ser construída por meio de estrutura porticada de betão armado, com sapatas, lajes aligeiradas, pilares, vigas e lintéis, em betão C25/30 e aço A500.

O pavimento era constituído por uma camada de enchimento, um desvão sanitário do tipo Cupplex e isolamento térmico em poliestireno extrudido.

As paredes exteriores seriam constituídas por tijolo cerâmico térmico, revestidas por um sistema do tipo ETICS (External Thermal Isolation Composite System).

A constituição cobertura era através de uma laje em betão armado, revestida por isolamento térmico e telha cerâmica.

Em projeto previa-se a instalação de envidraçados de caixilharia metálica com corte térmico e vidros duplos.

A figura seguinte representa a planta de estabilidade das fundações da habitação.

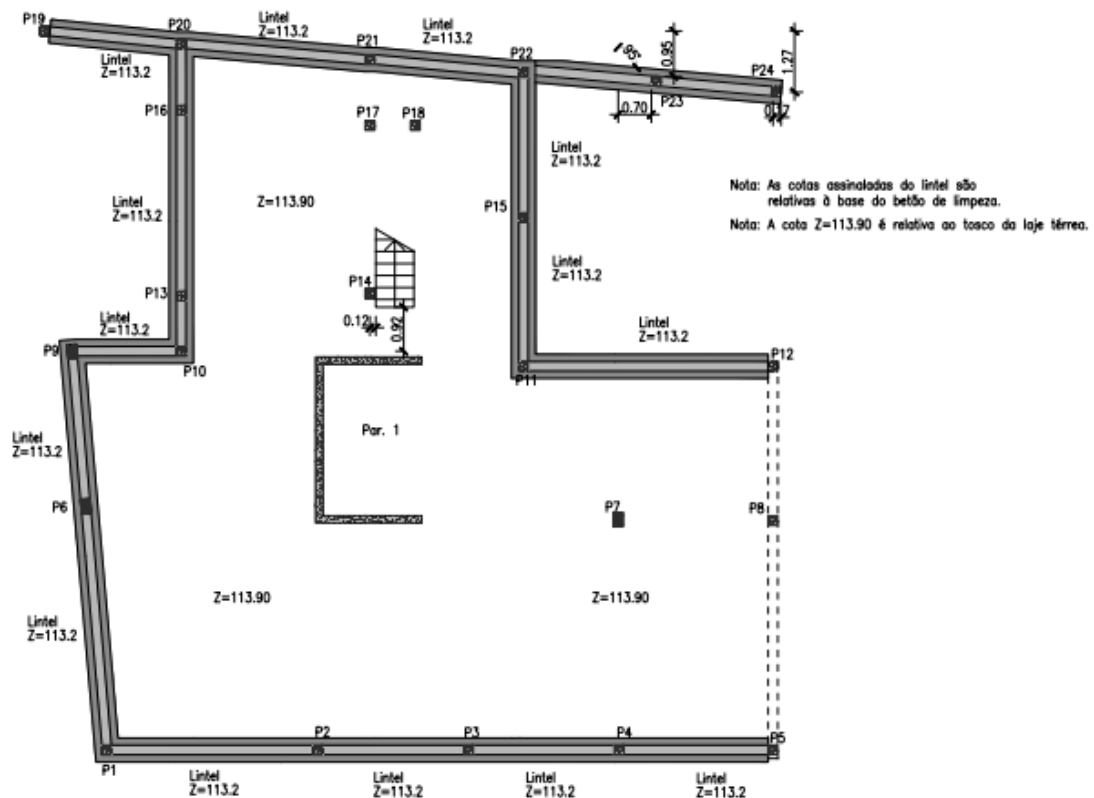


Figura 2.2 – Planta estrutural das fundações [Fornecido pela empresa]

Os trabalhos tiveram início a meio de abril e a primeira ação de fiscalização teve lugar no dia 19 de abril, com o objetivo de reunir os responsáveis da fiscalização e da direção de obra para dar início aos trabalhos de fiscalização. Nesta reunião ficou acordado que equipa de fiscalização se deslocaria à obra em dias de betonagens, para verificar os trabalhos executados, ficando à responsabilidade do empreiteiro indicar a data, que podia sofrer alterações devido às condições climáticas. Foi pedida uma série de documentação para dar início aos trabalhos de fiscalização, como seguros e termos de responsabilidade, alvará, dados dos trabalhadores, entre outros. Por último, a equipa fez uma inspeção ao local da obra, com especial cuidado para as normas de segurança, placas identificativas e equipamentos.

Durante a reunião foram levantadas questões pela direção de obra relativamente aos alinhamentos entre os projetos de estruturas e de arquitetura e sobreposições de vigas com outros elementos visto que não existiam projetos de execução. Outra questão colocada foi acerca da ventilação do desvão sanitário, através de um sistema do tipo Cupplex, visto que o fabricante não possui fichas técnicas de instalação. Todas estas questões foram anotadas pela equipa de fiscalização, para serem resolvidas posteriormente.

A próxima visita à obra teve lugar no dia 22 de abril e teve como objetivo verificar as primeiras betonagens das fundações, e a conformidade das armaduras de acordo com o projeto estrutural.

Quando a equipa de fiscalização chegou ao local já tinham sido realizadas algumas betonagens sem verificação prévia. Após a inspeção das restantes armaduras constatou-se que certos varões correspondiam a um aço do tipo A400 NR SD em vez do A500 NR estabelecido em projeto. Rapidamente comunicou-se este facto ao empreiteiro e ao Dono de Obra que se encontrava no local, e foram pedidas as guias de receção do aço. Simultaneamente notificou-se o Diretor de Obra, bem como a Diretora de Fiscalização que contactou os respetivos projetistas. Entretanto, as betonagens prosseguiram até ao final, mas esta alteração ao projeto não foi aprovada, pelo que a solução encontrada pelos projetistas foi um aumento de 25% à quantidade de aço, para compensar a perda de resistência. Ou seja, de uma forma técnica a solução encontrada foi efetuar furos nas sapatas, introduzir o acréscimo de varões e preencher o espaço com uma bucha química especial.

Foi também pedida a ficha de receção do betão, e à semelhança do aço, foi remetida para a próxima visita.

Na figura seguinte é apresentado um excerto de uma tabela da autoria de Joana de Sousa Coutinho que permite distinguir os diferentes tipos de varões para betão armado existentes no mercado, semelhante à que a equipa de fiscalização utilizou na obra. Em anexo apresenta-se a tabela completa.

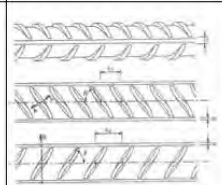
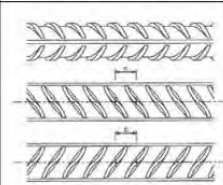
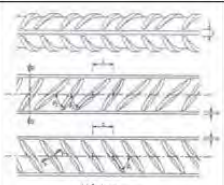
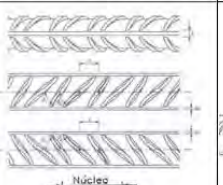
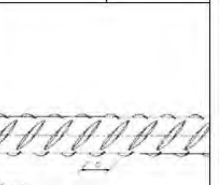
| Varões para betão armado (mais usados)   |  |  |   |  |
|--|--|--|---|--|
| A400 NR<br>Alta ductilidade  | A400 NR SD<br>Ductilidade especial   | A500 NR<br>Alta ductilidade  | A500 NR SD<br>Ductilidade especial  | A500 ER<br>Ductilidade normal<br>(A500 EL só para redes)   |
|  <p>2 séries de nervuras transversais Com diferentes afastamentos nos dois lados do varão. Na mesma série as nervuras têm a mesma inclinação.</p> |  <p>2 séries de nervuras transversais Com afastamentos iguais e a mesma inclinação nos dois lados</p> |  <p>2 séries de nervuras transversais<br/>Uma série com nervuras com a mesma inclinação e afastamento<br/>A outra série contém duas subséries de nervuras com o mesmo afastamento mas de inclinações diferentes</p> |  <p>2 séries semelhantes de nervuras transversais cada uma constituída por duas subséries de inclinações diferentes e uniformemente espaçadas</p> |  <p>3 séries de nervuras transversais</p> |

Figura 2.3 – Diferentes tipo de varões para betão armado [Adaptado de Joana de Sousa Coutinho, 2005]

No dia 4 de maio realizou-se uma nova ação de fiscalização com o objetivo de verificar as armaduras dos lintéis e o reforço estrutural devido a redução da resistência do aço.

Relativamente ao reforço estrutural encontrava-se de acordo com as instruções da equipa de projetistas. Foi ainda verificada a embalagem da bucha química utilizada no reforço.

Após a análise do espaço de obra constatamos que tinham sido efetuadas novamente betonagens sem o consentimento por parte da fiscalização, e aquando do pedido das guias de receção fomos informados que foi utilizado betão produzido em obra com as dosagens de um C25/30 estabelecido em projeto. No entanto, isso não permite que exista uma declaração de conformidade do betão utilizado. Nunca foi encontrada uma solução para esta situação.

Entre as questões técnicas levantadas pelo Diretor de Obra e pelo Empreiteiro, tiveram lugar as seguintes:

- Uma incompatibilidade na sobreposição das vigas do piso 1 com as plantas de arquitetura, na qual propuseram a implementação de vigas invertidas ou então vigas rasas. Esta questão foi para a avaliação da equipa de projetistas de estruturas.
- Novamente a questão da ventilação do desvão sanitário esteve na ordem dos trabalhos. Anteriormente tive a oportunidade de contactar a empresa que produz o sistema do tipo Cupolex, a qual me informou que no geral faziam a ventilação colocando tubos de 90mm espaçados de 3 em 3 metros. Esta solução era incompatível com a arquitetura, pelo que ficou combinado que o Diretor de Obra ia contactar diretamente a empresa dos pavimentos para arranjar uma solução.

## CAPÍTULO 2

No dia 13 de maio foram verificadas as betonagens dos restantes lintéis, bem como uma inspeção ao local da obra para verificar o andamento dos trabalhos.

Foram verificados todos os lintéis, nomeadamente dimensões e implantação. Não foram detetadas quaisquer inconformidades relativamente ao projeto e o empreiteiro forneceu as guias de receção do betão pelo que demos a nossa aprovação.

Ao mesmo tempo, verificou-se que o betão de limpeza para assentamento do pavimento tinha sido colocado. Foram tiradas medidas para verificar a cota a que se encontrava o pavimento.

Após uma vistoria ao local não foram encontrados problemas maiores, pelo que se fez o respetivo levantamento fotográfico.

Ficou combinado que aquando da colocação do Cupolex e respetiva betonagem haveria uma nova visita da fiscalização ao local.

Nesta reunião, o empreiteiro solicitou apoio técnico na ligação estrutural entre os pilares e a laje da cobertura (dado que esta é inclinada) existe dificuldade na dobragem de varões do tipo 16mm, e a solução do empreiteiro foi a possível utilização de varões de 12mm. Remeteu-se este assunto para os projetistas de estruturas.



Figura 2.4 – Armaduras dos lintéis antes da betonagem [Fotografia fornecida pela empresa]

No dia 17 de maio a visita ao local teve como objetivo verificar a colocação do “Cupolex”, a rede de drenagem de águas residuais e a ventilação do pavimento.

Em primeiro lugar prestou-se atenção a toda a tubagem que deveria ser instalada no interior do desvão sanitário, nomeadamente a rede de drenagem de águas residuais. Teve-se atenção aos diâmetros, local de implantação e cotas.

De seguida, verificou-se a instalação dos módulos do Cupolex, conhecidos pela sua rapidez e facilidade de montagem. Segundo as fichas técnicas deveria ser instalado da esquerda para a direita e de cima para baixo, de acordo com a figura seguinte.

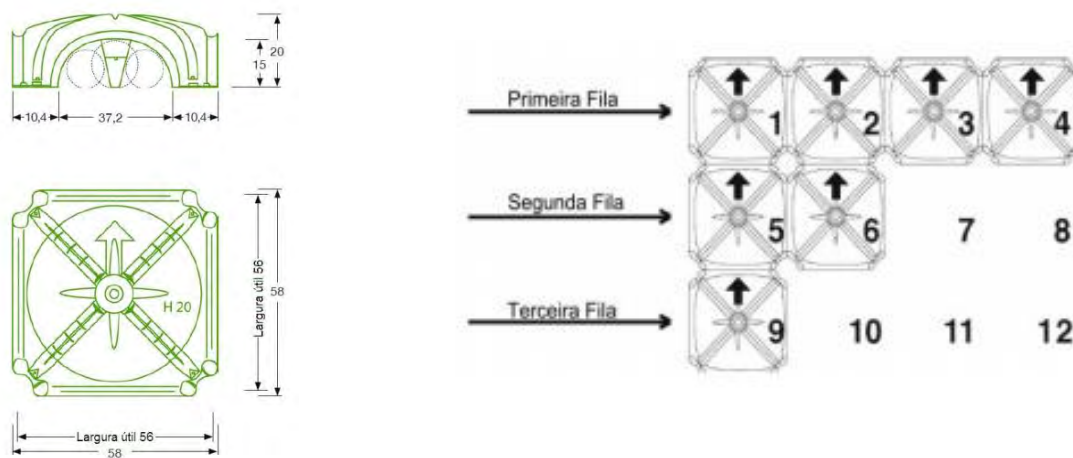


Figura 2.5 - Módulo de Cupolex, juntamente com o esquema de instalação [Fonte: Fercanorte]

Verificou-se ainda a ventilação do pavimento que ficou acordada, ou seja, aberturas com tubos PVC 110 colocados em pontos extremos do pavimento. A equipa de fiscalização deu aprovação a esta solução.

Por último, foi possível assistir à colação de uma parte da rede malhasol CQ38 estabelecida em projeto.

Outro problema que o empreiteiro colocou, foi a decisão de não colocar isolamento térmico XPS 4cm por cima do piso ventilado, visto que decidiram colocar piso radiante na habitação. A fiscalização desconhecia estas alterações, pelo que ficou de abordar este problema posteriormente.

No dia 25 de maio houve nova deslocação à obra para analisar o andamento dos trabalhos. A betonagem do pavimento já tinha sido efetuada como acordado na última visita. No entanto, reparou-se que já tinham sido feitas as betonagens de alguns pilares, sem autorização prévia da parte da fiscalização. As betonagens foram efetuadas novamente com betão produzido em obra, o que não permitiu verificar a qualidade do betão através das guias de remessa ou certificados de conformidade.

Entretanto, verificou-se as outras armaduras que ainda não tinham sido betonadas, nomeadamente de uma parede e dos restantes pilares. Não foram encontradas divergências do estabelecido em projeto.

A 8 de junho de 2016 o estagiário deslocou-se à obra pela última vez, visto que os trabalhos foram suspensos posteriormente.

No entanto, deu para verificar a cofragem de uma parede em betão armado e as armaduras de algumas vigas que se encontravam no estaleiro, prontas para serem colocadas no seu destino final. Verificou-se o tipo de aço, as dimensões e o espaçamento por amostragem, através de uma fita métrica.

Entretanto, já estavam a começar a ser executadas as paredes em alvenaria de bloco térmico de 20 cm, do tipo “bloco TérmicoProEtics”, ideal para a aplicação de um sistema ETICS. Verificou-se a implantação, o alinhamento da parede e a argamassa colocada nas juntas.

Apresenta-se de seguida um exemplo do bloco térmico utilizado, juntamente com esquemas de aplicação do sistema ETICS.

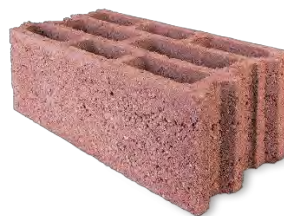


Figura 2.6 – Exemplo de tijolo TérmicoProEtics [Fonte: artebel]

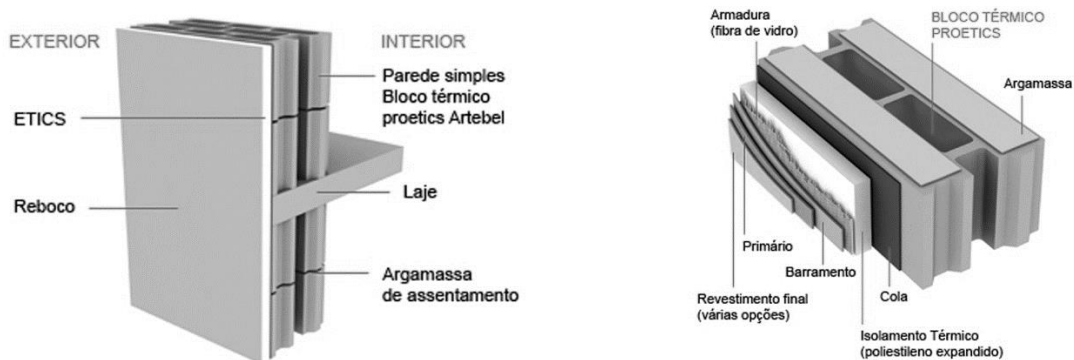


Figura 2.7 – Esquema da aplicação do sistema ETICS no tijolo [Fonte: artebel]

### **2.2.2 Acompanhamento de obras**

Simultaneamente houve algumas deslocações a uma obra que consistia na reabilitação de uma moradia unifamiliar em Baião. O edifício estava localizado numa encosta, e encontrava-se num elevado estado de degradação. As primeiras visitas ao local foram necessárias para efetuar medições, avaliar o estado em que a habitação se encontrava e avaliar o que precisava de intervenção urgente.

O edifício era construído em alvenaria de pedra e apresentava dois pisos. O piso 0 servia como comércio e o piso 1 como habitação. A ideia seria converter o edifício numa habitação unifamiliar e fazer o aproveitamento do sótão.

No escritório houve a oportunidade de fazer os primeiros estudos prévios para a reabilitação do edifício, que irão ser detalhados no subcapítulo seguinte.

As soluções construtivas, juntamente com a arquitetura, passaram por demolir integralmente o interior da habitação, bem como telhado, reabilitando as paredes de alvenaria com argamassa pelo interior e tratamento da pedra pelo exterior, e construção de lajes de betão como compartimentação horizontal.

Como a obra só arrancou no final do estágio, apenas foi possível ver o início dos trabalhos, nomeadamente as primeiras demolições do interior, e a escavação do piso térreo para uma cota mais baixa.

Nas visitas seguintes, deu para assistir à montagem das vigas para assentamento das vigotas da laje, assim como à colocação de escoramento e cofragem.

Entretanto, o estágio finalizou e não houve oportunidade de acompanhar a conclusão da obra.

### 2.2.3 Estudos Prévios

Ao longo do estágio houve a oportunidade de desenvolver os projetos de espacialidades para a reabilitação referida no ponto anterior.

A habitação localizada numa encosta, como referido anteriormente, levantou alguns problemas na elaboração de certos projetos como por exemplo, do abastecimento e drenagem de águas residuais. Era necessário fazer o abastecimento para diversos pontos do terreno com grandes desníveis, o que levantou dificuldades em obter a pressão necessária nos pontos mais altos, e distanciados da ligação à rede pública de abastecimento. Através da mudança do traçado da rede, foi possível obter a pressão mínima para o abastecimento. Outras questões levantadas foram na drenagem das águas residuais dos pontos mais altos, o terreno tinha grandes desníveis, era bastante sinuoso, e a drenagem teria de ser feita para uma fossa séptica. Como é sabido, grandes desníveis na drenagem de águas residuais, originam grandes velocidades de escoamento, acima do permitido. A solução encontrada foi colocar diversas caixas de inspeção, com maior profundidade, de forma a diminuir a inclinação da tubagem. Para realizar estes projetos, o mestrando teve de adotar um traçado para as redes, calcular os diâmetros e inclinações, escolher o tipo de tubagem e fazer o esboço de um orçamento.

Outra tarefa atribuída relativamente a esta habitação, foi o arranjo dos espaços exteriores e conseqüente movimento de terras, bem como a implantação de uma piscina. Foi necessário verificar as cotas disponíveis através de uma planta topográfica e fazer correções de forma a moldar novos espaços no exterior.

Foi solicitado ao estagiário que preparasse a implantação da piscina, nomeadamente cotas, dimensões, traçado das tubagens e materiais necessários, bem como um orçamento. Foi necessário decidir o modelo, tipo e o local de colocação da bomba, filtro, skymmers, ralos de fundo e de impulsão. Quanto aos materiais utilizados para a construção do tanque foi feita uma estimativa dos metros quadrados, de forma a calcular a quantidade de tijolos, armaduras, cerâmica e impermeabilizante.

Outra solução distinta que teve de ser resolvida durante a fase de estudos prévios foi a recuperação do telhado. Este, era composto por duas asnas de madeiras e telhas cerâmicas do tipo Marselha. Nos primeiros projetos que foram esboçados estava prevista a recuperação das asnas, e a substituição integral das madres, varas, ripado, contra-ripado, e telhas cerâmicas, com o acréscimo de placas OSB e 4 cm de isolamento térmico.

Apresentam-se em anexo alguns dos esboços efetuados durante o estágio.

#### **2.2.4 Projetos de Condicionamento Acústico**

A tarefa principal e formal realizada durante o decorrer do estágio foram os projetos de condicionamento acústico, de diversas habitações no grande Porto. Desta forma, optou-se pelo relatório de estágio apresentar um estudo de caso inserido no tema da acústica de edifícios.

Todos os projetos eram de habitações unifamiliares, por norma geminadas, e com três frentes. Desta forma, apenas era necessário o cálculo do isolamento sonoro a sons aéreos entre o exterior e quartos e salas no interior, e o isolamento sonoro a sons aéreos nas paredes de meiação. Por isso, não houve oportunidade em ambiente empresarial de fazer o estudo do isolamento sonoro a sons aéreos de pavimentos e de sons de percussão.

A metodologia de cálculo utilizada no cálculo do índice de redução sonora em paredes simples era baseada no modelo de Ben Sharp (1973) adaptada por David Bies e Colin Hansen, e para paredes duplas era baseada no modelo de Mathias Meisser (1973), adaptada por A. Thadeu e D. Mateus.

Os projetos eram constituídos por introdução, descrição geral do edifício, legislação aplicável, cálculo acústico, ruído particular de equipamentos, conclusões e condições técnicas de execução. Paralelamente, eram entregues juntamente com folhas A3, em que constavam as plantas e alçados do edifício em estudo, completadas com indicações do valor dos cálculos efetuados.

O presente relatório de estágio é completado com alguma informação fornecida pela empresa.



## 3 ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS

A acústica é a ciência que se dedica ao estudo e análise das ondas sonoras, embora a acústica de edifícios como a conhecemos hoje só tenha aparecido no início do século XX pelo físico americano W. C. Sabine.

A acústica de edifícios atual preocupa-se com duas questões fundamentais, nomeadamente:

- Isolamento sonoro, que consiste em “tratar” um compartimento no que respeita aos sons provenientes de locais contíguos, do mesmo edifício ou de construções vizinhas, ou do exterior;
- Correção acústica, que se preocupa em “corrigir” um compartimento, no que diz respeito aos sons emitidos no seu interior.

Neste capítulo serão apresentadas breves noções acústicas, bem como as disposições legislativas em vigor e as metodologias de cálculo para estimar o isolamento sonoro a sons aéreos e de percussão dos elementos construtivos. São ainda feitas referências a ensaios acústicos.

### 3.1 NOÇÕES GERAIS

A acústica é a ciência que estuda o som, a sua propagação tanto em meio fluido como sólido, e as suas inter-relações com o ser humano numa perspetiva de efeitos causados, tenham eles carácter de agradabilidade (música, voz) ou não (ruído). [Patrício, 2003]

O ruído pode ser considerado um som desagradável ou sem significado para o ouvinte. No entanto, o que para uns é ruído, para outros pode ser um som apreciado ou com significado.

O som é o resultado de uma perturbação física ou de uma vibração provocada por uma variação de pressão em relação à pressão atmosférica. O som propaga-se num meio de propagação compressível através da vibração das partículas do meio em torno de uma posição de equilíbrio. O choque das moléculas umas contra as outras origina variações de velocidade dessas moléculas e consequentemente alterações da pressão. O movimento das moléculas vai provocar uma série de compressões e rarefações do meio material em que se encontram. Em zonas de compressão a pressão do ar é superior à pressão atmosférica, e nas zonas de rarefação a pressão do ar é inferior à pressão atmosférica.

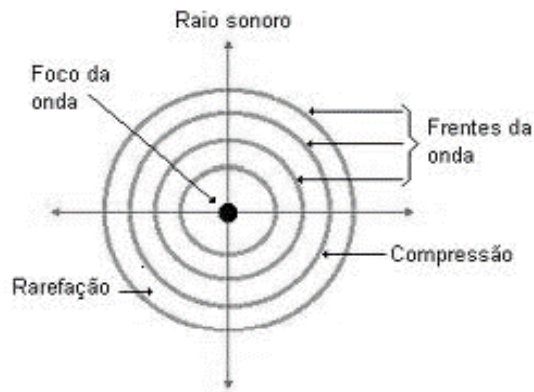


Figura 3.1 - Propagação do som [Fonte: Curso de Engenharia Ambiental da UNIVILLE]

A pressão sonora é dada por:

$$p(t) = P(t) - P_0 \quad (3.1)$$

Em que:

$p(t)$  – pressão sonora (Pa)

$P(t)$  – pressão total resultante num determinado ponto (Pa)

$P_0$  – pressão atmosférica ( $2 \times 10^5$  Pa)

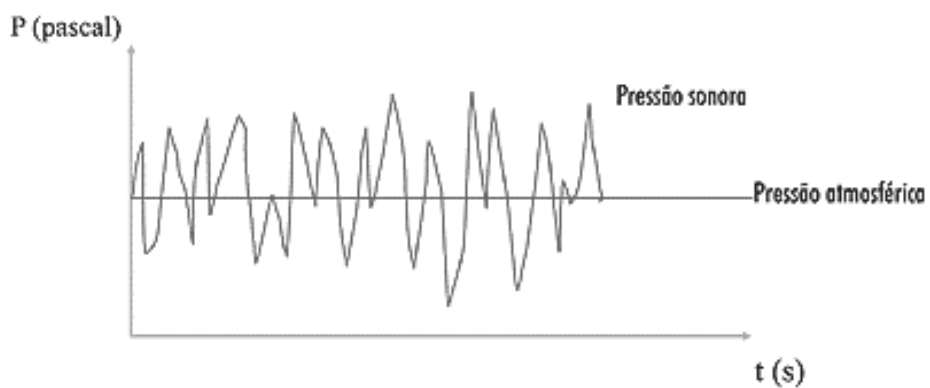


Figura 3.2 - Pressão sonora e pressão atmosférica [Fonte: Imperialum]

No entanto, a utilização de uma escala linear em Pa geraria escalas muito alongadas e, por outro lado, a reação do ouvido humano aos estímulos sonoros é semelhante a uma escala logarítmica, portanto adotou-se como unidade de pressão sonora o dB, dado pela seguinte expressão:

$$Lp = 10 \times \log_{10} \left( \frac{p^2}{p_0^2} \right) \text{ [dB]} \quad (3.2)$$

Para além da pressão sonora também se definem outras grandezas importantes para a análise da propagação sonora, tais como, o nível de intensidade sonora  $L_I$ , e o nível de potência sonora  $L_W$ .

O nível de intensidade sonora é definido como a média, no tempo, do fluxo de energia sonora numa superfície de área unitária, normal à direção de propagação quantificada em  $W/m^2$ , ou seja, permite avaliar a componente direcional do som, passando este a ser representado por uma grandeza vetorial e não escalar.

$$L_I = 10 \times \log_{10} \frac{I}{I_0} \text{ [dB]}, \text{ em que } I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2 \quad (3.3)$$

O nível de potência sonora é dado como a energia total que num segundo atravessa uma esfera fictícia de um raio qualquer centrada numa fonte, quantificada em  $W$ , ou seja, caracteriza o som emitido por uma fonte sonora e não o estímulo criado por essa fonte como é o caso da a pressão e da intensidade sonora.

$$L_W = 10 \times \log_{10} \frac{W}{W_0} \text{ [dB]}, \text{ em que } W_0 = 10^{-12} \text{ W} \quad (3.4)$$

A frequência, para além da pressão sonora, é outra característica que descreve um sinal sonoro, dado que praticamente todos os sons possuem diferentes frequências, sendo esta uma forma de diferenciar fontes sonoras. A frequência é medida em hertz (Hz) e representa a taxa de ocorrência das flutuações completas de pressão por segundo ou o número de ciclos completos por segundo.

O ouvido humano só se apercebe de variações de pressão sonora para frequências situadas entre os 20Hz e os 20kHz. Abaixo de 20Hz existem os infra-sons e acima de 20kHz os ultra-sons. Dentro da zona audível estão presentes as baixas frequências (graves) entre 20 a 400Hz, as médias frequências (médios) entre 400 a 1600Hz e as altas frequências (agudas) entre 1600Hz a 20000Hz.

A frequência é inversamente proporcional ao comprimento de onda, ou seja, os sons de baixa frequência têm grandes comprimentos de onda e os de alta frequência tem baixos comprimentos de onda, de acordo com a seguinte expressão:

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ [m]} \quad (3.5)$$

### CAPÍTULO 3

Em que:

$\lambda$  - comprimento de onda (m);

$c$  – velocidade de propagação do som no ar (m/s);

$f$  – frequência (Hz).

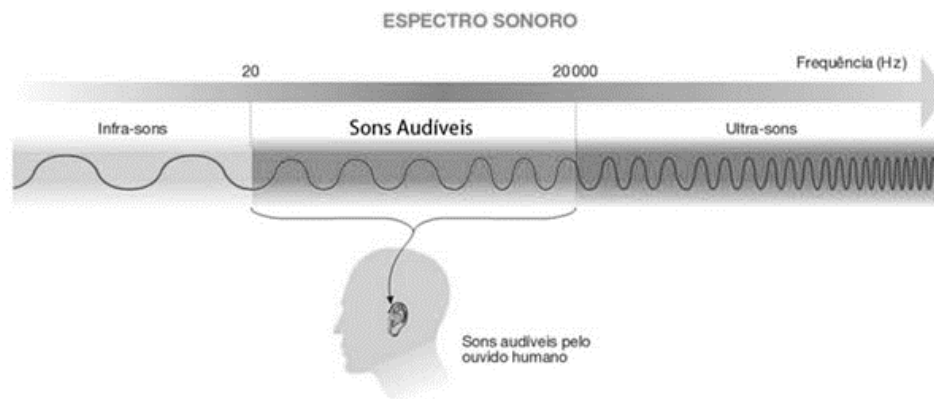


Figura 3.3 - Espectro sonoro, no domínio da frequência [Fonte: FQ8 – Sustentabilidade na Terra – Edições ASA]

Desta forma, podemos distinguir os sons como puros ou complexos. Um som puro está associado a uma componente única em termos de frequência, enquanto que um som complexo resulta da sobreposição de dois ou mais sons puros.



Figura 3.4 - Exemplo de som puro à esquerda e som complexo à direita.

Dada a enorme quantidade de frequências existentes, para tornar mais exequíveis as medições e análises de níveis sonoros, é normal efetuar o tratamento da informação por bandas de frequências de largura normalizada. Na acústica de edifícios são usadas unicamente as bandas de uma oitava entre os 125 Hz e os 2kHz, e de um terço de oitava entre os 100 e os 3150 Hz.

O ouvido humano transforma as pressões sonoras em pressões auditivas, mas dada a sua limitada sensibilidade, não se apercebe de todas as frequências da mesma forma, ou seja, sons com o mesmo nível de intensidade e frequências diferentes não são percebidos como se tivessem a mesma intensidade. Desta forma, surgiram as curvas isofônicas, isto é, curvas de igual percepção subjetiva da intensidade sonora, e numericamente escalonadas com uma unidade denominada de fone.

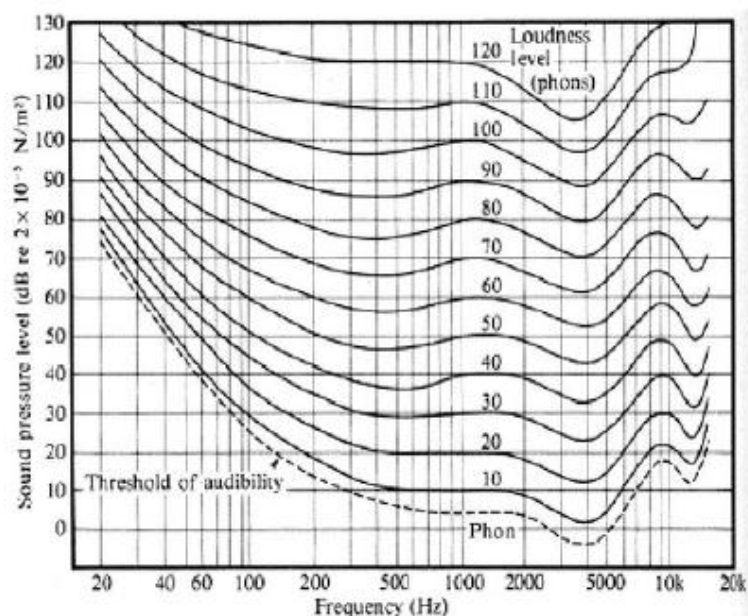


Figura 3.5 – Curvas de igual sensibilidade auditiva [Almeida, 2007].

Pelo gráfico verifica-se que a sensibilidade auditiva é maior na gama de frequências dos 4000Hz, diminuindo nas altas e nas baixas frequências. Dado que o ouvido humano tem respostas diferentes e não lineares consoante as frequências, foi necessário corrigir a sensibilidade dos equipamentos. Desta forma, foram introduzidos nos sonómetros filtros de ponderação com o objetivo de correlacionar os valores medidos com a resposta do ouvido. Estes filtros atenuam o sinal sonoro de acordo com curvas de ponderação definidas (A, B, C ou D). A curva A é a mais utilizada, pois é a que melhor correlaciona os valores medidos com a incomodidade ou risco de trauma auditivo do sinal sonoro.

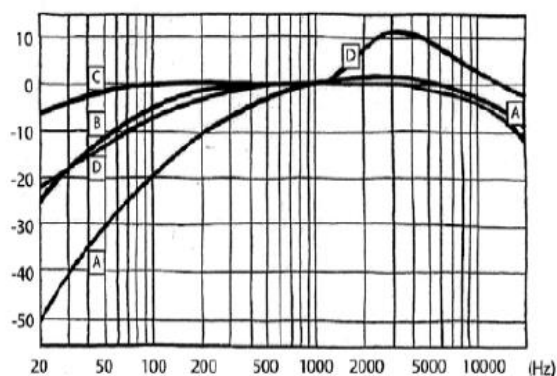


Figura 3.6 - Descrição das curvas de ponderação (filtros) A, B, C e D [Almeida, 2007].

Os níveis sonoros são habitualmente especificados em dB em virtude de a escala logarítmica ser a que melhor se adapta ao comportamento do ouvido humano, e ao contrário do que se possa pensar duas fontes de ruído de 50 dB produzem um total de 53 dB, ou seja, uma duplicação do ruído implica um aumento de 3 dB do nível sonoro. Para aumentar o nível sonoro em 10 dB é necessário multiplicar por 10 as fontes sonoras.

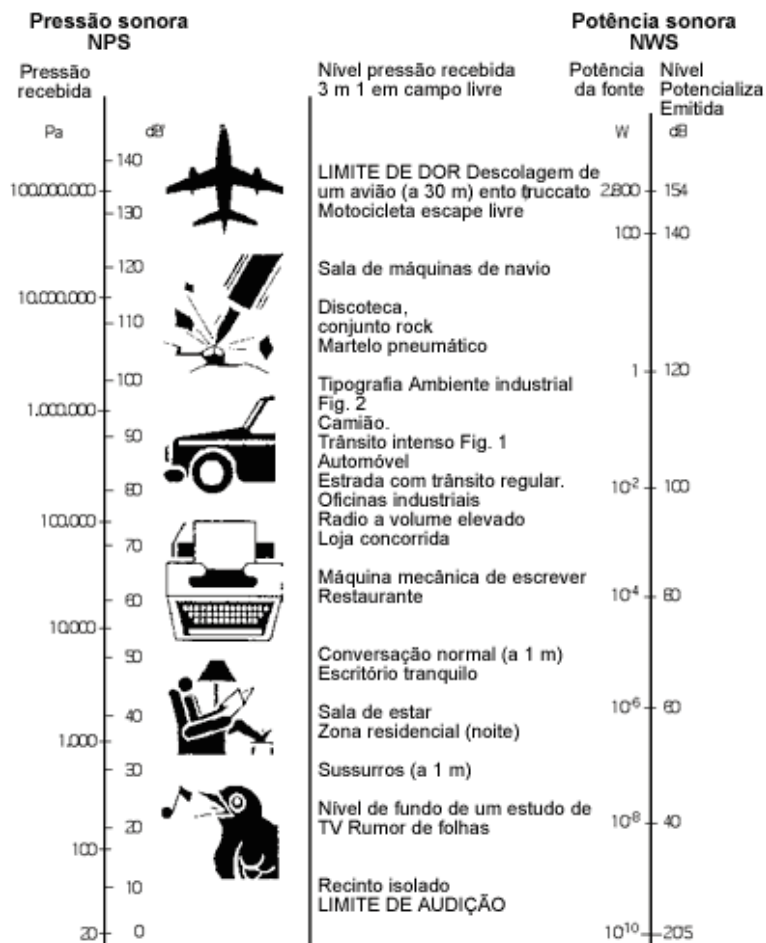


Figura 3.7 - Níveis sonoros de vários sons [Fonte: S&P]

A velocidade de propagação do som representa a velocidade com que se propagam as ondas sonoras, e depende das características do meio de propagação. Ao contrário do que se possa pensar, o ar não é o meio mais eficaz para o som se propagar, ou seja, em meios sólidos e líquidos a velocidade de propagação é maior do que no ar ( $V_{p_{ar}}=340m/s$ ;  $V_{p_{água}}=1460m/s$ ;  $V_{p_{cimento}}=4000m/s$ ;  $V_{p_{aço}}=5050m/s$ ;  $V_{p_{vidro}}=5000$  a  $6000m/s$ ).

### 3.2 ISOLAMENTO SONORO

É cada vez mais notório o aumento dos níveis de ruído, especialmente nos grandes centros urbanos, o que leva a que a poluição sonora e a proteção acústica dos edifícios se tornem problemas por vezes de difícil resolução. De uma forma genérica, a minimização dos efeitos negativos do ruído pode ser conseguida através da redução dos níveis de ruído emitidos, do tratamento nos meios de transmissão e/ou, em casos extremos sobretudo na área do ruído ocupacional (locais de trabalho) da proteção direta dos recetores através do isolamento sonoro.

O isolamento sonoro ou acústico é a capacidade que diversos materiais apresentam em impedir a propagação de som através de si, formando uma espécie de “barreira”. Normalmente os materiais densos, ou seja, com maior massa, são os mais utilizados, tais como: betão, aço, vidro, etc. A melhor forma de isolar algo, não é a aplicação de uma barreira, mas sim de várias, de forma a obrigar o som a contornar um conjunto de obstáculos fazendo com que se dissipe até chegar ao outro espaço. É importante referir que melhorando o isolamento sonoro em 1dB é ligeiramente perceptível, 3dB é perceptível, 5dB representa uma melhoria considerável e um aumento de 10dB reduz o som para metade.

Em acústica de edifícios os ruídos enquadram-se em dois grupos consoante a localização da fonte sonora: ruídos exteriores - resultantes maioritariamente do tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo - e ruídos interiores resultantes da utilização do próprio edifício.

Quando se fala em isolamento sonoro, pode-se considerar 2 categorias: isolamento sonoro a sons aéreos (sons transmitidos fundamentalmente através da vibração do ar) e isolamento sonoro a sons de percussão (som resultante através de uma ação de choque exercida por exemplo num elemento construtivo). Os sons de percussão têm uma maior capacidade de se propagar por todo o edifício do que os sons aéreos.

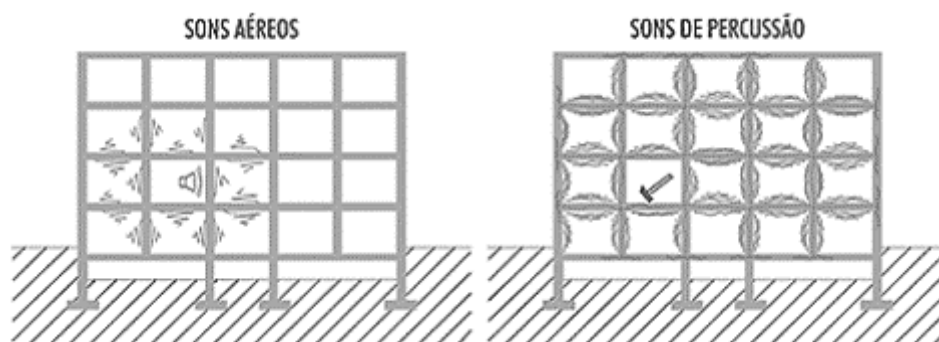


Figura 3.8 - Sons aéreos e sons de percussão [Fonte: Imperialum]

### 3.2.1 Parâmetros

Existem diversos parâmetros para a caracterização do isolamento a sons aéreos e de percussão. Estes valores podem ser obtidos a partir de métodos de medição “in situ” ou através de modelos de estimativa.

A estimativa dos valores dos índices de isolamento sonoro  $D_{2m,nT,w}$  e  $D_{nT,w}$  é feita em função do índice de redução sonora  $R_w$ .

O valor da redução sonora por frequência é dado por:

$$R(f) = L_{1(f)} - L_{2(f)} + 10 \log\left(\frac{A_{2(f)}}{S}\right) \quad (3.6)$$

Em que,

$L_{1(f)}$  – Nível sonoro do compartimento emissor (dB);

$L_{2(f)}$  - Nível sonoro do compartimento recetor (dB);

$A_{2(f)}$  – Superfície de absorção equivalente do compartimento recetor ( $m^2$ );

$S$  – Área do elemento entre os dois compartimentos ( $m^2$ ).

A determinação do valor de redução sonora,  $R$ , é feita por ensaios em bandas de frequência, que variam entre os 100 e os 3150Hz, dos quais resultam 16 resultados através da expressão anterior. A partir do espectro obtido de um dado elemento construtivo, é possível obter um valor único – índice – denominado por  $R_w$  (índice de redução sonora), expresso em dB, através de um ajuste numa curva normalizada estipulada na norma NP EN ISO 717-1.

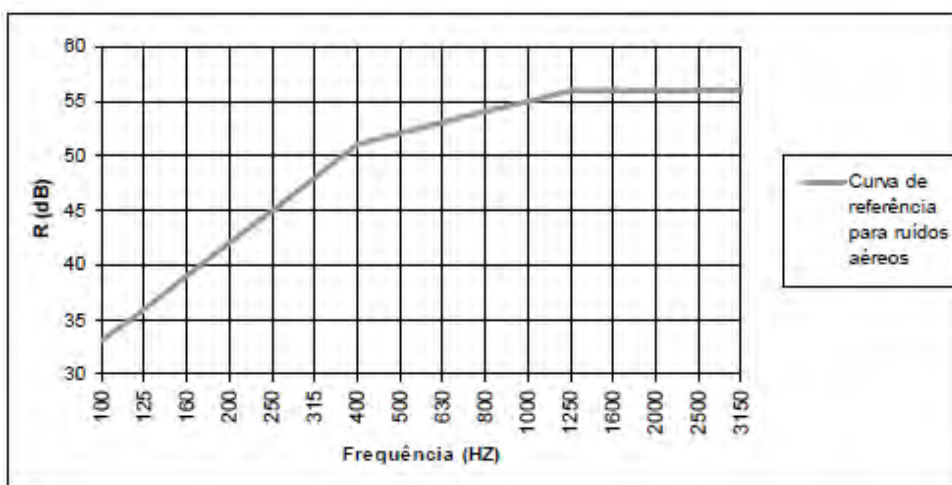


Figura 3.9 - Curva de referência da norma NP EN ISO 717-1.

Resumidamente:

$$R \iff R_w$$

No caso de ensaios “in situ” :

$$R' \iff R'_w$$

O valor de  $R'_w$  é semelhante a  $R_w$ , no entanto, este contabiliza as transmissões que ocorrem por via marginal. Desta forma, temos:

$$R'_w = R_w - TM \quad (3.7)$$

Após estimado o índice de redução sonora,  $R_w$ , é possível determinar os índices de isolamento sonoro a sons aéreos e de percussão.

O parâmetro  $D_{2m,nT}$ , corresponde ao isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, entre o exterior e o interior, enquanto que o  $D_{2m,nT,w}$  corresponde à tradução do valor do isolamento num valor único, ou índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, entre o exterior e o interior.

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m(f)} - L_{2(f)} + 10 \log \left( \frac{T(f)}{T_0} \right) \iff D_{2m,nT,w} = R_w + 10 \log \left( \frac{0,16*V}{T_0*S} \right) \quad (3.8)$$

Em que,  $L_{1,2m(f)}$  é a diferença entre o nível médio de pressão sonora exterior, medido a 2 m da fachada do edifício,  $L_{2(f)}$  o nível médio de pressão sonora medido no local de receção,  $T(f)$  o tempo de reverberação do compartimento recetor em segundos e  $T_0$  o tempo de reverberação de referência (por norma, 0.5 s).

O parâmetro  $D_{nT}$ , corresponde ao isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, entre elementos de compartimentação interior, enquanto que o  $D_{nT,w}$  corresponde à tradução do valor do isolamento num valor único, ou índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, entre elementos de compartimentação interior.

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \left( \frac{T}{T_0} \right) \iff D_{nT,w} = R_w + 10 \log \left( \frac{0,16*V}{T_0*S} \right) - TM \quad (3.9)$$

Sendo que,  $L_1$  é a diferença do nível médio de pressão sonora medida no compartimento emissor, e  $L_2$  o nível médio de pressão sonora medida no compartimento recetor.

Por último, o parâmetro  $L'_{nT}$  corresponde ao isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado, num determinado compartimento interior, geralmente um pavimento, enquanto que o  $L'_{nT,w}$  corresponde à tradução do valor do isolamento num valor único, ou índice de isolamento sonoro a sons de percussão.

$$L'_{nT} = L_1 - 10 \log \left( \frac{T}{T_0} \right) \iff L'_{nT,w} = L'_{n,w} - 10 \log \left( \frac{0,16*V}{T_0*S} \right) \quad (3.10)$$

### 3.2.2 Isolamento Sonoro a Sons Aéreos

Os sons aéreos resultam da excitação direta do ar por uma fonte sonora (equipamentos, tráfego rodoviário, conversação, ...). Podem ser de origem exterior, tendo como emissor fontes de ruído urbano como trânsito automóvel, ferroviário e aéreo; e de origem interior como sistemas de ventilação, equipamentos mecânicos coletivos, conversas, televisão, utensílios domésticos e vizinhança.

Como tal, no projeto de condicionamento acústico os sons de proveniência exterior irão determinar o tipo de isolamento sonoro da envolvente dos edifícios ( $D_{2m,n,w}$  – isolamento a sons aéreos da fachada do edifício quando, num processo de medição, o microfone é colocado à distância de 2m da sua superfície), enquanto que os sons provenientes do interior irão determinar o tipo de isolamento sonoro da compartimentação interior ( $D_{n,w}$ ).

As ondas sonoras que incidem sobre os elementos de construção (paredes e pavimentos) submetem estes a forças normais cuja amplitude e sentido podem variar em dado momento, de um ponto para outro. Sob o efeito dessas forças, aqueles elementos adquirem movimentos vibratórios que se transmitem ao ar que circunda o local, bem como aos elementos adjacentes. Num local separado da fonte sonora por uma parede ou pavimento, o ruído sentido será a resultante do movimento do elemento de separação e dos demais elementos do local ligados com aquele.

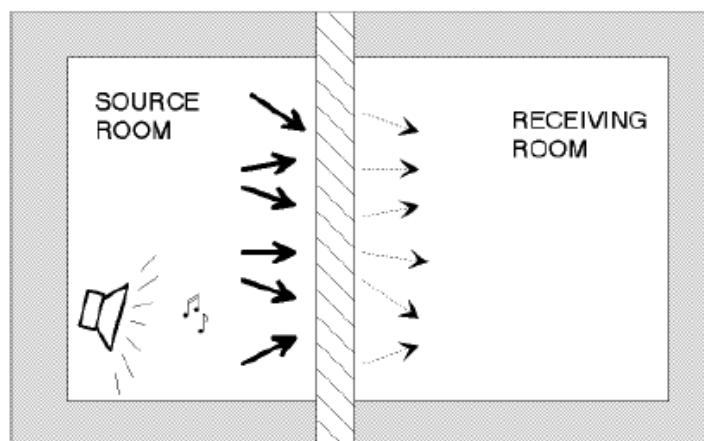


Figura 3.10 - Funcionamento do isolamento sonoro a sons de condução aérea.

Este processo de transmissão entre dois locais pode ser feito de duas formas:

- Transmissão direta, que ocorre diretamente através do elemento de separação;
- Transmissão marginal (indireta), que se verifica por contornamento através de elementos interligados ao elemento de separação.

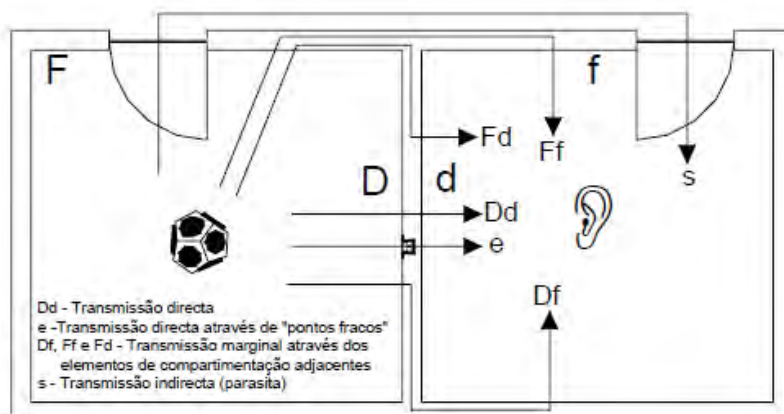


Figura 3.11 - Caminhos de transmissão possíveis entre 2 salas adjacentes [Mateus, Diogo, 2008].

O isolamento sonoro de um dado elemento construtivo é função da:

- Natureza e massa superficial de cada pano;
- Espessura da caixa de ar entre panos;
- Natureza, espessura e massa volúmica do material que preenche a caixa de ar;
- Estrutura de ligação dos vários panos entre si e à estrutura do edifício.

**3.2.2.1 Métodos de estimativa - Rw**

Existem vários métodos para estudar o comportamento das soluções construtivas em projeto, denominados por métodos de estimativa, como por exemplo, a lei da massa teórica, o modelo de Sharp e o modelo de Meisser.

O comportamento acústico de um determinado elemento construtivo estimulado por ruídos de condução aérea, depende de vários parâmetros, nomeadamente da massa do elemento, frequência do som incidente, frequência crítica, frequências próprias, fator interno de amortecimento, ângulo de incidência, permeabilidade, rigidez, entre outros.

Através do estudo destes modelos de cálculo é possível determinar o índice de redução sonora,  $R_w$ , e desta forma, estimar os índices de isolamento sonoro  $D_{2m,nT,w}$  e  $D_{nT,w}$ .

I. Lei da massa teórica

A transmissão sonora funciona como um sistema sujeito a estímulos oscilatórios que dependem de uma gama de frequências. Por isso, pode-se dividir o comportamento de uma parede em cinco zonas distintas, nas quais é possível ver o comportamento típico do valor de R, de acordo com a frequência de um qualquer elemento simples.

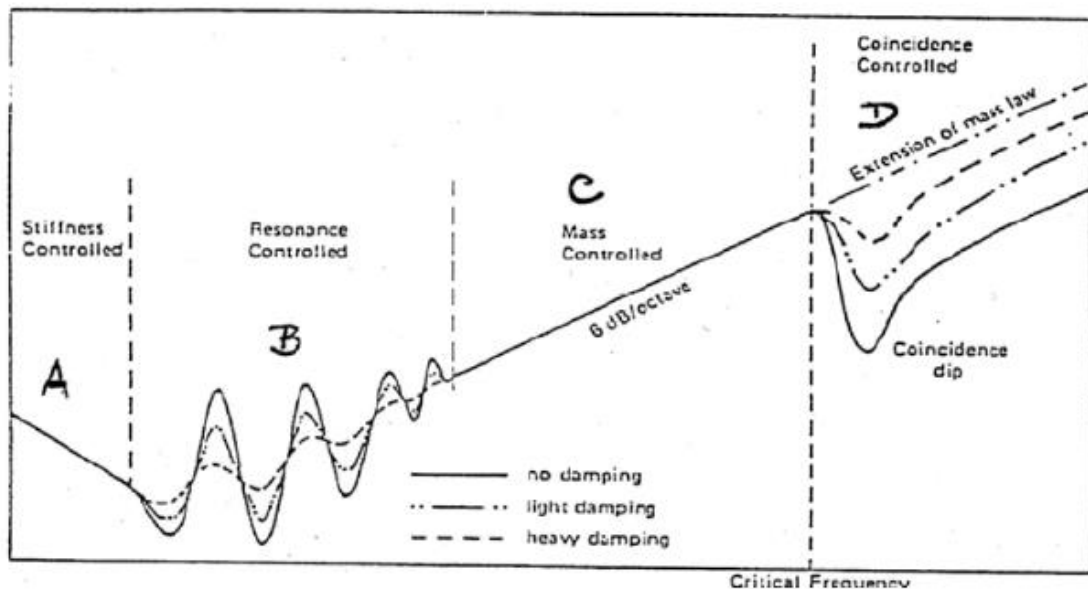


Figura 3.12 - Comportamento dos valores de R de acordo com a frequência em elementos simples [Apontamentos física das construções – ISEP]

- A zona A depende da rigidez do elemento, e neste caso o valor de R diminui com o aumento da frequência. Como esta zona está fora da gama de frequências audíveis, nunca é alvo de análise.
- A zona B corresponde à frequência de ressonância, ou seja, há influência da elasticidade e a parede vibra como uma placa de dimensões finitas. Situa-se numa zona de muito baixas frequências, a maior parte das vezes fora da zona audível.
- A zona C segue a lei da massa teórica, pelo que a redução sonora depende da massa superficial do elemento ( $m$ ) e da frequência do estímulo sonoro ( $f$ ). É esta zona do gráfico que é estudada a maior parte das vezes. A lei da massa para uma incidência da onda sonora de  $\theta$  graus é:

$$R_{\theta} = 20 \log \left( \frac{\pi * m * f * \cos\theta}{\rho_0 * c} \right) = 20 \log(m * f) + 20 \log \left( \frac{\pi * \cos\theta}{\rho_0 * c} \right) \text{ (dB)} \quad (3.11)$$

Em que,

$\rho_0$  – massa volúmica do ar ( $\pm 1,2 \text{ kg/m}^3$ );

$c$  – Celeridade (velocidade de propagação do som no meio em m/s).

No caso de um campo difuso (para todos os ângulos  $\theta$ ), calcula-se pela lei da massa para campos difusos:

$$R = 20 \log(m * f) - 47 \text{ (dB)} \quad (3.12)$$

Nesta curva o isolamento sonoro cresce 6dB por oitava nas frequências imediatamente inferiores à frequência crítica.

- A zona D corresponde à existência de uma frequência crítica,  $f_c$ , ou seja, a coincidência entre o estímulo sonoro externo e a vibração da própria parede. Neste ponto, quase não há atenuação e o isolamento sonoro é muito reduzido. A  $f_c$  depende da elasticidade da parede, da massa, espessura e velocidade de som no ar.
- A zona E depende do efeito de coincidência, e ocorre para frequências superiores à frequência crítica. Neste caso, pode-se observar pelo gráfico que o isolamento sonoro passa a crescer 9dB por oitava e 9dB por duplicação da massa.

O estudo deste gráfico é importante para que o objetivo em projeto, seja o de colocar a frequência crítica na zona das muito baixas frequências, de forma a não prejudicar o isolamento na maioria das frequências. Quanto mais elevada for a massa superficial da parede, mais baixa será a frequência crítica.

A melhor forma de aumentar o isolamento de uma parede sem ter de aumentar a sua massa para níveis exagerados, é a duplicação do paramento, com ou sem material de isolamento no seu interior. No entanto, admite-se que irá existir uma união elástica entre os panos, que habitualmente é o ar, podendo desta forma ser assimilado como um sistema massa-ar-massa, com uma frequência de ressonância  $f_0$ , dada pela seguinte expressão:

$$f_0 = 84 \sqrt{\frac{1}{d} \left( \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} \quad (3.13)$$

Em que,  $m_1$  e  $m_2$  correspondem às massas superficiais dos elementos constituintes da parede e  $d$  à espessura da caixa da ar.

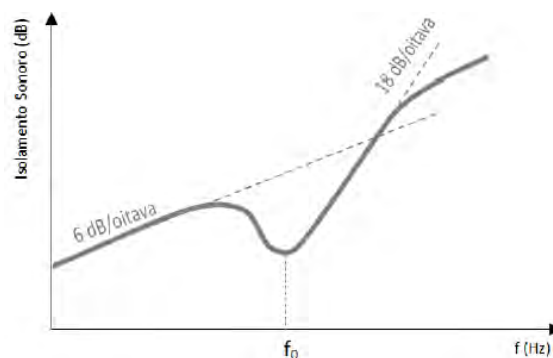


Figura 3.13 - Comportamento do isolamento sonoro a sons aéreos em elementos duplos [Dissertação Feup, Queirós, Mafalda].

A grande vantagem das paredes duplas é o facto de a curva a partir da frequência de ressonância crescer a um ritmo mais rápido de 18dB por oitava. Em projeto é importante ter o cuidado de manter o  $f_0$  a uma frequência o mais baixa possível.

Em qualquer elemento construtivo composto por panos duplos é importante usar espessuras diferentes, ou diferentes materiais, de forma a que as frequências de coincidência não se sobreponham.

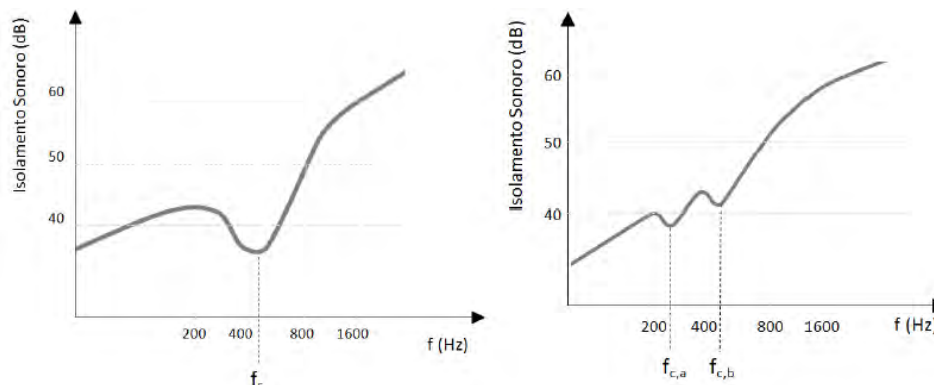


Figura 3.14 - Comportamento do isolamento sonoro a sons aéreos em elementos duplos com frequências de coincidência iguais (esq.) e diferentes (dir.) [Dissertação Feup, Queirós, Mafalda].

Um dos métodos mais simples para estimar o índice de redução sonora,  $R_w$ , de um dado elemento de compartimentação, é o método da massa total, corresponde à zona C do gráfico para elementos simples, que consiste no somatório da multiplicação da massa volúmica da cada elemento pela sua espessura, admitindo que ela é homogénea na sua constituição. Uma vez encontrada a massa superficial do elemento, recorre-se ao ábaco da lei das massas para determinar o índice de redução sonora. A faixa de valores indicados no gráfico pretende representar a dispersão normal de comportamento para diferentes divisórias com a mesma massa por unidade de superfície. O índice de redução sonora aumenta de forma linear com um acréscimo de 6 dB por cada duplicação da massa superficial.

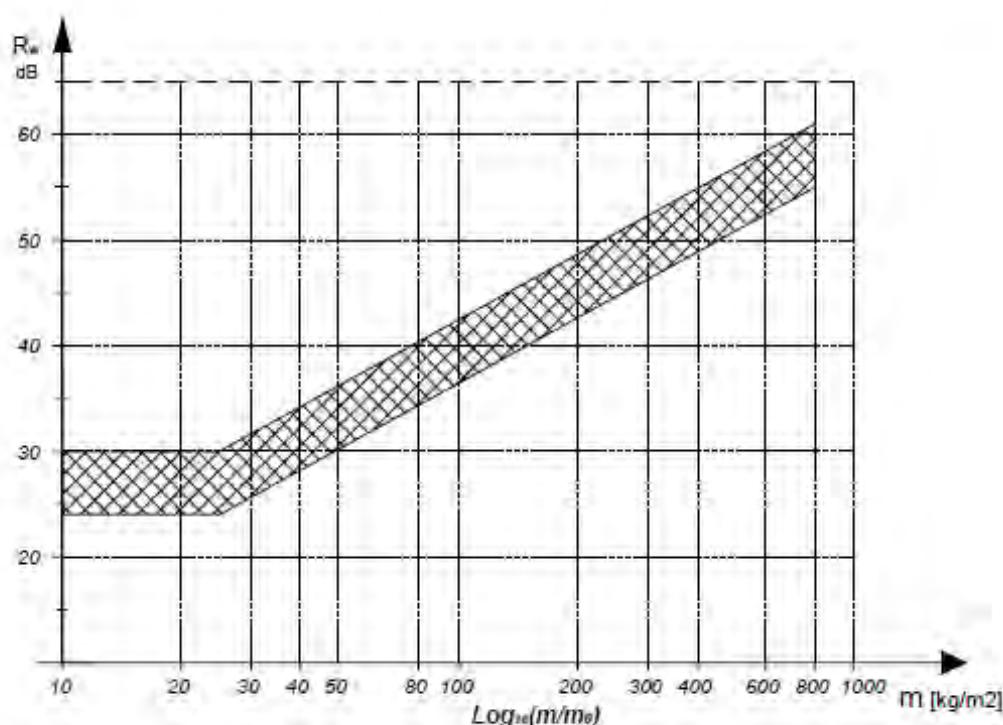


Figura 3.15 - Ábaco para estimar o índice de redução sonora de elementos de compartimentação homogéneos, simples, em função da sua massa superficial [Fonte: Oliveira de Carvalho, A.P.,2011]

Podem também ser usadas as seguintes expressões ao invés do gráfico:

$$R_w = 21,7 \log(m) - 2,3 \pm 1 \text{ dB} \Rightarrow m \geq 50 \text{ kg/m}^2 \quad (3.14)$$

$$R_w = 32,4 \log(m) - 26 \text{ dB} \Rightarrow m \geq 100 \text{ kg/m}^2 \quad (3.15)$$

$$R_w = 40 \log(m) - 45 \text{ dB} \Rightarrow m > 150 \text{ kg/m}^2 \quad (3.16)$$

Em que,  $m$ , é igual à massa superficial da compartimentação.

No entanto, esta solução só tem eficácia, ou seja, só fornece resultados razoáveis em elementos “pesados”, como o betão e a alvenaria de tijolo. Contudo, este modelo só é válido desprezando a rigidez do elemento e os fenómenos de amortecimento, que são considerados noutros métodos de previsão.

Porém, para aumentar significativamente o isolamento do elemento de separação sem aumentar a sua massa, deve-se dividir um elemento em duas ou mais camadas, e de preferência com espessuras diferentes, complementados com isolamento acústico no interior.

Para o cálculo de elementos duplos pode-se recorrer ao ábaco da figura seguinte, que determina o acréscimo de isolamento sonoro, devido ao acrescento de um novo pano de parede, a forrar o paramento base inicial. Neste ábaco, a partir do conhecimento da massa superficial do pano adicional, estima-se o acréscimo de isolamento de acordo com o valor obtido para o sistema simples. Este ábaco só tem utilidade para sistemas mássicos, à semelhança do ábaco da lei das massas da figura anterior.

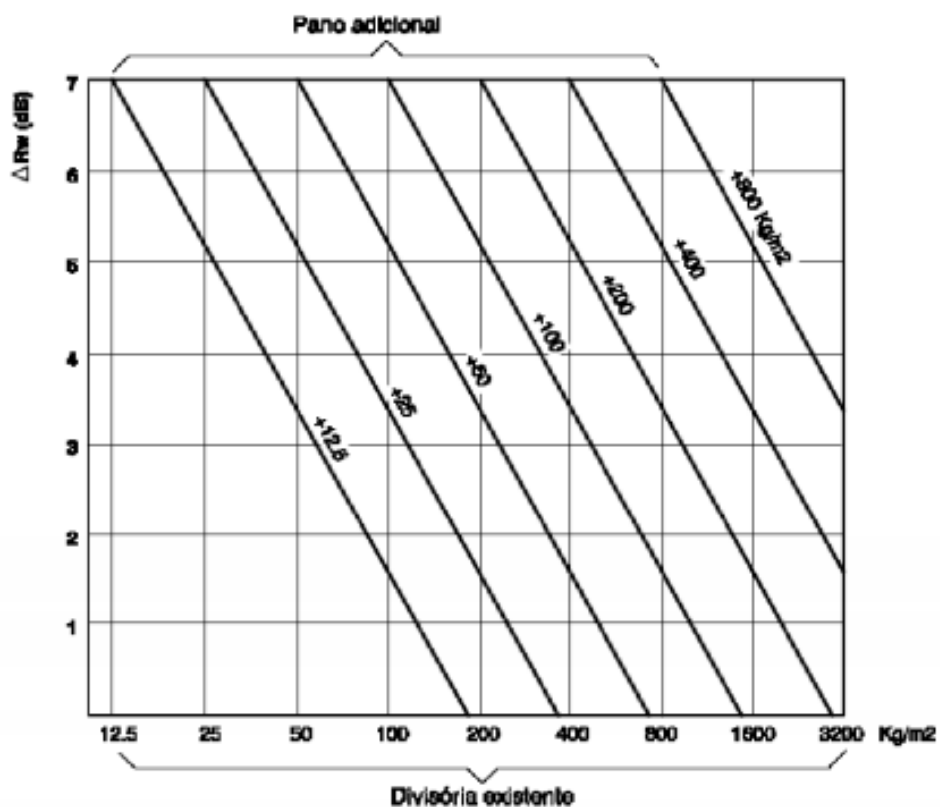


Figura 3.16 - Ábaco para determinar o acréscimo de isolamento sonoro por acrescento de um novo pano divisório.

Dado que os ábacos anteriores se destinam a elementos com massa elevada, apresenta-se na figura seguinte um ábaco prático para determinar o índice de isolamento sonoro de envidraçados simples, em função da sua massa superficial.

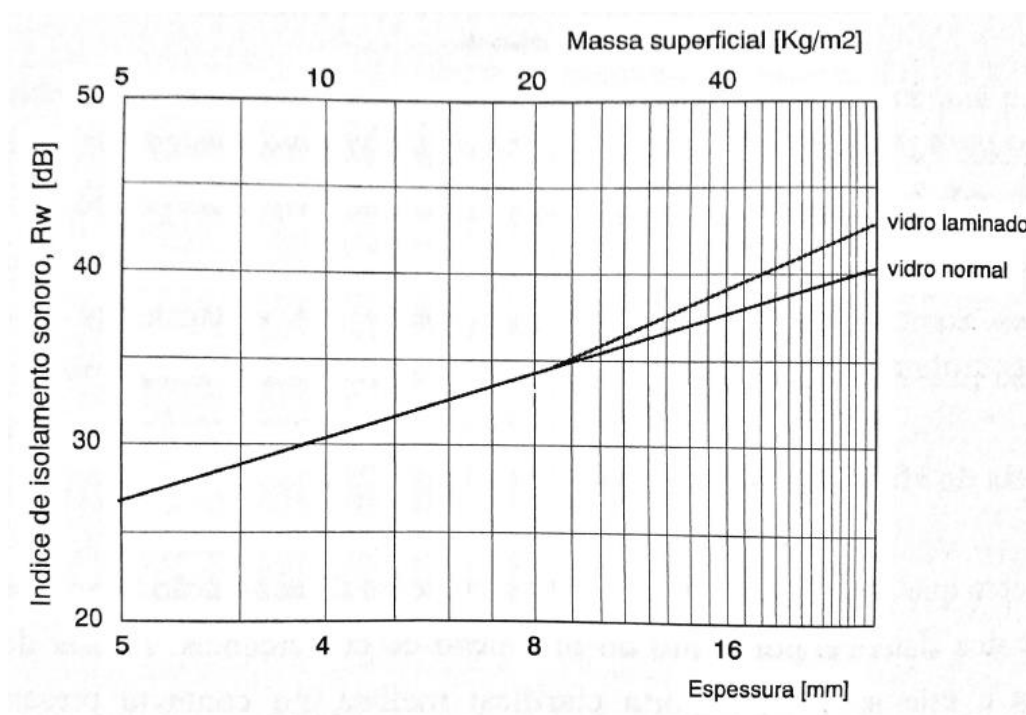


Figura 3.17 - Ábaco para determinar o acréscimo de isolamento sonoro de envidraçados em função da sua massa superficial.

II. Modelo de Sharp

O modelo de Sharp determina o índice de redução sonora em paredes simples, através de um método gráfico que considera para além da massa e da frequência, o fator de perdas e a frequência crítica do elemento.

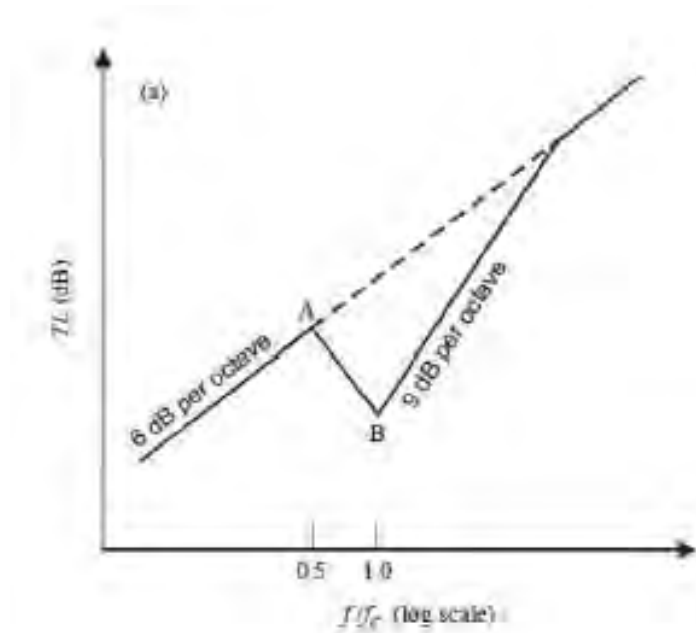


Figura 3.18 - Traçado da curva para determinação dos valores de R, com base no modelo de Sharp.

Através da marcação dos pontos A e B, é possível marcar os segmentos de reta com os declives de 6 e 9 dB por oitava.

Os pontos A e B são obtidos a partir das seguintes expressões:

$$R_A = 20 \log(fc \cdot m) - 54 \text{ (dB)} \quad (3.17)$$

$$R_B = 20 \log(fc \cdot m) + 10 \log n - 45 \text{ (dB)} \quad (3.18)$$

Em que,

n – fator de perdas internas

m – massa superficial ( $\text{kg/m}^2$ )

$f_c$  – frequência crítica (Hz)

A frequência crítica de uma forma simplificada pode ser determinada da seguinte forma:

$$f_c = \frac{c^2}{1,8 * C_L * h} \text{ (Hz)} \quad (3.19)$$

Em que,

C – celeridade (m/s)

$C_L$  – velocidade de propagação das ondas longitudinais (m/s)

h – espessura do elemento em metros

Estes valores para diversos materiais podem ser obtidos consultando a seguinte tabela:

| Material                       | Massa Volúmica (Kg/m <sup>3</sup> ) | Frequência Crítica por cm* (Hz) | Fator de perdas Internas (n) | Coefficiente de Poisson ( $\gamma$ ) | $C_L$ (m/s) |
|--------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------|
| Betão                          | 2400                                | 1800                            | 0.01                         | 0.15                                 | 3500        |
| Painéis de gesso cartonado     | 800                                 | 3800                            | 0.02                         | 0.27                                 | 1600        |
| Vidro                          | 2500                                | 1200                            | 0.005                        | 0.22                                 | 5200        |
| Aço                            | 7800                                | 1250                            | 0.005                        | 0.35                                 | 5150        |
| Paredes de alvenaria de tijolo | 1200                                | 2700                            | 0.01                         | 0.20                                 | 2500        |

\*para espessuras diferentes de 1cm:  $f_c(x \text{ cm}) = f_c(1 \text{ cm}) / x$

Tabela 3.1 - Quadro síntese com as propriedades de alguns materiais.

III. Modelo de Meisser

Outro método para a obtenção do índice de redução sonora para paredes duplas é baseado no modelo de Meisser, 1973. Neste método é possível introduzir fatores, tais como, dimensão da caixa de ar, ligações entre panos e material absorvente.

Segundo este modelo, determina-se a redução sonora para a frequência de 500 Hz, através da seguinte expressão:

$$R_{500Hz} = 13,3 \log (m1 + m2) + 13,4 + k \text{ (dB)} \tag{3.20}$$

Em que,

m – massa dos elementos construtivos (Kg/m<sup>2</sup>)

K – varia com a espessura da caixa de ar e o material absorvente

| Características da caixa de ar         |          |
|--|----------|
| ≤ 1cm                                  | 2 dB     |
| ≥ 2cm e ≤ 4cm                          | 3 a 4 dB |
| ≥ 4cm                                  | 5 dB     |
| Características do material absorvente |          |
| ≤ 1cm                                  | 1 dB     |
| ≥ 2cm e ≤ 4cm                          | 2 dB     |
| ≥ 4cm                                  | 3 a 4 dB |

Tabela 3.2 - Valor de K, consoante a caixa de ar e o material absorvente [Fonte: Oliveira de Carvalho, A.P.,2011] ou dissertação ano anterior confirmar

A partir da ordenada calculada para a frequência dos 500 Hz, traça-se um segmento de reta com um declive de 6 dB por oitava, mantendo uma escala logarítmica para o eixo das abcissas e uma escala linear para o eixo das ordenadas.

De seguida, no eixo das abcissas marcam-se os pontos notáveis da curva de isolamento, nomeadamente:

- Frequência de ressonância do conjunto massa-ar-massa ( $f_0$ ) de acordo com a seguinte expressão:

$$f_0 = 84 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{d * m_1 * m_2}} \text{ (Hz)} \quad (3.21)$$

No qual  $m_1$  e  $m_2$  correspondem à massa dos elementos, e  $d$  à espessura da caixa de ar.

- Frequências críticas de cada um dos painéis ( $f_{c1}$  e  $f_{c2}$ )
- Ressonância inicial da caixa de ar ( $f_{n1}$ )

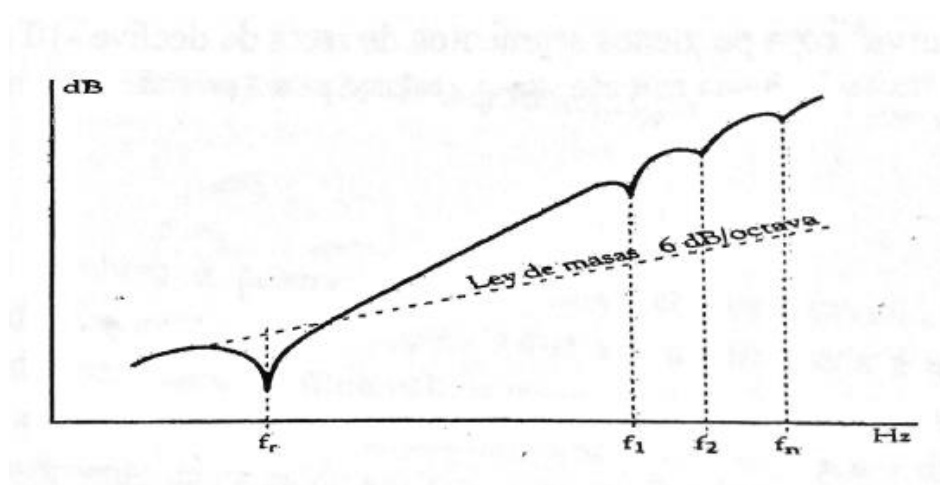


Figura 3.19 - Comportamento teórico de um elemento construtivo duplo [Fonte: Oliveira de Carvalho, A.P.,2004]

**3.2.2.2 Métodos de previsão –  $D_{nT,w}$  e  $D_{2m,T,w}$**

Em diversas situações construtivas as paredes não são homogêneas, apresentando mais do que uma solução construtiva, como por exemplo, portas e janelas. Desta forma, para estimar o isolamento sonoro a sons aéreos é necessário calcular o índice de redução sonora do conjunto,  $R_{w\text{conjunto}}$ , através das seguintes expressões:

$$\tau_{conjunto} = \frac{10^{\frac{-Rw}{10}} \times S1 + 10^{\frac{-Rw}{10}} \times S2}{S1 + S2} \tag{3.22}$$

$$R_{wconjunto} = 10 \times \log \left( \frac{1}{\tau_{conjunto}} \right) \tag{3.23}$$

Em que,

$\tau_{conjunto}$  – coeficiente de transmissão sonora do conjunto;

$R_{w\text{conjunto}}$  – índice de redução sonora do conjunto (dB);

$S_i$  – área do elemento construtivo ( $m^2$ ).

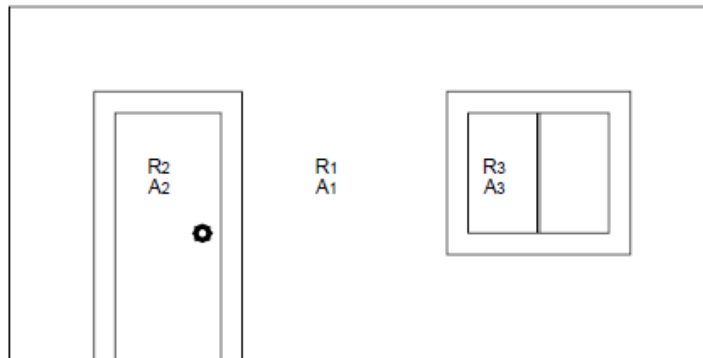


Figura 3.20 - Exemplo de um elemento de separação heterogêneo [Mateus, Diogo, 2008].

De seguida, é importante considerar em projeto a influência das transmissões marginais, TM, no caso de se tratarem elementos de compartimentação interiores. Entende-se por transmissões marginais as vibrações que resultam das ligações rígidas entre os elementos de construção, sendo que uma boa forma de contrariar a sua propagação passa por desligar os elementos construtivos e separá-los por elementos resilientes.

A transmissão marginal tem sido considerada de uma forma um pouco marginalizada, dado que um dos métodos mais utilizados, passa por estabelecer uma relação entre o isolamento sonoro do elemento de separação principal e os elementos de compartimentação adjacentes, estabelecendo-se desta forma, classes de transmissão marginal e de correção dos valores obtidos, através de ensaios laboratoriais e modelos de cálculo.

Segundo o ITE 8 do LNEC, as categorias são as seguintes:

- Para valores de isolamento sonoro a sons aéreos com  $R_w \leq 35\text{dB}$ , as transmissões marginais são consideradas desprezáveis, ou seja,  $R_w = R'w$ ;
- Para valores de isolamento sonoro entre  $35\text{dB} \leq R_w \leq 45\text{dB}$ , deve ser considerada uma redução de 3dB, ou seja,  $R'w = R_w - 3\text{dB}$ ;
- Para  $R_w \geq 45\text{dB}$ , a contribuição da transmissão marginal pode ser muito difícil de prever.

Outro método mais preciso do que o anterior, que se encontra representado na figura seguinte, considera as espessuras dos elementos de compartimentação homogêneos e do mesmo tipo, concorrentes num ponto.

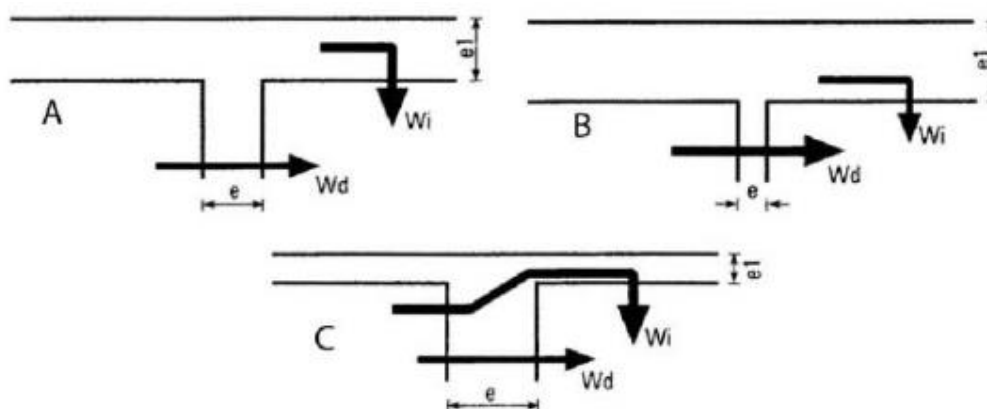


Figura 3.21 - Exemplos da influência da transmissão marginal em elementos homogêneos.

No caso A, a massa por unidade de superfície do elemento de separação é igual à do elemento adjacente, logo a transmissão direta é igual à transmissão por via indireta, implicando uma redução em média de 3dB no valor de  $R_w$  ( $R'w = R_w - 3\text{dB}$ );

### CAPÍTULO 3

No caso B, a massa superficial do elemento de separação é muito inferior à do elemento adjacente, logo a propagação da energia sonora ocorre fundamentalmente pelo elemento de separação, pelo que se despreza a contribuição da transmissão marginal ( $R'w = Rw$ );

No caso C, o mais crítico no que respeita a transmissões marginais, a massa superficial do elemento de separação é muito superior à do elemento adjacente, pelo que a energia sonora propaga-se quase na totalidade por esse elemento, diminuindo a eficácia do sistema de compartimentação principal. Nesta situação, a influência da transmissão marginal é bastante elevada.

Uma vez estimado o índice de redução sonora,  $Rw$ , em definitivo, pode-se determinar o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e elementos de compartimentação interior,  $D_{2m,nT,w}$ , através da seguinte expressão:

$$D_{2m,nT,w} = Rw + 10 \log \left( \frac{0,16 \times V}{T_0 \times S} \right) \text{ (dB)} \quad (3.24)$$

Em que,

$Rw$  – índice de redução sonora (dB);

$V$  – Volume do compartimento recetor ( $m^3$ );

$T_0$  – Tempo de reverberação de referência (por norma 0,5 s);

$S$  – Área do elemento separador ( $m^2$ ).

O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre elementos de compartimentação interior,  $D_{nT,w}$ , é calculado através da seguinte expressão:

$$D_{nT,w} = Rw + 10 \log \left( \frac{0,16 \times V}{T_0 \times S} \right) - TM \text{ (dB)} \quad (3.25)$$

### 3.2.2.3 Ensaios acústicos (sons aéreos)

Os ensaios de acústica de edifícios são necessários pois, de acordo com o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, Decreto-lei nº 98/2008, de 9 de junho, as exigências de comportamento acústico dos edifícios são de verificação “in situ”.

Estes ensaios podem ser relativos ao isolamento sonoro a sons aéreos de elementos de compartimentação interior (paredes ou pavimentos) e nesse caso teremos que determinar o parâmetro  $D_{nT}$ , ou podem ser realizados para elementos da envolvente exterior e então teremos que determinar o parâmetro  $D_{2m,nT}$ .

A metodologia utilizada para a realização destes ensaios está de acordo com a norma NP EN ISO 140-4 (isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos,  $D_{nT}$ ) e de acordo com a NP EN ISO 140-5 (isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e de elementos de fachada,  $D_{2m,nT}$ ).

A norma EN ISO 717-1 possibilita chegar a um único valor, designado por índice, a partir dos valores obtidos em cada frequência.

Neste documento apenas são explicados os procedimentos de ensaios para elementos interiores.

Segundo o regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios, o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado,  $D_{nT,w}$ , entre compartimentos de um fogo, e quartos ou zonas de estar de outro fogo, deverá ser:  $D_{nT,w} \geq 50$  dB.

Nas avaliações in situ, deve ser tido em conta um fator de incerteza,  $I$ , associado à determinação das grandezas em causa. O valor obtido para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado,  $D_{2m,nT,w}$  ou  $D_{nT,w}$ , acrescido do fator de incerteza  $I$  ( $I = 3$  dB) satisfaz o limite regulamentar.

Os equipamentos utilizados determinam os níveis de pressão sonora, ruídos de fundo e/ou tempos de reverberação, através de um microfone ligado a um sonómetro. O calibrador, tal como o nome indica, serve para calibrar o sonómetro, detetando a pressão atmosférica e corrigindo a amplitude do sinal de saída para que o nível sonoro emitido seja constante. O campo sonoro gerado deve-se à utilização de um altifalante com amplificador gerador de ruído. O software utilizado serve para fazer a transferência e visualização de dados do sonómetro no computador, para posterior tratamento de dados.

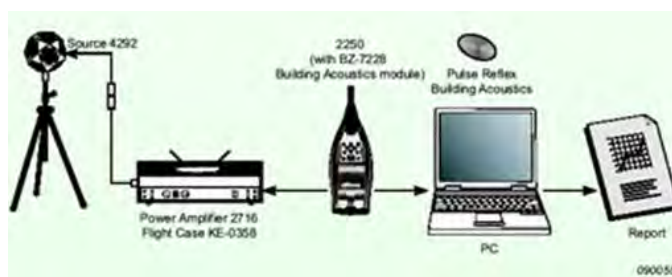


Figura 3.22 - Esquema de montagem dos equipamentos de ensaio.

Os ensaios consistem em criar um campo sonoro no compartimento emissor, de modo a poder medir o nível de pressão sonora no compartimento emissor e no compartimento recetor. As medições são efetuadas para bandas de um terço de oitava, situadas na gama de frequência entre os 100 e os 3150 Hz. O campo sonoro emitido deve ter um espectro contínuo e não apresentar diferenças superiores a 6dB entre bandas adjacentes.

A potência sonora produzida deve ser a suficiente, para que o nível de pressão sonora no compartimento recetor seja no mínimo superior a 10dB ao nível de ruído de fundo, para cada banda de frequências.

A distância mínima de separação entre os equipamentos, preconizada na norma, deve ser de 0,70m entre posições do microfone, 0,70m entre posições da fonte sonora, 0,50m entre o microfone e a envolvente, 0,50m entre a fonte sonora e a envolvente, e de 1m entre a posição do microfone e da fonte sonora.

Num ensaio acústico sendo utilizada uma única fonte sonora, deve-se ensaiar em 2 posições distintas. Sendo utilizado um único microfone, devem ser feitos ensaios em pelo menos 5 posições desse microfone. Neste exemplo, irão ser necessárias 10 medições, correspondentes a 5 medições para cada posição da fonte sonora.

Os tempos de medição deverão ser de 6s para intervalos abaixo dos 400Hz e de 4s para frequências acima dos 400Hz.

As medições devem ser efetuadas com o sonómetro montado num tripé, e de modo a que o microfone fique a uma altura compreendida entre o 1,20m e 1,50m do pavimento, e afastado, sempre que possível, de pelo menos 3,5m de qualquer estrutura refletora.

Como referido anteriormente, o objetivo destes ensaios é determinar o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea de um determinado elemento construtivo entre compartimentos,  $D_{nT,w}$ , de acordo com a seguinte metodologia de cálculo:

- Determinação do nível médio de pressão sonora

O nível médio de pressão sonora em cada compartimento, por bandas de terços de oitava, é calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$L = 10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_j}{10}} \right) \text{ (dB)} \quad (3.26)$$

Em que,  $L_j$  são os níveis de pressão sonora desde  $L_1$  a  $L_n$  para  $n$  diferentes posições do sonómetro no compartimento.

– Correção do ruído de fundo

A determinação do nível de ruído de fundo no compartimento recetor, serve para identificar possíveis perturbações exteriores ao local de ensaio, ou associadas ao equipamento de medição. Caso a diferença entre o nível sonoro medido e ruído de fundo se encontre entre os 6 e os 10 dB deve-se proceder a uma correção do nível sonoro, através da seguinte expressão:

$$L = 10 \log \left( 10^{\frac{Lsb}{10}} - 10^{\frac{Lb}{10}} \right) \text{ (dB)} \quad (3.27)$$

Em que, L é o nível sonoro do sinal ajustado, Lsb o nível do sinal e do ruído de fundo combinados e Lb o nível sonoro do ruído de fundo.

– Determinação do tempo de reverberação,  $T_{60}$

A medição do tempo de reverberação é efetuada no compartimento recetor. O tempo de reverberação é o tempo em segundos, que o nível de pressão sonora demora a cair 60 dB. Segundo a norma, devem resultar pelo menos seis medições de decaimento para cada banda de frequência, em que o altifalante deve ter uma única posição, enquanto que o microfone deve ser posicionado em locais distintos.

– Determinação do isolamento sonoro bruto, D

O isolamento sonoro bruto, diferença de níveis médios de pressão entre o compartimento emissor e recetor, pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$D = L_1 - L_2 \text{ (dB)} \quad (3.28)$$

Em que,  $L_1$  é o nível médio de pressão sonora corrigido no recinto emissor com a fonte ligada, e  $L_2$  é o nível médio de pressão sonora no recinto recetor com a fonte ligada.

– Determinação do isolamento sonoro padronizado do elemento,  $D_{nT}$

O isolamento sonoro bruto é corrigido com o tempo de reverberação do compartimento, face a um valor de referência  $T_0$ , originando desta forma o isolamento sonoro padronizado do elemento, através da seguinte expressão:

$$D_{nT} = D + 10 \log \left( \frac{T}{T_0} \right) \text{ (dB)} \quad (3.29)$$

Em que, em que T corresponde ao tempo de reverberação e  $T_0$  a um valor de referência.

### CAPÍTULO 3

Após o cálculo do índice de isolamento sonoro padronizado do elemento,  $D_{nT}$ , para cada frequência, a norma EN ISO 717-1, permite chegar a um valor único, designado por índice,  $D_{nT,w}$ .

O valor do índice de isolamento sonoro a sons aéreos corresponde ao valor da frequência dos 500 Hz, depois de ser feito um ajuste da curva de referência à curva real.

O ajuste da curva de referência é feito de modo a ser possível a determinação do índice de isolamento sonoro a partir dos resultados por bandas de terço de oitava (e arredondados a uma décima por decibel), ajustando-se a curva de referência por patamares de 1 dB, relativamente à curva dos valores medidos, de modo a que a soma dos desvios desfavoráveis seja a maior possível, mas inferior a 32 dB.

Um desvio desfavorável, numa determinada banda de frequências, é aquele que ocorre quando o valor medido é inferior ao valor de referência, aos quais apenas os desvios desfavoráveis devem ser tidos em consideração.

| Valores de referência |                          |                 |                          |
|-----------------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|
| Frequência (Hz)       | Banda 1/3 de oitava (dB) | Frequência (Hz) | Banda 1/3 de oitava (dB) |
| 100                   | 33                       | 630             | 53                       |
| 125                   | 36                       | 800             | 54                       |
| 160                   | 39                       | 1000            | 55                       |
| 200                   | 42                       | 1250            | 56                       |
| 250                   | 45                       | 1600            | 56                       |
| 315                   | 48                       | 2000            | 56                       |
| 400                   | 51                       | 2500            | 56                       |
| 500                   | 52                       | 3150            | 56                       |

Tabela 3.3 - Valores da curva de referência dos sons aéreos

Os ensaios efetuados in situ são positivos quando verificarem o seguinte:

| Resultado do ensaio<br>$D_{nT,w}$ | Valor corrigido do fator<br>de incerteza I ( $D_{nT,w} + I$ ) | Limite regulamentar   | Observações |
|-----------------------------------|---|-----------------------|-------------|
| Exemplo: 55 dB                    | $55 + 3 = 58$ dB  | $D_{nT,w} \geq 50$ dB | Conforme    |

Tabela 3.4 - Resumo da verificação do cumprimento da legislação

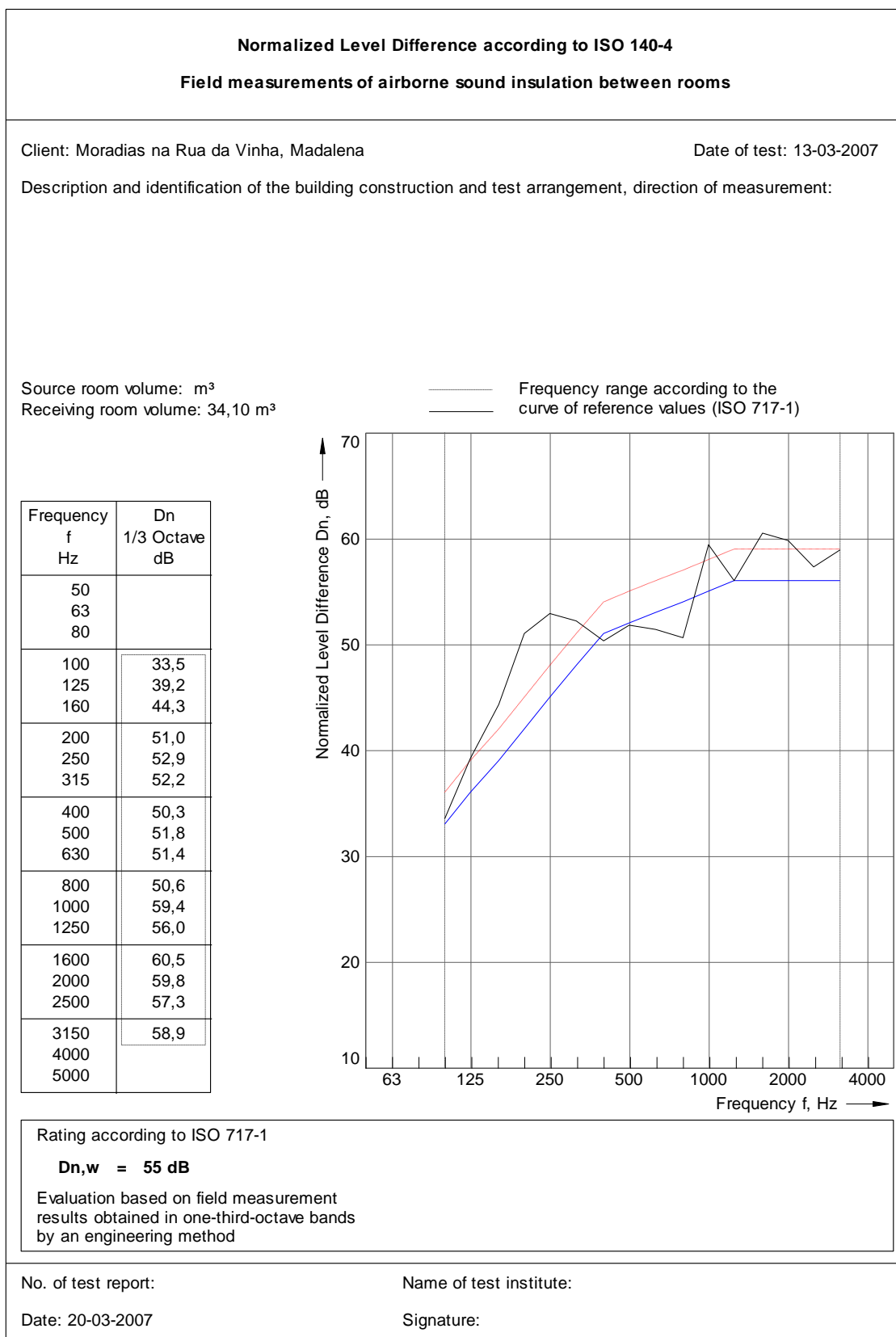


Figura 3.23 - Exemplo da determinação do valor  $D_{nT,w}$ , após o ajuste das curvas [Boletim de ensaio ISEP]

### 3.2.3 Isolamento Sonoro A Sons De Percussão

Os sons de percussão resultam da deslocação de pessoas, da queda de objetos, ou do arrastar de móveis, ou seja, qualquer ação de choque exercida num ponto de determinado elemento de compartimentação de um edifício, podendo propagar-se com grande facilidade através da rigidez das ligações existentes, estabelecendo campos sonoros, por vezes em compartimentos afastados do local de origem da excitação.

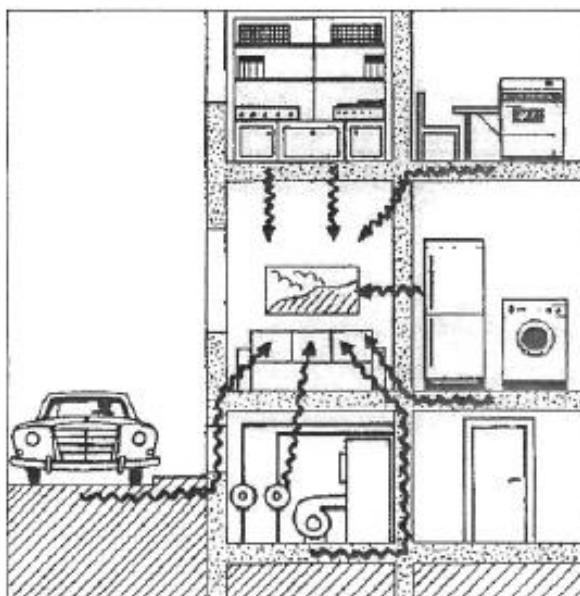


Figura 3.24 - Esquema da propagação de sons de percussão.

Há várias formas de controlar os ruídos de percussão, como por exemplo, intervir na fonte, no caminho de transmissão ou perto do recetor. Segundo Oliveira de Carvalho, A.P.,2004, devem ser tomadas as seguintes medidas:

- Atuação na fonte:
  - Colocar a fonte de vibração afastada da área onde baixos níveis sonoros são desejados;
  - Reduzir a potência da fonte de vibração;
  - Colocar isolamento que corte a vibração entre a fonte e a estrutura;
  - Aplicar camadas resilientes em superfícies sujeitas a impacto (consiste numa substância elástica que absorve energia potencial quando deformada, funcionando muito bem para as altas frequências. No entanto, é quase ineficaz para as baixas frequências);
  - Dar rigidez à estrutura nos pontos de excitação.

- Atuação no caminho de transmissão:
  - Isolar a fonte de vibração de outros locais através de descontinuidades estruturais, separações, etc.;
  - Separação dinâmica de componentes por camadas resilientes, ligações flexíveis, etc.;
  - Aplicar tratamento para aumento do amortecimento na estrutura que transmite a vibração.
- Atuação perto do recetor:
  - Cobrir as superfícies radiantes através de tetos suspensos resilientemente, etc.;
  - Reduzir as vibrações de superfícies que radiam som por aplicação de capas amortecedoras.

Na prática, a melhor forma de reduzir a transmissão de ruídos de percussão na compartimentação horizontal (lajes) passa por:

- Revestir o piso rígido por alcatifa (ou outro material muito resiliente);
- Colocação de teto falso na zona inferior, de preferência com material absorvente e suspenso por meio de apoios anti-vibráticos;
- Aplicação de lajeta flutuante, que consiste numa lajeta de distribuição, colocada sobre a laje estrutural, separada desta por uma fina camada de material resiliente (espuma rígida de plástico, borracha, esponja, etc.). Devido ao acréscimo de massa e algum efeito de duplicação de paramentos, tem ainda vantagens no isolamento sonoro a sons aéreos. Deve haver o cuidado para evitar o contacto da lajeta flutuante com a laje estrutural, com as paredes circundantes e com possíveis instalações, de forma a impedir a passagem das vibrações.

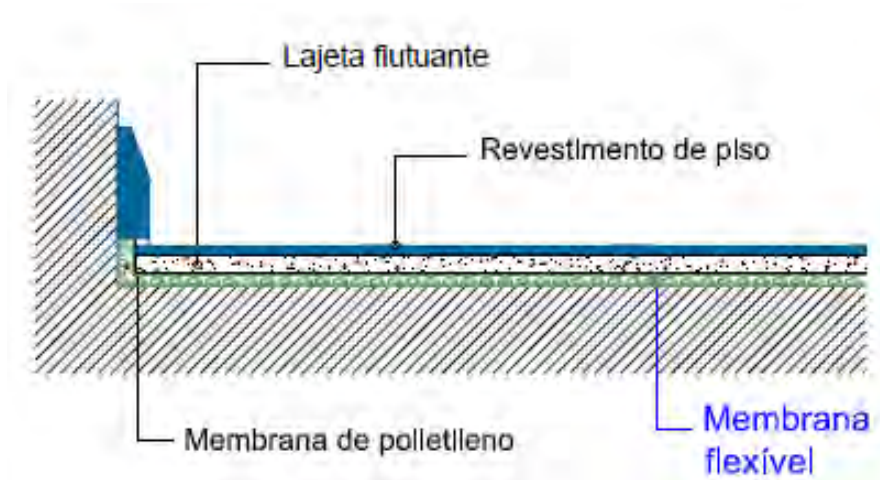


Figura 3.25 - Esquema da aplicação de uma lajeta flutuante em betão armado [Fonte: Apontamentos Mateus, Diogo, 2008]

**3.2.3.1 Metodologia de cálculo**

Existem vários métodos para o cálculo do isolamento sonoro a sons de percussão, ao qual será feita referência ao método simplificado e ao método do invariante, que consistem em estimar o valor de projeto.

I. Método simplificado

Este método baseado na norma 12354, é aplicável a elementos homogêneos de betão armado maciços ou aligeirados, com massa superficial entre 100 a 600 Kg/m<sup>2</sup>. É um método bastante fácil de ser aplicado, no entanto, só deve ser aplicado em situações de percussão para elementos de separação diretos, de cima para baixo. E preconizado pela seguinte expressão:

$$L'_{nT,w} = L_{n,w} - \Delta L_w - 10 \log \left( \frac{0.16 * V}{A_0 * T_0} \right) + K_{TM} \tag{3.30}$$

$$L_{n,w} = 164 - 35 \log(m) \tag{3.31}$$

Em que, m é a massa superficial do pavimento (Kg/m<sup>2</sup>);  $\Delta L_w$  é a redução da transmissão sonora, devido ao revestimento do piso (dB);  $K_{TM}$  é a correção devida à ocorrência de transmissões marginais; V o volume do compartimento recetor; A a área do elemento de separação e  $T_0$  o tempo de reverberação de referência (0,5s).

| Massa superficial do pavimento<br>(Kg/m <sup>2</sup> ) | Massa superficial média dos elementos marginais (paredes), homogêneos e não revestidos (Kg/m <sup>2</sup> ) |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|  | 100   | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| 100  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 150  | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 200  | 2   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 250  | 2   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 300  | 3   | 2   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 350  | 3   | 2   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   |
| 400  | 4   | 2   | 2   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   |
| 450  | 4   | 3   | 2   | 2   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| 500  | 4   | 3   | 2   | 2   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| 600  | 5   | 4   | 3   | 2   | 2   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| 700  | 5   | 4   | 3   | 3   | 2   | 2   | 1   | 1   | 1   |
| 800  | 6   | 4   | 4   | 3   | 2   | 2   | 2   | 1   | 1   |
| 900  | 6   | 5   | 4   | 3   | 3   | 2   | 2   | 2   | 2   |

Tabela 3.5 - Fatores de correção devido às transmissões marginais  $K_{TM}$ .

## II. Método do invariante

Este método tem um carácter empírico, em virtude de ter sido estabelecido a partir da realização de um elevado número de ensaios experimentais em vários tipos de pavimentos.

O método do invariante  $L_{n,w} + R_w$ , aplica-se para a determinação do isolamento a sons de percussão conferido pelos elementos de compartimentação horizontal a partir do conhecimento prévio do índice de redução sonora, o qual pode ser obtido com recurso à lei da massa aplicada a esse elemento.

O índice de isolamento sonoro a sons de percussão pode ser obtido a partir da seguinte expressão:

$$L'_{nT,w} = (R_w + L_{n,w}) - R_w - \Delta L_w - 10 \log \left( \frac{0,16 * V}{A_0 * T_0} \right) + K_{TM} \quad (3.32)$$

O valor de  $\Delta L_w$  pode ser encontrado através das seguintes tabelas de revestimentos de piso resilientes e flutuantes:

| Natureza do Revestimento de Piso |   |                | $\Delta L_w$ (dB) |
|----------------------------------|---|----------------|-------------------|
| Designação                       | Características   |                |                   |
|                                  | Massa Volúmica (Kg/m <sup>3</sup> )                       | Espessura (mm) |                   |
| Aglomerado composto de cortiça   | 400   | 6              | 16                |
|                                  | 490   | 12             | 15                |
|                                  | 750   | 3              | 11                |
|                                  | 530   | 4              | 17                |
|                                  | 430   | 4              | 14                |
| Alcatifa                         | Tufada com base de latex                                  |                | 33                |
|                                  | Tufada com base de favos de borracha                      |                | 35                |
|                                  | Flocada sobre tecido de juta                              |                | 23                |
| Revestimento resiliente composto | Aglomerado de cortiça + MDF + aglomerado de cortiça (2mm) |                | 20                |
|                                  | Aglomerado de cortiça + MDF + aglomerado de cortiça (5mm) |                | 20                |
|                                  | Aglomerado de cortiça + MDF + Rubber Cork (2mm)           |                | 22                |
|                                  | Folha de madeira + MDF + aglomerado de cortiça (2mm)      |                | 20                |
|                                  | Folha de madeira + MDF + aglomerado de cortiça (5mm)      |                | 21                |
|                                  | Folha de madeira + MDF + Rubber Cork (2mm)                |                | 21                |

Tabela 3.6 - Redução sonora de revestimentos de piso resilientes.

| Natureza do Revestimento de Piso   |   |                |    | $\Delta L_w$ (dB) |
|--|---|----------------|----|-------------------|
| Designação   | Características                               |                |    |                   |
|  | Massa Volúmica (Kg/m <sup>3</sup> )           | Espessura (mm) |    |                   |
| Lajeta flutuante de 40 mm de espessura, com face aparente revestida com tacos de pinho | Aglomerado negro de cortiça                   | 95             | 10 | 19                |
|  |   | 100            | 20 | 20                |
|  |   | 100            | 10 | 18                |
|  |   | 102            | 6  | 17                |
|  |   | 112            | 10 | 18                |
|  |   | 120            | 40 | 20                |
|  |   | 140            | 12 | 18                |
|  |   | 194            | 5  | 15                |
| Massa volúmica do regranulado (Kg/m <sup>3</sup> )                                     |   |                |    |                   |
|  | Feltro betuminoso com regranulação de cortiça | 52             |    | 19                |
|  |   | 66             |    | 20                |
|  |   | 114            |    | 21                |
|  |   | 146            |    | 20                |

Tabela 3.7 - Redução sonora de revestimentos de piso flutuantes.

| Tipo de Pavimento   | $R_w + L_{n,w}$<br>(dB/oitava) |
|---|--------------------------------|
| Laje de betão não revestida (espessuras correntes)                | 135                            |
| Laje de betão revestida com tacos de madeira                      | 120                            |
| Laje de betão com lajeta flutuante revestida com tacos de madeira | 115                            |
| Pavimento de vigotas pré-esforçadas c/ blocos de cofragem e betão | 125                            |
| Laje de betão c/ piso flutuante de madeira                        | 117                            |

Tabela 3.8 - Valores do método do invariante [Silva, 1978].

### 3.2.3.2 Ensaios acústicos (sons de percussão)

Como referido anteriormente, os ensaios de acústica de edifícios são necessários pois, de acordo com o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, Decreto-lei nº 98/2008, de 9 de junho, as exigências de comportamento acústico dos edifícios são de verificação “in situ”.

Os ensaios acústicos de percussão permitem determinar o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado,  $L'_{nT,w}$ .

A metodologia utilizada para a realização destes ensaios está de acordo com a norma NP EN ISO 140-7 (isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão).

A norma EN ISO 717-2 possibilita chegar a um único valor, designado por índice, a partir dos valores obtidos em cada frequência.

Segundo o regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios, o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado,  $L'_{nT,w}$ , entre compartimentos de um fogo, e quartos ou zonas de estar de outro fogo, deverá ser:  $L'_{nT,w} \geq 60$  dB.

Nas avaliações in situ, deve ser tido em conta um fator de incerteza,  $I$ , associado à determinação das grandezas em causa. O valor obtido para o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado,  $L'_{nT,w}$ , acrescido do factor de incerteza  $I$  ( $I = 3$  dB) satisfaz o limite regulamentar.

Os equipamentos utilizados são semelhantes aos usados na avaliação do isolamento sonoro a sons aéreos, com o acréscimo de uma máquina de percussão.

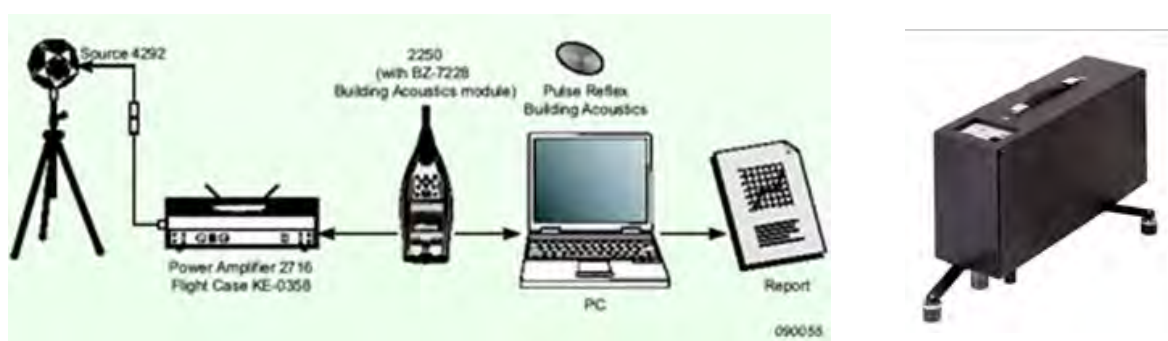


Figura 3.26 - Esquema de montagem dos equipamentos de ensaio, com exemplo da máquina de percussão à direita.

### CAPÍTULO 3

As medições entre compartimentos com formas idênticas e de dimensões iguais devem ser realizadas preferencialmente com difusores em cada compartimento. A área dos difusores deve ser de pelo menos 10m<sup>2</sup>.

As medições devem ser efetuadas com o sonómetro montado num tripé, e de modo a que o microfone fique a uma altura compreendida entre o 1,20m e 1,50m do pavimento, e afastado, sempre que possível, de pelo menos 3,5m de qualquer estrutura refletora.

A disposição da máquina de martelos deverá respeitar as seguintes regras:

- Deverá ser colocada em pelo menos quatro posições diferentes aleatoriamente distribuídas pelo pavimento a testar;
- A distância da máquina de martelos, aos limites do compartimento deve ser pelo menos 0,5m;
- No caso de pavimentos anisotrópicos são necessárias mais do que 4 posições;
- As medidas só deverão ser iniciadas após a máquina de martelos ser ligada e o nível sonoro se encontrar estável;

As medições são efetuadas para bandas de um terço de oitava, situadas na gama de frequência entre os 100 e os 3150 Hz.

Após os ensaios, é efetuada uma média do nível de pressão sonora de impacto, nível de ruído de fundo combinado e tempo de reverberação, à semelhança do que foi referido nos ensaios a sons aéreos.

De seguida, é corrigido o nível médio de pressão sonora no recinto recetor com a fonte ligada com base no nível médio de pressão sonora no recinto recetor com a fonte desligada (ruído de fundo).

Após o cálculo do índice de isolamento sonoro padronizado do elemento,  $L_{nT}$ , para cada frequência, a norma EN ISO 717-2, permite chegar a um valor único, designado por índice,  $L'_{nT,w}$ .

Para determinar o índice de isolamento sonoro a partir dos resultados de uma medição  $L'_n$  expressa em bandas de terços de oitava (e arredondados a uma décima de decibel), ajusta-se a curva de referência, por patamares de 1 dB, relativamente à curva dos valores medidos, de modo a que a soma dos desvios desfavoráveis seja a maior possível, mas não superior a 32 dB.

O valor do índice de isolamento sonoro a sons aéreos corresponde ao valor da frequência dos 500 Hz, depois de ser feito um ajuste da curva de referência à curva real.

Um desvio desfavorável, numa determinada frequência, é aquele que ocorre quando o valor medido é superior ao valor de referência. Apenas os desvios desfavoráveis devem ser tidos em conta.

| Valores de referência |                          |                 |                          |
|-----------------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|
| Frequência (Hz)       | Banda 1/3 de oitava (dB) | Frequência (Hz) | Banda 1/3 de oitava (dB) |
| 100                   | 33                       | 630             | 53                       |
| 125                   | 36                       | 800             | 54                       |
| 160                   | 39                       | 1000            | 55                       |
| 200                   | 42                       | 1250            | 56                       |
| 250                   | 45                       | 1600            | 56                       |
| 315                   | 48                       | 2000            | 56                       |
| 400                   | 51                       | 2500            | 56                       |
| 500                   | 52                       | 3150            | 56                       |

Tabela 3.9 - Valores da curva de referência para os sons de percussão

Os ensaios efetuados in situ são positivos quando verificarem o seguinte:

| Resultado do ensaio<br>$L'_{nT,w}$ | Valor corrigido do fator<br>de incerteza $I (L'_{nT,w} + I)$ | Limite regulamentar    | Observações |
|------------------------------------|--|------------------------|-------------|
| Exemplo: 55 dB                     | $55 - 3 = 52$ dB   | $L'_{nT,w} \leq 60$ dB | Conforme    |

Tabela 3.10 - Resumo da verificação do cumprimento da legislação

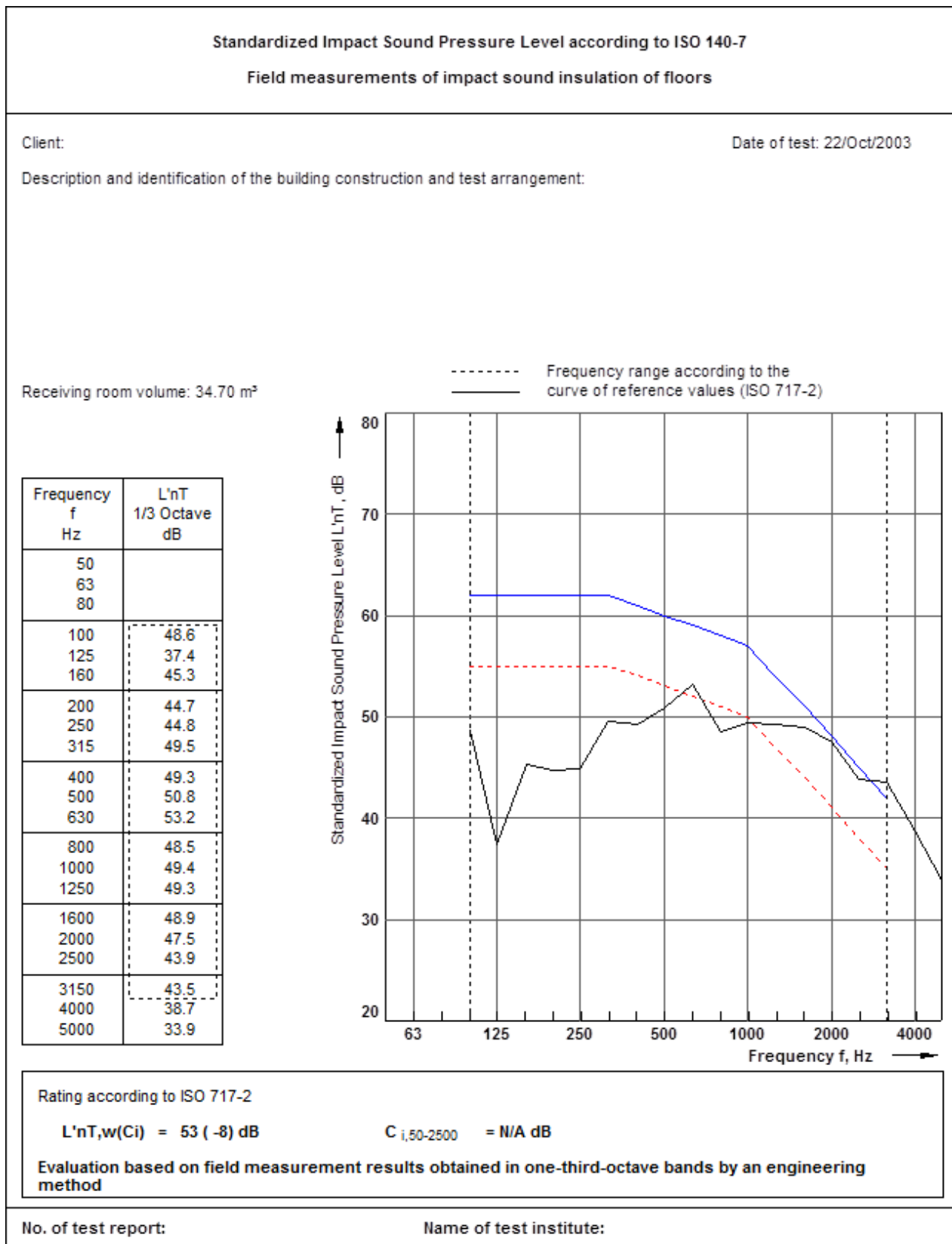


Figura 3.27 - Exemplo da determinação do valor  $L'_{nT,w}$ , após o ajuste das curvas [Boletim de ensaio ISEP]

### 3.2.4 Ruído ambiental

Relativamente à acústica ambiental, são feitos ensaios para avaliar o ruído ambiente de um dado local, bem como proceder à elaboração de mapas de ruído, de forma a salvaguardar o bem-estar da população.

Para efetuar ensaios de ruído ambiental deve ser utilizada a norma NP 1730-1996: “Acústica. Descrição e medição do ruído ambiente”, e o documento “Procedimentos específicos de medição de ruído ambiente”, do Instituto do Ambiente.

Estes documentos, estabelecem as seguintes regras, no que respeita a ensaios ambientais:

- As medições devem ser efetuadas dentro dos limites da propriedade exposta ao ruído, onde se situam os recetores de ruído. No caso de impossibilidade de efetuar as medições dentro dos limites da propriedade privada, os pontos devem ser escolhidos na sua vizinhança imediata e devem preferencialmente estar a menos de 3,5m de qualquer superfície refletora e entre 1,2m e 1,5 acima do solo;
- A escolha do intervalo de tempo de medição deve permitir obter um valor representativo da situação a caracterizar e no limite a sua duração pode coincidir com o próprio intervalo de referência, o que corresponde a uma medição em contínuo. Caso contrário, recomenda-se que o intervalo de tempo de medição acumulado do conjunto de amostras obtidas seja, no mínimo, de 30 minutos e que cada amostra não seja inferior a 10 minutos;
- A recolha das amostras para obter o valor representativo tanto do ruído ambiente como do residual deve ser repetida, pelo menos, em 2 dias consecutivos;

#### 3.2.4.1 Parâmetros

Nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A,  $L_{Aeq,T}$ : valor do nível de pressão sonora ponderado A de um ruído uniforme que, no intervalo de tempo T, tem o mesmo valor eficaz da pressão sonora do ruído considerado cujo nível varia em função do tempo. É obtido pela seguinte expressão:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \int 10^{0.1L(t)} dt \right] \quad (3.33)$$

Em que:

T – Período de tempo considerado;

L(t) – nível de pressão sonora no instante t, em dB(A).

### CAPÍTULO 3

Indicador de ruído diurno ( $L_d$ ) ou ( $L_{day}$ ): o nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na Norma NP 1730-1:1996, ou na versão atualizada correspondente, determinado durante uma série de períodos diurnos representativos de um ano;

Indicador de ruído do entardecer ( $L_e$ ) ou ( $L_{evening}$ ): o nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na Norma NP 1730-1:1996, ou na versão atualizada correspondente, determinado durante uma série de períodos do entardecer representativos de um ano;

Indicador de ruído noturno ( $L_n$ ) ou ( $L_{night}$ ): o nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na Norma NP 1730-1:1996, ou na versão atualizada correspondente, determinado durante uma série de períodos noturnos representativos de um ano;

Os intervalos de tempo de longa duração são de:

- 1 ano para os indicadores  $L_{den}$  e  $L_n$ ,
- e 1 mês para o indicador  $L_{Aeq,t}$ , por período de referência, na avaliação do ruído ambiente e do ruído residual.

A estes parâmetros importa acrescentar o indicador de ruído diurno-entardecer-noturno,  $L_{den}$ , período de referência, zona mista e zona sensível, que se encontram definidos no capítulo 3.3.1. Regulamento Geral do Ruído.

A classificação de zonas sensíveis e mistas é da competência das câmaras municipais, devendo-se garantir o seguinte:

- as zonas sensíveis não podem ficar expostas a um indicador do ruído diurno-entardecer-noturno superior a 55 dB(A) e a 45 dB(A), no período noturno;
- as zonas mistas não podem ficar expostas a um indicador do ruído diurno-entardecer-noturno superior a 65 dB(A) e a 55 dB(A), no período noturno;

Os equipamentos utilizados para a medição do ruído ambiente são os seguintes:

Um sonómetro de modelo homologado pelo Instituto Português da Qualidade, que detenha certificado de verificação válido para esse ano e que seja, preferencialmente, da classe de exatidão 1. Antes e depois das medições deve ser feita uma verificação com calibrador portátil; a obtenção de um desvio superior a 0,5dB determinará a não-aceitação dos resultados.

Os equipamentos que normalmente se utilizam nos ensaios realizados no ISEP e que estão de acordo com as especificações da normalização portuguesa são os seguintes:

- Um sonómetro integrador (classe 1) da marca Brüel & Kjaer, modelo 2260, com o número de série 2290673 e microfone, modelo 4189, com o número de série 2281988;
- Um calibrador sonoro (classe 1), da marca Brüel & Kjaer, modelo 4231, com o número de série 2292026;
- Um tripé de fixação portátil, da marca Brüel & Kjaer, modelo UA0801;
- Software Noise Explorer™ 7815 da Brüel & Kjaer, com o número de série 2297831;
- Um módulo estatístico, da marca Brüel & Kjaer, modelo BZ7210
- Um Termo higrómetro;
- Um Anemómetro de Sonda MiniAir64.

O sonómetro-analisador tem o certificado de calibração nº 5512-A, de 2001.11.07, emitido pelo Laboratório de Calibração da Brüel & Kjaer, acreditado pela ENAC com o nº 50/LC003.

### 3.2.5 Ruído de equipamentos e instalações

Entende-se como ruído de equipamentos o ruído proveniente de toda a maquinaria existente num edifício como por exemplo, grupos hidropressores, ascensores, sistemas centralizados de climatização e ventilação mecânica, portões de garagem e postos de transformação de corrente elétrica.

Este tipo de ruído pode propagar-se tanto por meio de sons aéreos como por sons de percussão, podendo causar incomodidade para a própria habitação ou para locais sensíveis próximos, obrigando a tomar medidas em projeto de forma a minorar os ruídos e restringindo-os ao limite regulamentar.

Como ruído de instalações, entende-se apenas como o ruído proveniente de instalações de abastecimento e drenagem de águas residuais.

Segundo o regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios, o nível de avaliação,  $L_{AR,nT}$ , do ruído particular de equipamentos coletivos do edifício, divide-se em 3 categorias, nomeadamente equipamentos com funcionamento intermitente, funcionamento contínuo e grupos geradores elétricos de emergência.

O edifício ou os seus fogos são considerados como dando cumprimento ao regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios, desde que os valores medidos in situ, diminuídos do fator de incerteza  $I = 3\text{dB (A)}$ , satisfaçam os limites regulamentares.

A determinação das componentes tonais do nível de avaliação,  $L_{AR,nT}$ , é feita segundo o disposto no regulamento geral do ruído, que no seu anexo I diz o seguinte:

“O valor do  $L_{Aeq}$  do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular deve ser corrigido de acordo com as características tonais ou impulsivas do ruído particular, passando a designar-se por nível de avaliação,  $L_{Ar}$ , de acordo com a seguinte expressão”:

$$L_{Ar} = L_{Aeq,T} + K1 + K2 \quad (3.34)$$

Em que,

$K1 = 3\text{dB}$ , se o ruído for tonal; o ruído é considerado tonal caso se verifique, no espectro de um terço de oitava e medindo com ponderação de malha A, que o nível sonoro de uma banda excede o das adjacentes em  $5\text{dB(A)}$  ou mais;

$K2 = 3\text{dB}$ , se o ruído for impulsivo; o ruído é considerado impulsivo caso se verifique uma diferença, entre o nível sonoro contínuo equivalente medido no intervalo de tempo  $t$ ,  $L_{Aeq,T}$ , em simultâneo com característica impulsiva e *fast*, superior a  $6\text{dB(A)}$ .

### 3.2.5.1 Ruído de equipamentos

O controlo de ruídos provenientes de equipamentos passa por criar um elemento de separação entre o equipamento e o elemento estrutural (isolamento a sons de percussão ou vibrações), ou isolar toda a envolvente do espaço onde se encontra o equipamento (isolamento a sons aéreos).

A solução mais fácil e eficiente para controlar o isolamento de ruídos provenientes de vibrações é através da instalação de apoios antivibráticos. O seu dimensionamento em fase de projeto passa por conhecer a potência de vibração, o peso do equipamento e a rotação do motor.

Segundo Diogo Mateus, 2008, recomenda a utilização de elementos antivibráticos metálicos ou pneumáticos para apoio de equipamentos de baixa rotação (até 3600 r.p.m.), elementos combinados à base de borracha ou outro elastómero com espessura entre 30 a 60mm, para equipamentos de média rotação (entre 3600 a 15000 r.p.m.), ou membranas flexíveis para equipamentos de elevada rotação (acimas das 15000 r.p.m. ou 250 Hz).

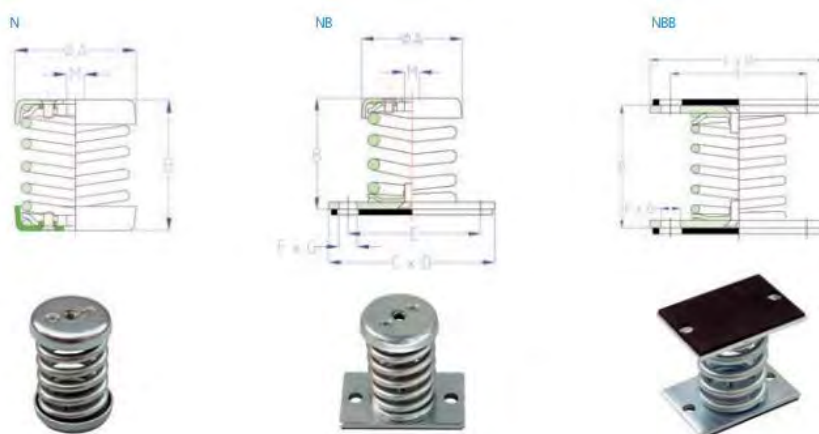


Figura 3.28 - Apoios antivibráticos metálicos [Catálogo LESOL]



Figura 3.29 - Membranas flexíveis [Catálogo LESOL]



Figura 3.30 - Combinados à base de metal e borracha ou outro elastómero [Catálogo LESOL]

### 3.2.5.2 Ruído de instalações

Como referido anteriormente o ruído de instalações resulta do abastecimento e drenagem de águas residuais, com destaque para torneiras, autoclismos e acessórios das canalizações. Os ruídos podem resultar do funcionamento de certos órgãos dos equipamentos, ou através do regime de escoamento. De qualquer das formas é importante ter em atenção os seguintes aspetos:

- Evitar velocidades excessivas de escoamento ( $v \leq 1,5\text{m/s}$ );
- Características do traçado da rede, devendo-se evitar mudanças bruscas de calibre e de direção;
- Criação de declives menos acentuados, de forma a evitar a presença de ar nas canalizações;
- Evitar a propagação das vibrações das tubagens à estrutura, através da colocação de material resiliente nos pontos de contacto das canalizações com a estrutura;
- Uso de equipamentos sanitários menos ruidosos, como por exemplo, válvulas, torneiras, alimentação de aparelhos sanitários;
- Colocação de material resiliente nos apoios de todos os aparelhos sanitários, de forma a “desliga-los” da estrutura.

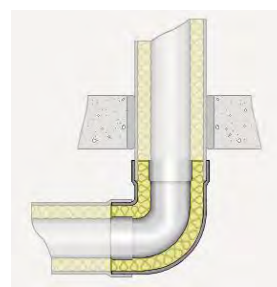


Figura 3.31 - Aplicação de isolamento em tubagens.

### 3.2.6 Aplicação do CYPEVAC III

Paralelamente ao estudo dos elementos construtivos usando modelos como a lei da massa, modelo de Sharp e modelo de Meisser, será utilizado o módulo Cypevac III (vac – verificação da acústica das construções) do programa informático Cype, de forma a poder comparar os resultados obtidos através de diferentes estudos.

Este programa permite a verificação de acordo com o regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios do isolamento sonoro de diversos elementos construtivos como paredes ou pavimentos, efetuando posteriormente o cálculo do índice de isolamento sonoro de uma determinada compartimentação.

É possível a utilização de diversos materiais através de uma base de dados, dando a oportunidade de introduzir as espessuras, massa volúmica e posição do material no elemento construtivo.

Após a introdução dos dados e programa efetua a verificação, e produz um relatório detalhado e uma ficha resumo da verificação da conformidade com o regulamento.

A metodologia de cálculo utilizada pelo Cypevac no que respeita aos sons aéreos é a lei da massa, e quanto aos sons de percussão é o método do invariante.

O programa permite o cálculo do índice de isolamento sonoro dos diferentes elementos de compartimentação através da introdução dos seguintes dados: dados da obra, constituição das paredes exteriores, interiores, pavimentos, volume dos compartimentos.

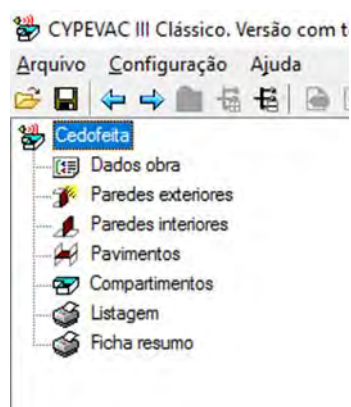


Figura 3.32 - Interface do Cypevac

Inicialmente, é necessário introduzir o tipo de edifício e se o tipo de zona onde está situado corresponde a uma zona mista ou zona sensível.

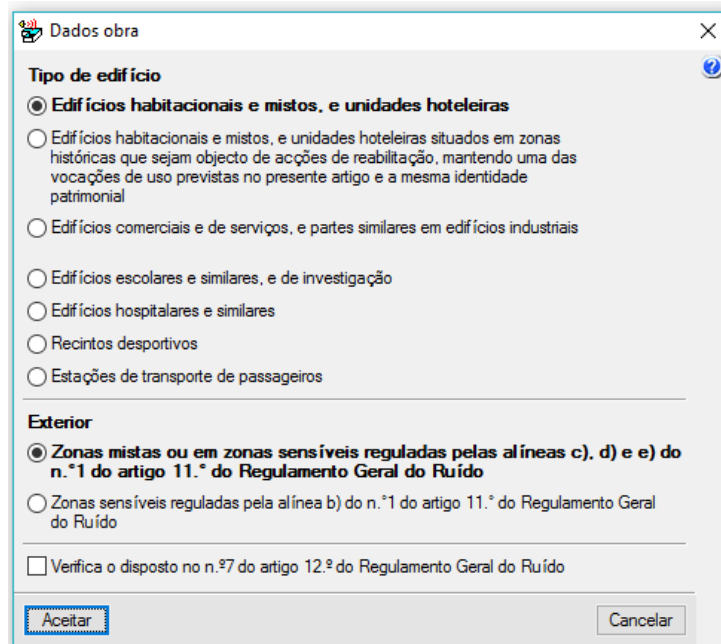


Figura 3.33 - Interface do Cypevac dados da obra.

De seguida, é possível introduzir os diferentes elementos de compartimentação, como paredes exteriores, interiores e pavimentos.

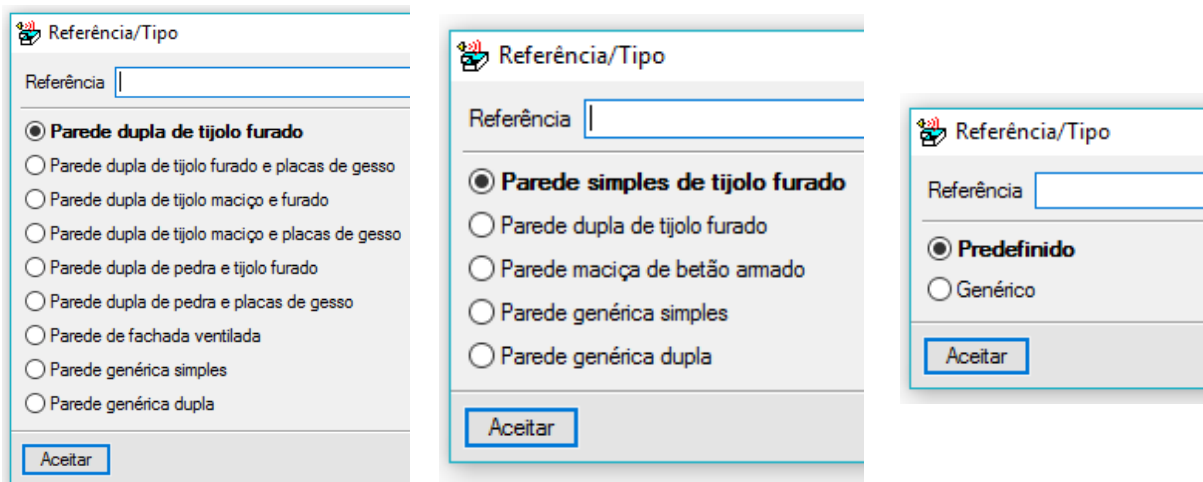


Figura 3.34 - Interface do Cypevac com os diferentes tipos de paredes exteriores, interiores e pavimentos.

Os elementos construtivos acima representam situações criadas por defeito, no entanto é possível ao utilizador introduzir os seus próprios dados. Dá-se de seguida, o exemplo de uma parede de alvenaria dupla, com isolamento na caixa de ar.

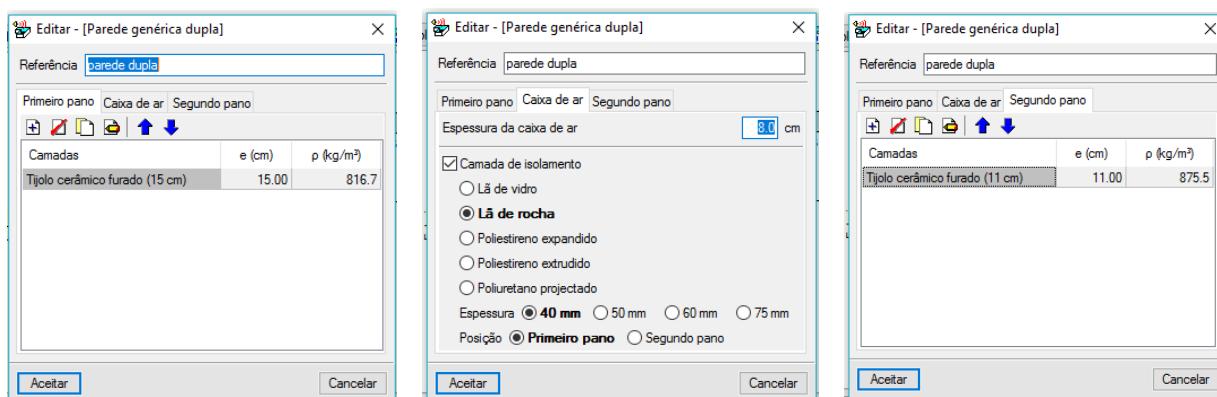


Figura 3.35 - Interface do Cypevac com a introdução dos dados do primeiro pano de parede, da caixa de ar e do segundo pano.

É possível introduzir individualmente cada material constituinte de um elemento construtivo. Os dados podem ser retirados da base de dados do LNEC que é constituída por inúmeros materiais, ou caso contrário, introduzida a espessura e a massa volúmica aparente, como se pode verificar na figura seguinte.

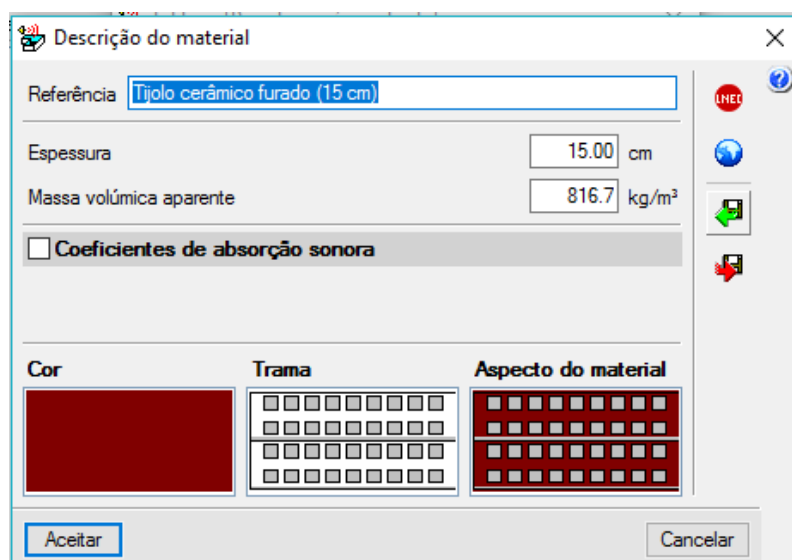


Figura 3.36 - Interface do Cypevac de um material individualmente.

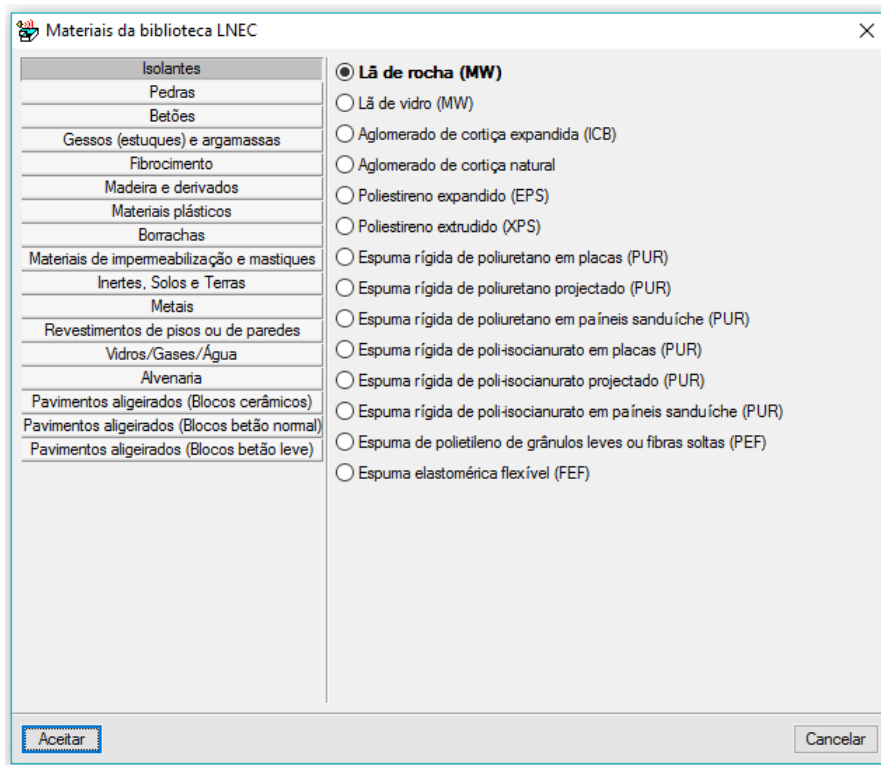


Figura 3.37 - Interface do Cypevac: base de dados do LNEC.

Por fim, é possível visualizar o esquema do elemento construtivo introduzido, neste caso, uma parede dupla de alvenaria de tijolo cerâmico 15+11cm, com 4cm de lã de rocha no interior e 4cm de caixa de ar.

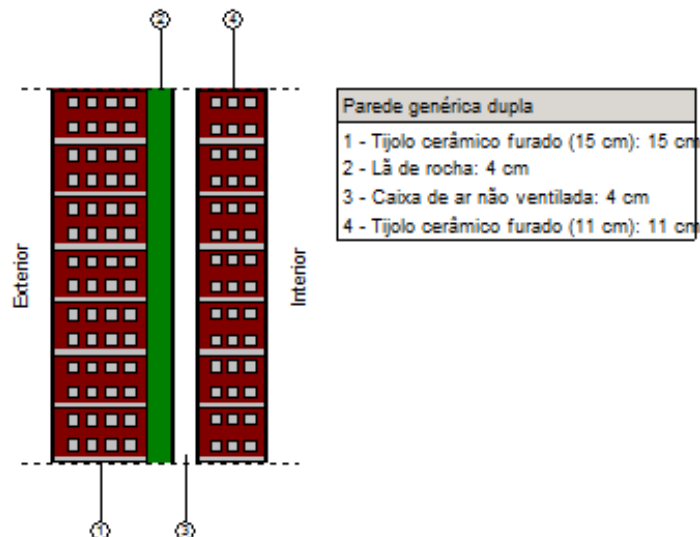


Figura 3.38 - Interface do Cypevac: esquema de um exemplo de parede introduzida.

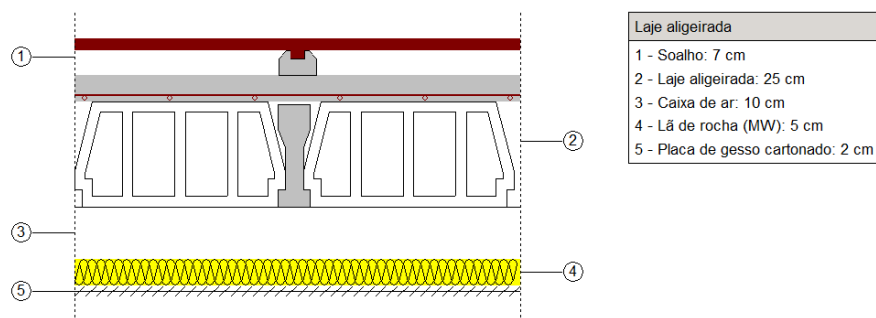


Figura 3.39 - Interface do Cypevac: esquema de um exemplo de um pavimento introduzido.

Quanto aos compartimentos, deve-se introduzir o volume e o tempo de reverberação de referência e inserir individualmente cada um dos elementos construtivos criados anteriormente aplicáveis a esse compartimento.

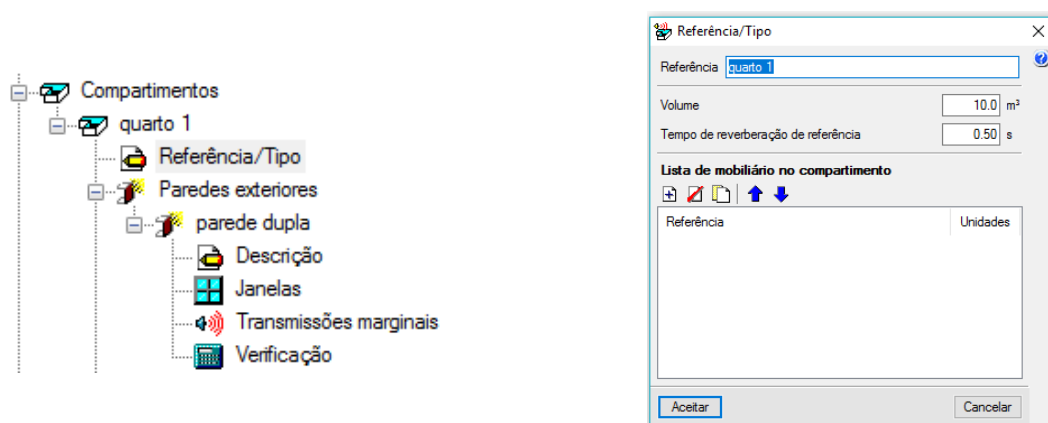


Figura 3.40 - Interface do Cypevac: exemplo da introdução de um compartimento.

Caso o elemento de compartimentação seja heterogêneo, é possível introduzir os envidraçados através da sua área e da constituição do vidro.

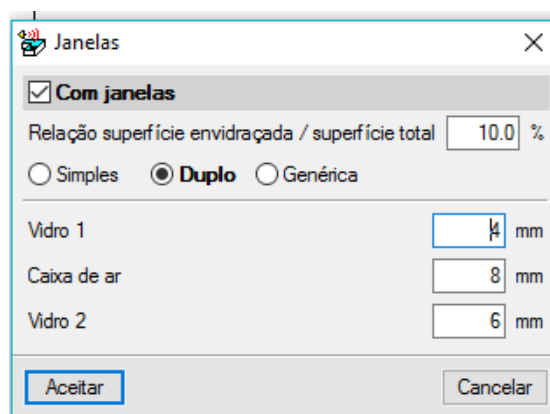


Figura 3.41 - Interface do Cypevac: exemplo da introdução de um envidraçado.

O programa disponibiliza um conjunto de disposições, que permitem contabilizar o efeito das transmissões marginais.

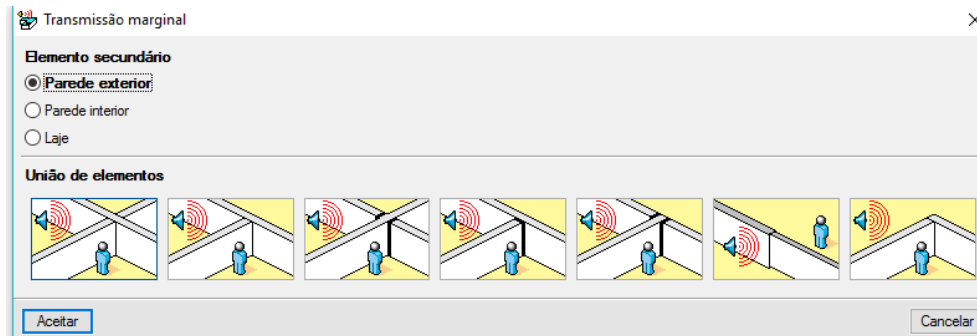


Figura 3.42 - Interface do Cypevac: exemplo da introdução da contribuição das transmissões marginais.

Após introduzido um elemento construtivo num determinado compartimento, com envidraçados, o programa apresenta o índice de redução sonora da parte envidraçada e da parte opaca.

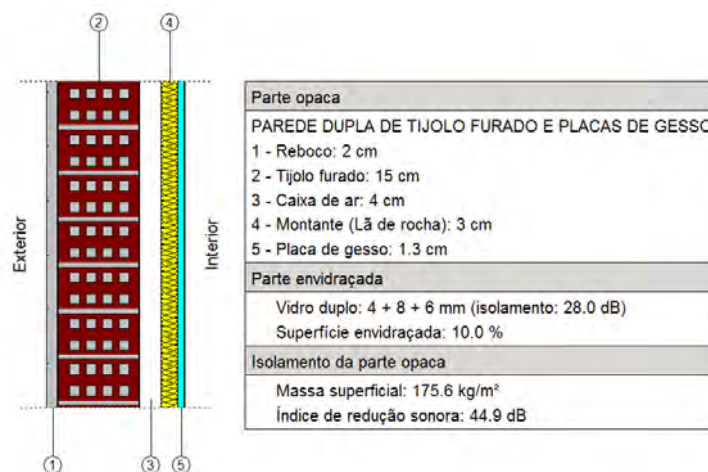


Figura 3.43 - Interface do Cypevac: exemplo de uma parede exterior introduzida no compartimento.

Por último, é possível verificar o índice de isolamento sonoro do compartimento, de acordo com a legislação em vigor.

| Referência: quarto 1 - parede dupla  |   |          |
|--|---|----------|
| Verificação  | Valores                                   | Estado   |
| Isolamento sonoro médio:<br>- Zonas mistas ou em zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído:<br>Decreto-Lei nº96/2008. Artigo 5º-1 a-i.   | D 2m,nT,w, mín: 33 dB<br>Calculado: 35 dB | Verifica |
| Cumrem-se todas as verificações  |   |          |
| Informação adicional:<br>- Massa superficial: 175.6 kg/m <sup>2</sup><br>- O isolamento sonoro médio calculou-se segundo a lei da massa<br>- Não foi possível contabilizar o efeito da caixa de ar ao aplicar a lei da massa (Deve existir na caixa de ar uma camada de elemento absorvente com uma espessura mínima de: 4.0 cm) |   |          |

Figura 3.44 - Interface do Cypevac com a verificação do elemento construtivo.

O programa disponibiliza ainda uma ficha resumo, com os dados necessários introduzidos numa folha de cálculo e a sua respetiva verificação. Apresenta-se um exemplo das tabelas na figura seguinte:

### I - RUÍDO EXTERIOR (ENVOLVENTE)

#### - Localização

Zonas mistas ou em zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído (Artigo 5º-1 a-i) [X] D 2m,nT,w, mín: 33 dB

Zonas sensíveis reguladas pela alínea b) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído (Artigo 5º-1 a-ii) [ ] D 2m,nT,w, mín: 28 dB

#### - Envolvente

| Descrição                  | Área opaca |         | Área envidraçada |         | Rw Global (dB) | Área m <sup>2</sup> | Volume m <sup>3</sup> | Tempo de reverberação de referência (seg.) | D <sub>2m,nT,w</sub> estimado (dB) |
|----------------------------|------------|---------|------------------|---------|----------------|---------------------|-----------------------|--|------------------------------------|
|                            | %          | Rw (dB) | %                | Rw (dB) |                |                     |                       |  |                                    |
| quarto 1, parede dupla (1) | 90.0       | 44.9    | 10.0             | 28.0    | 37.3           | 5.0                 | 10.00                 | 0.50                                       | 35.1                               |

Observações: (1) Verifica: Decreto-Lei nº96/2008. Artigo 5º-1 a-i: Zonas mistas ou em zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído. - Não foi possível contabilizar o efeito da caixa de ar ao aplicar a lei da massa

### II - ENTRE UM FOGO E QUARTOS OU ZONAS DE ESTAR DE OUTRO FOGO (COMP. PRINCIPAIS)

| Descrição                  | Elementos de separação vertical |            |         |                  |         |            |         |                |              |                     |                       |  | Valor Reg. D <sub>nT,w</sub> (dB) |                               |
|----------------------------|---------------------------------|------------|---------|------------------|---------|------------|---------|----------------|--------------|---------------------|-----------------------|--|-----------------------------------|-------------------------------|
|                            | Massa (kg/m <sup>2</sup> )      | Área opaca |         | Área envidraçada |         | Área porta |         | Rw Global (dB) | TRaéreo (dB) | Área m <sup>2</sup> | Volume m <sup>3</sup> | Tempo de reverberação de referência (seg.) |                                   | D <sub>nT,w</sub> estim. (dB) |
|                            |                                 | %          | Rw (dB) | %                | Rw (dB) | %          | Rw (dB) |                |              |                     |                       |  |                                   |                               |
| quarto 1, parede dupla (1) | 600.0                           | 100.0      | 55.2    | 0.0              | 0.0     | 0.0        | 0.0     | 55.2           | 0.0          | 10.0                | 10.00                 | 0.50                                       | 50.2                              | >= 50                         |

Figura 3.45 - Interface do Cypevac com um exemplo das tabelas de cálculo.

### 3.3 LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

A existência de regulamentação acústica serve para uniformizar os padrões de medição de desconforto que as pessoas sentem devido ao ruído ambiente e ao ruído criado no interior do edifício. Desta forma, irão ser estabelecidos valores limites e exigências regulamentares.

Atualmente, a legislação em vigor que regula o condicionamento acústico dos edifícios de habitação é a seguinte:

- Decreto-Lei nº 09/2007, de 17 de janeiro, corrigido pela declaração de retificação nº 18/2007, denominado por Regulamento Geral do Ruído (RGR);
- Decreto-Lei nº 96/2008, de 09 de junho, denominado por Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE).

Para complementar os regulamentos no que diz respeito aos ensaios acústicos são utilizadas as normas ISO 3382-1, ISO 3382-2 e a NP ISO 1996.

Resumidamente, o Regulamento Geral do Ruído (RGR) estabelece medidas para a prevenção e o controlo da poluição sonora, enquanto que o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) está diretamente ligado ao Projeto de Condicionamento Acústico. Estes dois regulamentos controlam vários critérios de comportamento acústico, tais como:

- Emissão ruidosa para o exterior (ruído proveniente do funcionamento do próprio edifício, como por exemplo ruído de equipamentos);
- Propriedades dos elementos construtivos (nível de isolamento sonoro de um dado elemento);
- Características dos espaços interiores (correções acústicas ao nível do tempo de reverberação).

### 3.3.1 Regulamento Geral Do Ruído – RGR

O Regulamento Geral do Ruído tem como objeto a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações. Aplica-se às atividades ruidosas permanentes, temporárias e a outras fontes de ruído suscetíveis de causar incomodidade.

Este regulamento estabelece um conjunto de definições que se transcrevem de seguida:

- **Atividade Ruidosa Permanente:** a atividade desenvolvida com carácter permanente, ainda que sazonal, que produza ruído nocivo ou incomodativo para quem habite ou permaneça em locais onde se fazem sentir os efeitos dessa fonte de ruído, designadamente laboração de estabelecimentos industriais, comerciais e de serviços;
- **Atividade Ruidosa Temporária:** a atividade que, não constituindo um ato isolado, tenha carácter não permanente e que produza ruído nocivo ou incomodativo para quem habite ou permaneça em locais onde se fazem sentir os efeitos dessa fonte de ruído, tais como, obras de construção civil, competições desportivas, espetáculos festas ou outros divertimentos, feiras e mercados;
- **Ruído de vizinhança:** o ruído associado ao uso habitacional e às atividades que lhe são inerentes, produzido diretamente por alguém ou por intermédio de outrem, por coisa à sua guarda ou animal que, pela sua duração, repetição ou intensidade, seja suscetível de afetar a tranquilidade da vizinhança;
- **Ruído ambiente:** o ruído global observado numa dada circunstância num determinado instante, devido ao conjunto das fontes sonoras que fazem parte da vizinhança próxima ou longínqua do local considerado;
- **Ruído particular:** o componente do ruído ambiente que pode ser especificamente identificada por meios acústicos e atribuída a uma determinada fonte sonora;
- **Ruído residual:** o ruído ambiente a que se suprimem um ou mais ruídos particulares, para uma situação determinada;
- **Indicador de ruído:** o parâmetro físico-matemático para a descrição do ruído ambiente que tenha uma relação com um efeito prejudicial na saúde ou no bem-estar humano;
- **Indicador de ruído diurno-entardecer-noturno (Lden):** o indicador de ruído, expresso em dB(A), associado ao incómodo global, dado pela expressão:

$$L_{den} = 10 \log \frac{1}{24} \left[ 13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right] \quad (3.35)$$

Em que  $L_d$  corresponde ao indicador de ruído diurno,  $L_e$  ao indicador de ruído do entardecer e o  $L_n$  ao indicador de ruído noturno.

- **Mapa de ruído:** o descritor do ruído ambiente exterior, expresso pelos indicadores  $L_{den}$  e  $L_n$ , traçado em documento onde se representam as isófonas e as áreas por elas delimitadas às quais corresponde uma determinada classe de valores expressos em dB(A);
- **Período de referência:** o intervalo de tempo a que se refere um indicador de ruído, de modo a abranger as atividades humanas típicas, delimitado nos seguintes termos:
  - i) Período diurno — das 7 às 20 horas;
  - ii) Período do entardecer — das 20 às 23 horas;
  - iii) Período noturnos — das 23 às 7 horas.
- **Zona mista:** a área definida em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja afeta a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível;
- **Zona sensível:** a área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período noturno;
- **Zona urbana consolidada:** a zona sensível ou mista com ocupação estável em termos de edificação.

As Câmaras Municipais têm o dever de estabelecer nos planos municipais a classificação, delimitação e disciplina das zonas sensíveis e mistas.

Em função da classificação de uma zona como mista ou sensível, devem ser respeitados os seguintes valores limite de exposição:

| Zonas   | $L_n$ (dB) | $L_{den}$ (dB) |
|---|------------|----------------|
| Zonas Mistas  | $\leq 55$  | $\leq 65$      |
| Zonas Sensíveis   | $\leq 45$  | $\leq 55$      |
| Zonas sensíveis em cuja proximidade já exista em exploração uma grande infra-estrutura de transporte ou esteja projetada uma grande infra-estrutura de transporte aéreo | $\leq 55$  | $\leq 65$      |
| Zonas sensíveis em cuja proximidade esteja projetada uma grande infra-estrutura de transporte não aéreo   | $\leq 50$  | $\leq 60$      |

Tabela 3.11 - Valores limite de exposição.

No caso de se tratarem de recetores sensíveis isolados não integrados em zonas classificadas (o que pode acontecer no projeto de condicionamento acústico de um edifício), são equiparados, em função dos usos existentes na sua proximidade, a zonas sensíveis ou mistas. Até à sua classificação, aplicam-se aos recetores sensíveis os valores limite de  $L_{den} \leq 63\text{dB(A)}$  e  $L_n \leq 53\text{dB(A)}$ .

Este regulamento, estabelece ainda que a utilização ou alteração da utilização de edifícios e suas frações está sujeita à verificação do cumprimento do projeto acústico a efetuar pela CM, no âmbito do respetivo procedimento de licença ou autorização da utilização, podendo a CM exigir a realização de ensaios acústicos.

### 3.3.2 Regulamento Dos Requisitos Acústicos Dos Edifícios – RRAE

O Regulamento Geral do Ruído, Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, refere no seu artigo 12º que os requisitos acústicos dos edifícios são fixados nas disposições legais e regulamentares aplicáveis, ou seja, no Decreto-Lei nº 96/2008, de 9 de Junho - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE).

Este documento procedeu à revisão do Decreto-Lei nº 129/2002, de 11 de Maio (RRAE), e resultou nas seguintes alterações:

- Compatibilização com as exigências do RGR;
- Atualização dos parâmetros de desempenho acústico e dos indicadores de ruído de equipamentos e instalações;
- Alargou o âmbito de aplicação passando a incluir as unidades hoteleiras, os auditórios, as salas de espetáculos e os cinemas;
- Desagravou as exigências de isolamento sonoro dos espaços interiores em edifícios situados em zonas históricas.

O presente Regulamento estabelece os requisitos acústicos dos edifícios, com vista a melhorar as condições de qualidade acústica desses edifícios.

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

- Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras (art.5º);
- Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais (art.6º);
- Edifícios escolares e similares, e de investigação (art.7º);
- Edifícios hospitalares e similares (art.8º);
- Recintos desportivos (art.9º);
- Estações de transporte de passageiros (art.10º);
- Auditórios e salas (art.10º-A)

Este regulamento apresenta algumas definições, tais como;

- **Tempo de reverberação, T:** intervalo de tempo necessário para que a energia volúmica do campo sonoro de um recinto fechado se reduza a um milionésimo do seu valor inicial;
- **Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado,  $D_{2m,nT}$ :** diferença entre o nível médio de pressão sonora exterior, medido a 2m da fachada do edifício ( $L_{1,2m}$ ), e o nível médio de pressão sonora medido no local de receção ( $L_2$ ), corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor, segundo a expressão;

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \text{ Log } (T_2/T_0) \text{ [dB]} \quad (3.36)$$

em que,

$T_2$  – é o tempo de reverberação do compartimento recetor, em segundos, e

$T_0$  – é o tempo de reverberação de referência, em segundos; para compartimentos de habitação ou com dimensões comparáveis,  $T_0 = 0,5s$  (...);

- **Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado,  $DnT$ :** diferença entre o nível médio de pressão sonora medido no compartimento emissor ( $L_1$ ) produzido por uma ou mais fontes sonoras, e o nível médio de pressão sonora medido no compartimento recetor ( $L_2$ ), corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor, segundo a expressão:

$$DnT = L_1 - L_2 + 10 \text{ Log}(T/T_0) \text{ dB} \quad (3.37)$$

- **Nível sonoro de percussão padronizado,  $L'nT$ :** nível sonoro médio ( $L_i$ ) medido no compartimento recetor, proveniente de uma excitação de percussão normalizada exercida sobre um pavimento, corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor, segundo a expressão:

$$L'nT = L_i - 10 \text{ Log}(T/T_0) \text{ dB} \quad (3.38)$$

- **Nível de avaliação padronizado,  $LAr,nT$ :** o nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, durante um intervalo de tempo especificado, adicionado da correção devida às características tonais do ruído,  $K$ , e corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor, segundo a expressão:

$$LAr, nT = LA + K - 10 \text{ Log}(T/T_0) \text{ dB} \quad (3.39)$$

- **Termo de adaptação, C ou Ctr:** correção definida na EN ISO 717-1, função das características espectrais do ruído na emissão, a anexar ao índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea.

Os edifícios e as suas frações que se destinem a usos habitacionais ou que, para além daquele uso, se destinem também a comércio, indústria, serviços ou diversão, estão sujeitos ao cumprimento dos seguintes requisitos acústicos:

| $D_{2m,nT,w}$  | Zonas Sensíveis | Zonas Mistas |
|--|-----------------|--------------|
| Isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos. | $\geq 28$ dB    | $\geq 33$ dB |

Tabela 3.12 - Exigências regulamentares -  $D_{2m,nT,w}$

Se os valores limite de exposição para zonas sensíveis e mistas, forem excedidos em não mais de 5 dB(A) deve ser considerado um acréscimo isolamento sonoro a sons aéreos para o exterior de quartos e zonas de estar de 3 dB.

Quando a área translúcida for superior a 60% do elemento de fachada em análise, deve ser adicionado ao índice  $D_{2m,nT,w}$  um termo de adaptação C ou Ctr, conforme o tipo de ruído dominante na emissão, mantendo-se os limites da tabela acima.

|              |  |
|--------------|--|
| $D_{nT,w}$   | Isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos de um fogo e quartos ou zonas de estar de outro fogo |
| $\geq 50$ dB | Entre compartimentos de um fogo (emissor) e quartos ou zonas de estar de outro fogo                                  |
| $\geq 48$ dB | Entre locais de circulação comum (emissor) e quartos ou zonas de estar de outro fogo                                 |
| $\geq 40$ dB | Quando o local emissor for um caminho de circulação vertical, e o edifício seja servido por ascensores               |
| $\geq 50$ dB | Quando o local emissor for uma garagem automóvel   |
| $\geq 58$ dB | Entre locais destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão (emissor) e quartos ou zonas de estar de fogos   |

Tabela 3.13 - Exigências regulamentares -  $D_{nT,w}$

|              |  |
|--------------|--|
| $L'_{nT,w}$  | Isolamento sonoro a sons de percussão entre compartimentos de um fogo e quartos ou zonas de estar de outro fogo    |
| $\leq 60$ dB | Entre compartimentos de um fogo (emissor) e quartos ou zonas de estar de outro fogo                                |
| $\leq 60$ dB | Entre locais de circulação comum (emissor) e quartos ou zonas de estar de outro fogo                               |
| $\leq 50$ dB | Entre locais destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão (emissor) e quartos ou zonas de estar de fogos |

Tabela 3.14 - Exigências regulamentares –  $L'_{nT,w}$ 

|                  |   |
|------------------|---|
| $L_{Ar,nT}$      | Nível de avaliação do ruído particular de equipamentos coletivos do edifício no interior de quartos ou zonas de estar |
| $\leq 32$ dB (A) | Se o funcionamento do equipamento for intermitente  |
| $\leq 27$ dB (A) | Se o funcionamento do equipamento for contínuo  |
| $\leq 40$ dB (A) | Se o equipamento for um grupo gerador elétrico de emergência  |

Tabela 3.15 - Exigências regulamentares –  $L_{Ar,nT}$ 

Aos edifícios situados em zonas históricas que sejam objeto de ações de reabilitação, mantendo uma das vocações de uso previstas no presente artigo e a mesma identidade patrimonial, podem aplicar-se os requisitos constantes nas tabelas 3.14 e 3.15, com uma tolerância de 3dB.



## **4 ESTUDO DE CASO – AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO**

### **4.1 EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO UNIFAMILIAR – CEDOFEITA**

#### **4.1.1 Descrição do edifício**

O presente estudo refere-se à verificação dos requisitos acústicos da reabilitação de um edifício de habitação unifamiliar geminado com 3 frentes, localizado em Cedofeita, no Porto. Esta moradia irá ser composta por quatro pisos destinados à habitação e apresentará a seguinte distribuição de espaços interiores:

- Cave: arrumos;
- Piso 0: Sala de estar, jantar e cozinha;
- Piso 1: Quarto 1 e instalação sanitária;
- Piso 2: Quarto 2.

A intervenção no edifício tem como objetivo dotá-lo de todas as condições de qualidade e conforto à sua habitabilidade, recuperando deste modo parte da construção existente. Trata-se de um edifício em alvenaria de pedra, que irá sofrer alterações na sua estrutura através da introdução de lajes aligeiradas nos diferentes pisos e ampliação em altura para dotá-lo de um piso 2, ou seja, uma parte do edifício irá sofrer uma ampliação, enquanto o restante será reabilitado.

Na reabilitação as paredes em alvenaria de pedra serão recuperadas e prevê-se a aplicação pelo interior de isolamento térmico em poliestireno extrudido de 60mm, revestido no interior por placa de gesso cartonado com 13mm. A ampliação será dotada de paredes exteriores em alvenaria de bloco térmico revestido por um sistema do tipo “ETICS – External Thermal Isolation Composite System”.

As caixilharias serão em madeira, com vidro duplo e aberturas do tipo oscilo-batente.

Não estão previstos equipamentos ruidosos para o exterior, enquanto que no interior do edifício prevê-se os equipamentos individuais de ventilação da cozinha e instalações sanitárias.

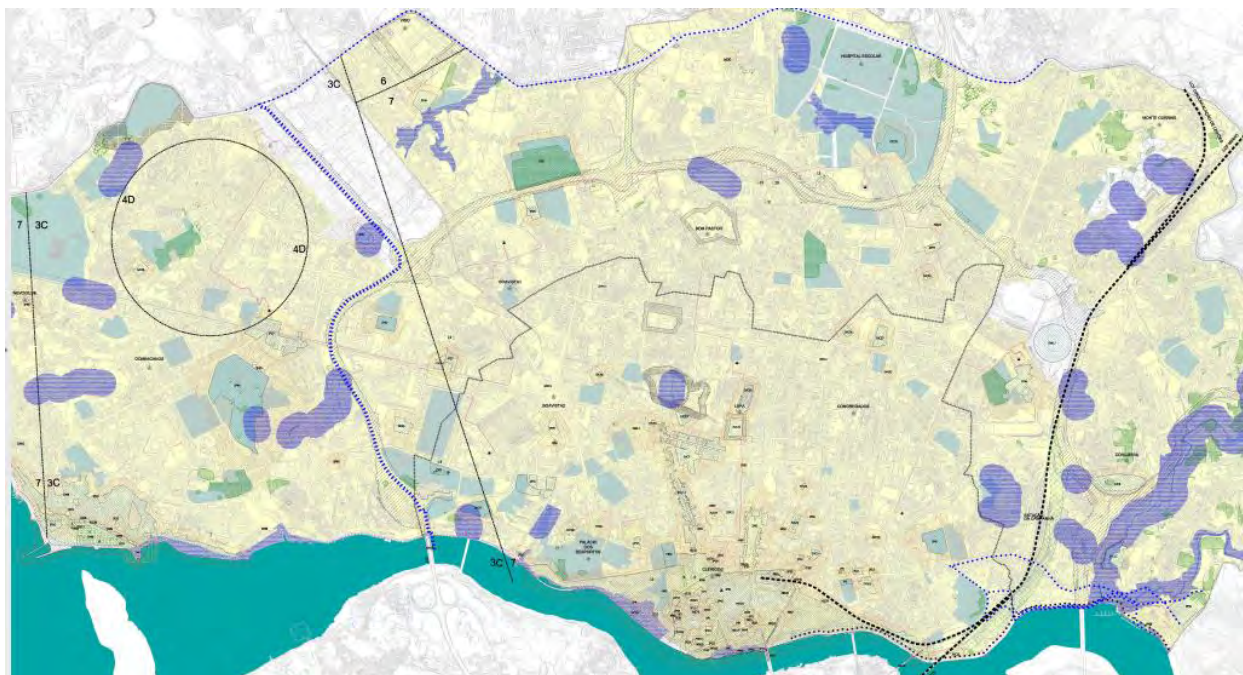


Figura 4.1 - Amostra da planta de condicionantes do PDM da CMP publicada em diário da república.

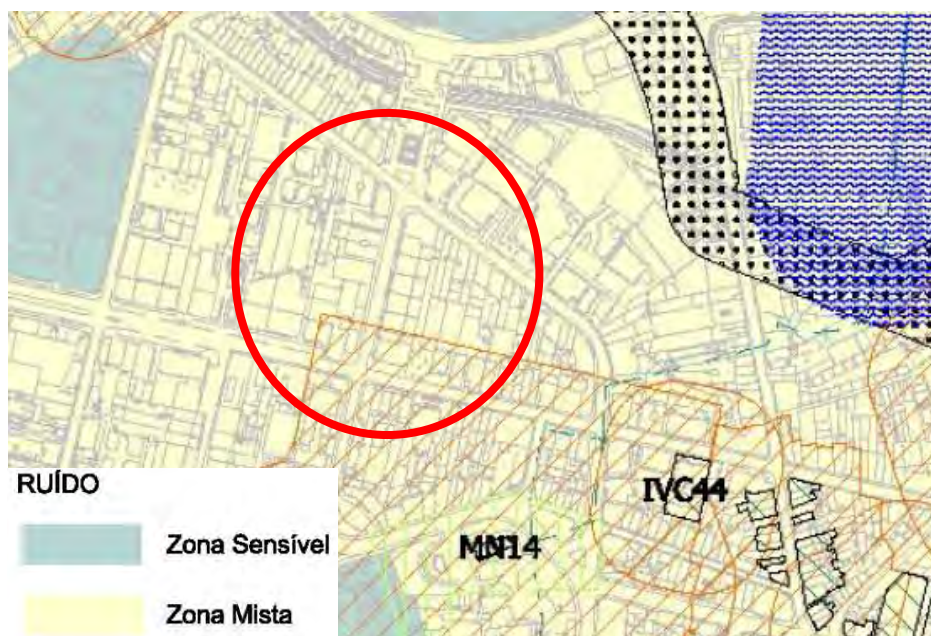


Figura 4.2 - Planta de condicionantes: Zonamento acústico com localização da zona de Cedofeita.

A planta de condicionantes do Plano Diretor Municipal da cidade do Porto delimita as zonas classificadas como mistas ou sensíveis. Através da figura anterior verifica-se que o edifício em estudo localizado na zona de Cedofeita, situa-se numa zona classificada como mista.

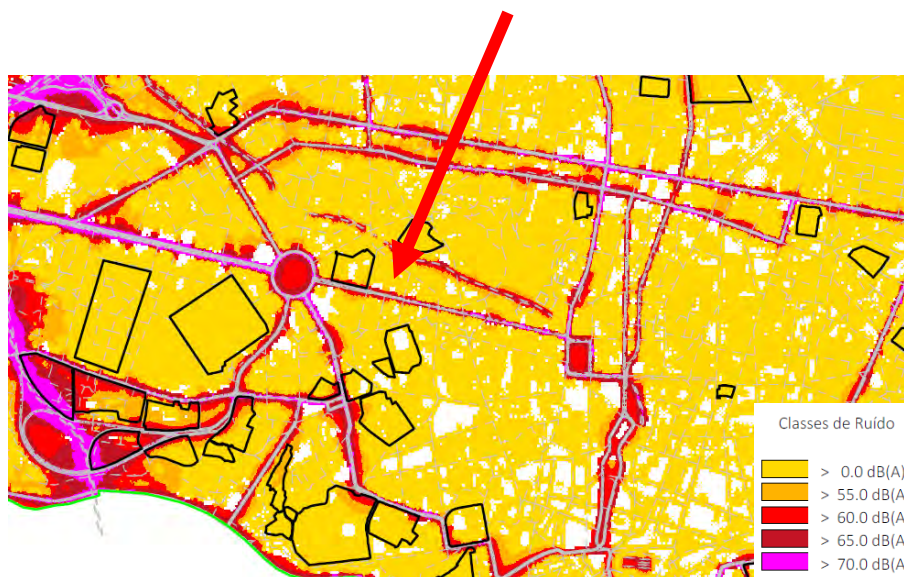


Figura 4.3 - Mapa do ruído da cidade do Porto para o período diurno-entardecer-noturno, com a indicação da zona em estudo (indicador Lden)



Figura 4.4 - Mapa do ruído da cidade do Porto para o período noturno, com a indicação da zona em estudo (indicador Ln)

Através dos mapas de ruído das figuras anteriores, verifica-se que a habitação não se encontra numa zona sobre-exposta, ou seja, uma zona que não ultrapassa o limite estabelecido no regulamento geral do ruído, que corresponde ao indicador  $L_{den} \leq 65$  dB e  $L_n \leq 55$  dB, em zonas classificadas como mistas. Por isso, não é necessário aplicar nenhum coeficiente de sobre-exposição aos valores limites.

De acordo com Decreto-lei 129/2002, republicado pelo Decreto-lei 96/2008, designadamente no artigo 1º, este edifício deverá respeitar as disposições legais respeitantes a edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras.

As distribuições dos espaços interiores encontram-se nas plantas de arquitetura que são apresentadas de seguida.

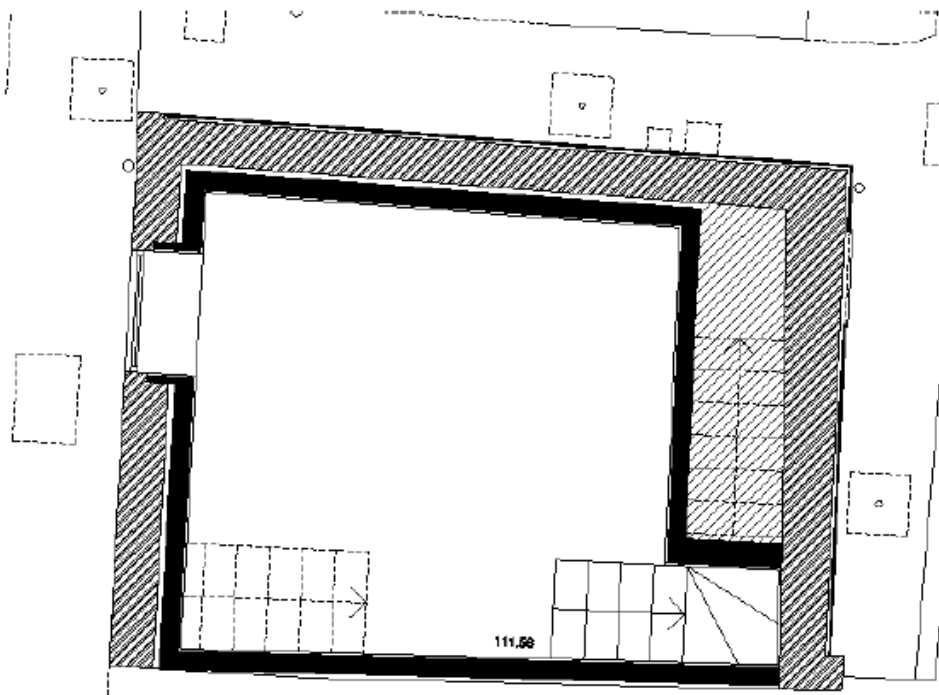


Figura 4.5 - Planta do edifício Cedofeita: Cave

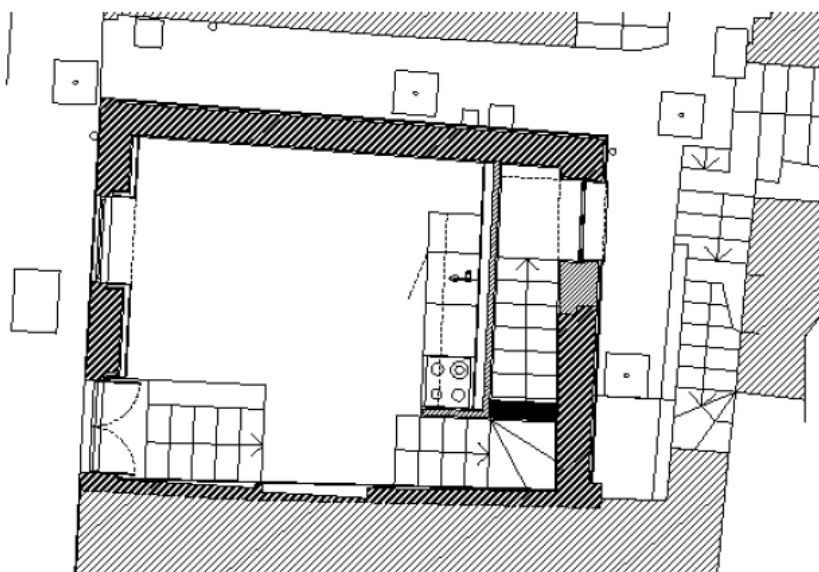


Figura 4.6 - Planta do edifício Cedofeita: Piso 0

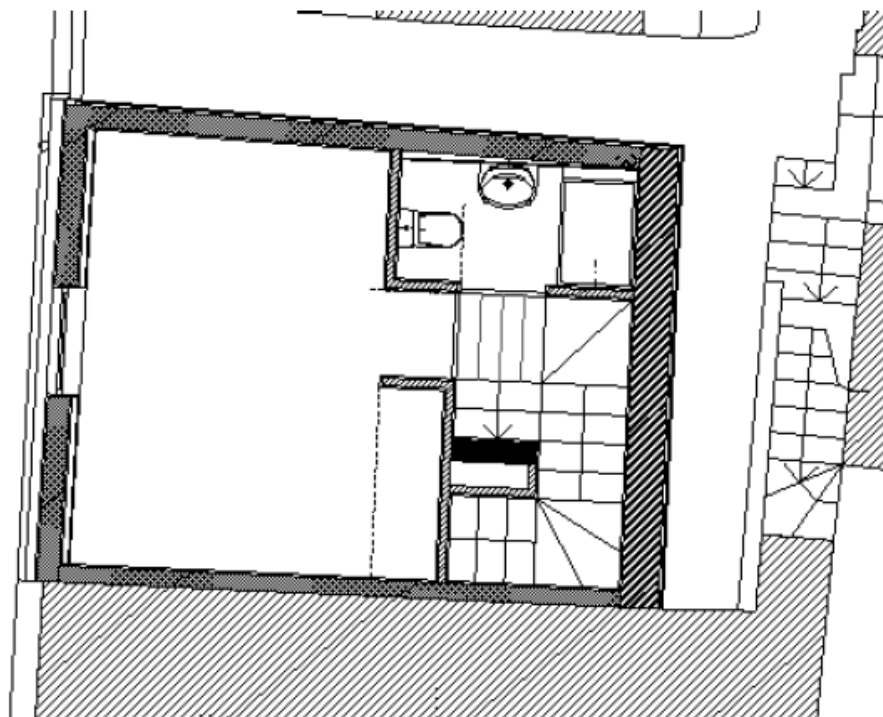


Figura 4.7 - Planta do edifício Cedofeita: Piso 1

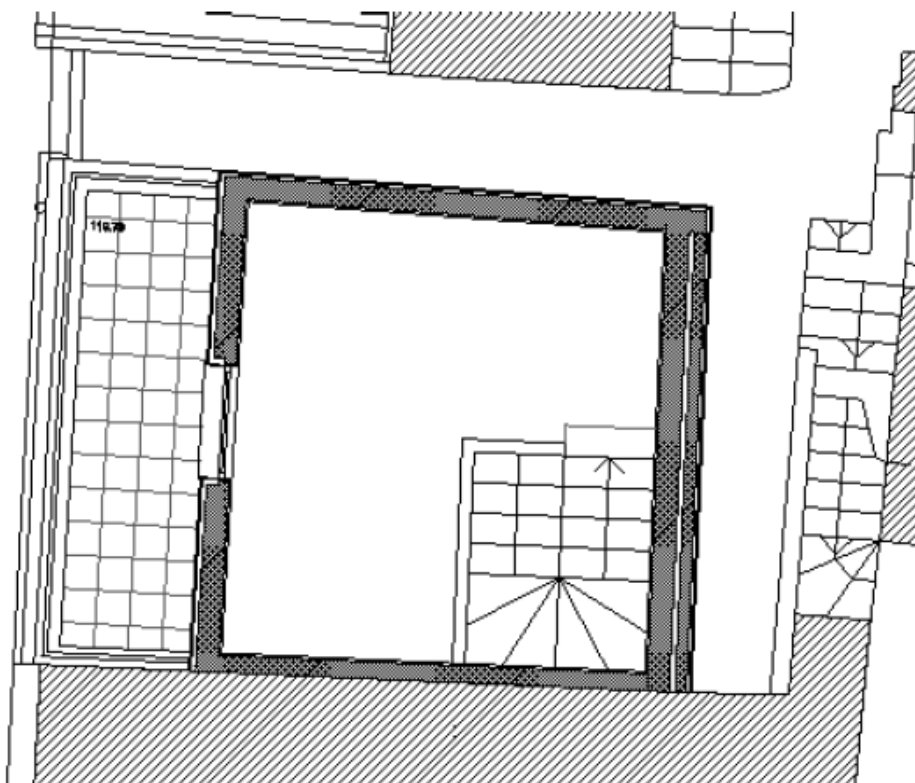


Figura 4.8 - Planta do edifício Cedofeita: Piso 2

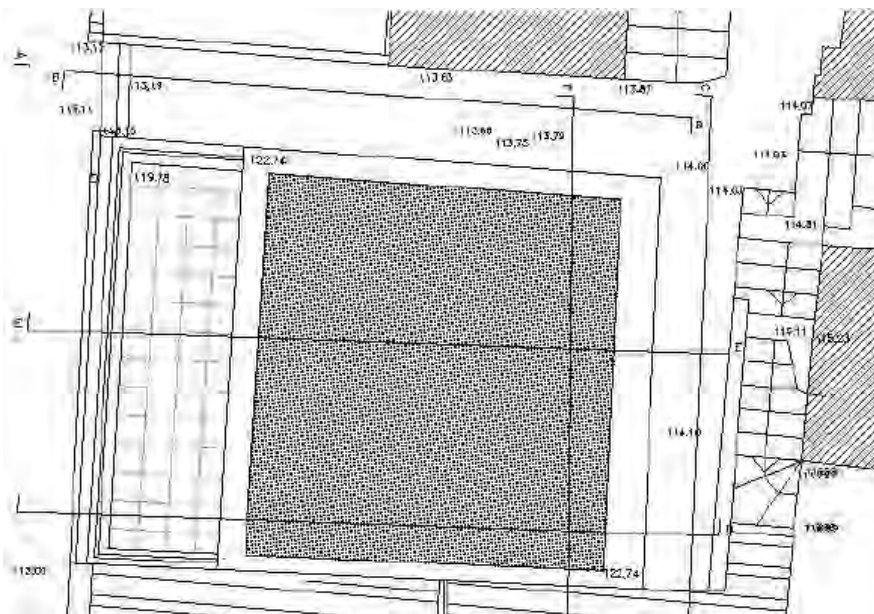


Figura 4.9 - Planta do edifício Cedofeita: Cobertura

#### 4.1.2 Critérios exigenciais aplicáveis

Como se trata de um edifício de habitação unifamiliar geminado, no que diz respeito a critérios regulamentares, só é necessário verificar a parede exterior e a parede de meação. É suficiente que esta verificação seja feita apenas para um compartimento recetor, o mais desfavorável que apresentará a maior área de envidraçados ou então um menor volume. Resta assegurar o ruído produzido pelos equipamentos instalados na habitação.

|  |              |
|--|--------------|
| $D_{2m,nT,w}$ entre o exterior e quartos ou zonas de estar |              |
| Zonas mistas   | $\geq 33$ dB |

|   |              |
|---|--------------|
| $D_{nT,w}$ entre quartos ou zonas de estar de um fogo (recepção) e: |              |
| Quartos ou zonas de estar de outro fogo (emissão)                   | $\geq 50$ dB |

|  |              |
|--|--------------|
| $L_{Ar,nT}$ no interior de quartos ou zonas de estar         |              |
| Se o funcionamento do equipamento for intermitente           | $\leq 32$ dB |
| Se o funcionamento do equipamento for contínuo               | $\leq 27$ dB |
| Se o equipamento foi um grupo gerador elétrico de emergência | $\leq 40$ dB |

Tabela 4.1 - Critérios exigenciais aplicáveis para a habitação de Cedofeita

Note-se que a exigência relativa ao ruído de equipamentos é, em geral, aplicada no caso de edifícios de habitação multifamiliar que apresentam dispositivos mecânicos de uso coletivo.

#### 4.1.3 Estimativa do isolamento sonoro a sons aéreos

##### 4.1.3.1 Paredes exteriores

A estimativa do isolamento sonoro a sons aéreos entre o exterior e quartos ou zonas de estar no interior, será feita para a pior situação, ou seja, a parede de fachada voltada a rua. Por sua vez, serão estudados dois compartimentos distintos, o quarto 1, com uma parede de fachada constituída por alvenaria de pedra, e o quarto 2, em que a parede de fachada será constituída por alvenaria de tijolo cerâmico.

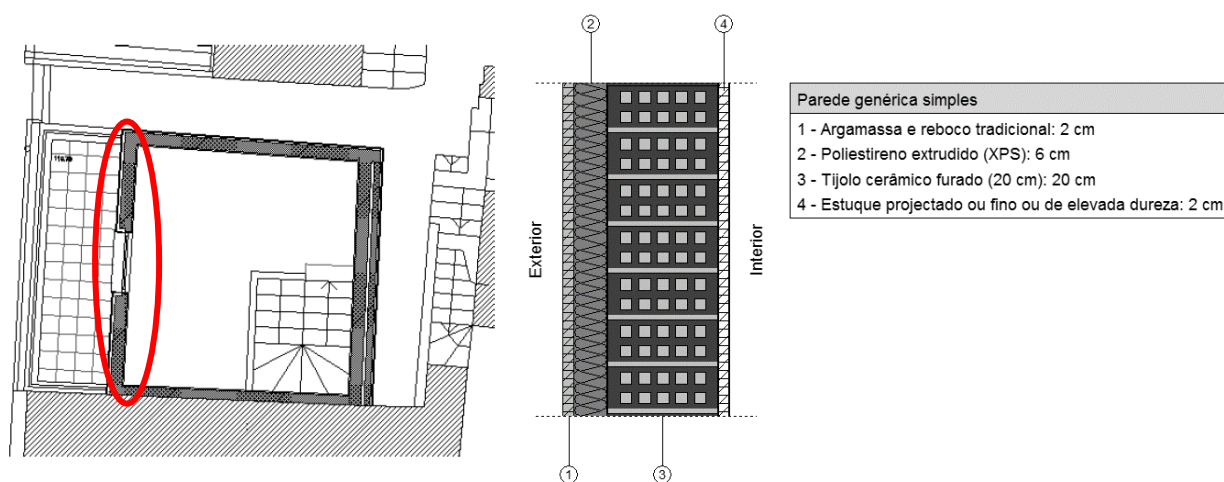


Figura 4.10 - Identificação e pormenor construtivo da parede Pe1.

| Parede exterior em alvenaria de pedra (Pe1) – Quarto 2 |                |                            |
|--|----------------|----------------------------|
| Constituição   | Espessura (cm) | Massa (Kg/m <sup>2</sup> ) |
| Reboco   | 2 cm           | 40                         |
| Poliestireno extrudido XPS                             | 6 cm           | -                          |
| Tijolo cerâmico furado                                 | 20 cm          | 145,6                      |
| Gesso projetado  | 2 cm           | 20                         |
| Total  | 30 cm          | 205,6                      |
| Rw   | 45 dB          |                            |

Tabela 4.2 - Cálculo do Rw, segundo a lei da massa, da parede Pe1.

O valor do  $R_w$  pode ser obtido a partir de seguinte expressão, corresponde à lei da massa teórica:

$$R_w = 40 \log(m) - 45 \text{ dB} \Rightarrow 40 \log(205,6) - 45 = 45 \text{ dB}$$

FOLHA DE CÁLCULO PARA PAREDES SIMPLES - Modelo de Ben Sharp

Dados Relativos aos panos de parede - Parede de blocos de cimento térmico de 19cm

|                                      |  | Parede Simples |                   |
|--------------------------------------|--|----------------|-------------------|
| massa superficial - m                |  | 172,33         | Kg/m <sup>2</sup> |
| velo. Prop. Ondas longitudinais - Cl |  | 2750           | m/s               |
| espessura dos panos de parede - e    |  | 0,19           | m                 |
| Factor de amortecimento interno - η  |  | 0,015          | -                 |
| velocidade de prop. ondas no ar - c  |  | 343            | m/s               |

Dados da escala das abscissas

|          |     |    |
|----------|-----|----|
| Base     | 8,3 | cm |
| d oitava | 2,5 | cm |

Determinação dos Pontos Notáveis

|                                  |       |    |
|----------------------------------|-------|----|
| 1/2 x frequência crítica - 0,5fc | 62,5  | Hz |
| frequência crítica - fc          | 125,1 | Hz |

Valor de x em escala line

|                                  | frequência | valor de x | R    |
|----------------------------------|------------|------------|------|
| 1/2 x frequência crítica - 0,5fc | 62,5       | 6,6        | 32,7 |
| frequência crítica - fc          | 125,1      | 9,1        | 23,4 |
|                                  | (Hz)       | (cm)       | (dB) |

| Interpolação dos valores para as gamas de frequência |    |                  |    |              |    | R <sub>w</sub> |    |
|--|----|------------------|----|--------------|----|----------------|----|
| Frequência   |    | Escala linear xx |    | Interpolação |    | 43             | dB |
| 125  | Hz | 9,1              | cm | 23           | dB |                |    |
| 250  | Hz | 11,6             | cm | 32           | dB |                |    |
| 500  | Hz | 14,1             | cm | 41           | dB |                |    |
| 1000   | Hz | 16,6             | cm | 50           | dB |                |    |
| 2000   | Hz | 19,1             | cm | 59           | dB |                |    |

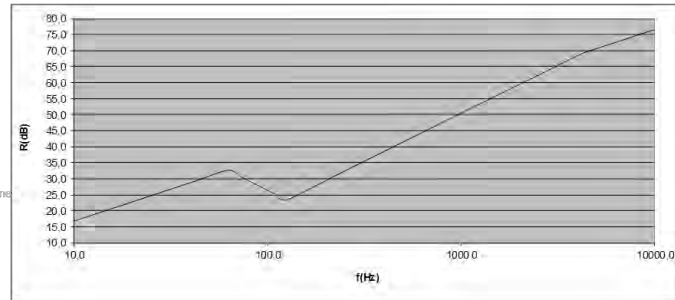


Figura 4.11 - Cálculo do  $R_w$ , segundo o modelo de Sharp, da parede Pe1 [Figura fornecida pela empresa].

A marcação dos pontos A e B do gráfico é feita segundo os seguintes cálculos:

$$f_c = \frac{c^2}{1,8 \times Cl \times e} = \frac{343^2}{1,8 \times 2750 \times 0,19} = 125,1$$

$$0,5 \times f_c = 0,5 \times 125,1 = 62,5$$

$$R_A = 20 \log(fc \times m) - 54 = 20 \log(125,1 \times 172,3) - 54 = 32,7$$

$$R_B = 20 \log(fc \times m) + 10 \log(n) - 45 = 10 \log(125,1 \times 172,3) + 10 \log(0,015) - 45 = 23,4$$

O valor de índice de redução sonora,  $R_w$ , da parede será o valor do parâmetro R correspondente à frequência dos 500 Hz.

| Método                            | R <sub>w</sub> |
|-----------------------------------|----------------|
| Lei da massa teórica              | 45 dB          |
| Modelo de Sharp (Paredes simples) | 43 dB          |
| Programa Cypevac                  | 46 dB          |

Tabela 4.3 - Cálculo do  $R_w$ , através de diferentes modelos, da parede Pe1.

Para o cálculo do índice de redução sonora da parede exterior simples, recorreu-se a três métodos, a lei da massa teórica e o modelo de Sharp - fornecido pela empresa de acolhimento – e o programa automático Cypevac. Os resultados obtidos foram semelhantes, pelo que se considerou uma média dos três no índice de redução sonora da parede opaca. A influência do poliestireno extrudido foi desprezada no cálculo, dada o seu fraco desempenho acústico. Os envidraçados serão dimensionados no presente documento, aquando do preenchimento da tabela seguinte.

$$\tau_{conjunto} = \frac{10^{\frac{-Rw}{10}} \times S1 + 10^{\frac{-Rw}{10}} \times S2}{S1 + S2} = \frac{10^{\frac{-44}{10}} \times 7,4 + 10^{\frac{-27}{10}} \times 2,2}{7,4 + 2,2} = 4,88E - 04$$

$$Rw_{conjunto} = 10 \times \log\left(\frac{1}{\tau_{conjunto}}\right) = 10 \times \log\left(\frac{1}{4,88E - 04}\right) = 33,1 \text{ dB}$$

$$D_{2m,nT,w} = Rw + 10 \log\left(\frac{0,16 \times V}{T_0 \times S}\right) = 33,1 + 10 \log\left(\frac{0,16 \times 27,4}{0,5 \times 9,6}\right) = 33 \text{ dB}$$

| Compartimento | V<br>(m <sup>3</sup> ) | Área opaca |                     | Área envidraçada |                     | $\tau_{conjunto}$ | Rw conjunto | A <sub>total</sub> (m <sup>2</sup> ) | % env. | D <sub>2m,nT,w</sub> | Limite regul. |
|---------------|------------------------|------------|---------------------|------------------|---------------------|-------------------|-------------|--------------------------------------|--------|----------------------|---------------|
|               |                        | Rw         | A (m <sup>2</sup> ) | Rw               | A (m <sup>2</sup> ) |                   |             |                                      |        |                      |               |
| Quarto 2      | 27,4                   | 44         | 7,4                 | 27               | 2,2                 | 4,88E-04          | 33,1        | 9,6                                  | 23     | 33                   | ≥ 33 dB       |

Tabela 4.4 - Cálculo do D<sub>2m,nT,w</sub>, da parede Pe1.

Como a área de envidraçados é inferior a 60%, neste caso 23%, não é necessário aplicar o termo de adaptação C / Ctr correspondente.

Como se pode verificar pela tabela, para se cumprir a exigência regulamentar de 33 dB em zonas mistas, é necessário um sistema conjunto de caixilharia + vidro, que cumpra um valor de Rw ≥ 27 dB.

Após consulta em catálogo, propõe-se a utilização de um vidro duplo com espessuras diferentes, à semelhança das paredes duplas, com características iguais ou superiores a um envidraçado do tipo 6 + 12 + 4 com Rw ≥ 27 dB.

De seguida irá ser feito o cálculo do compartimento, quarto 1, com a parede exterior constituída por alvenaria de pedra.

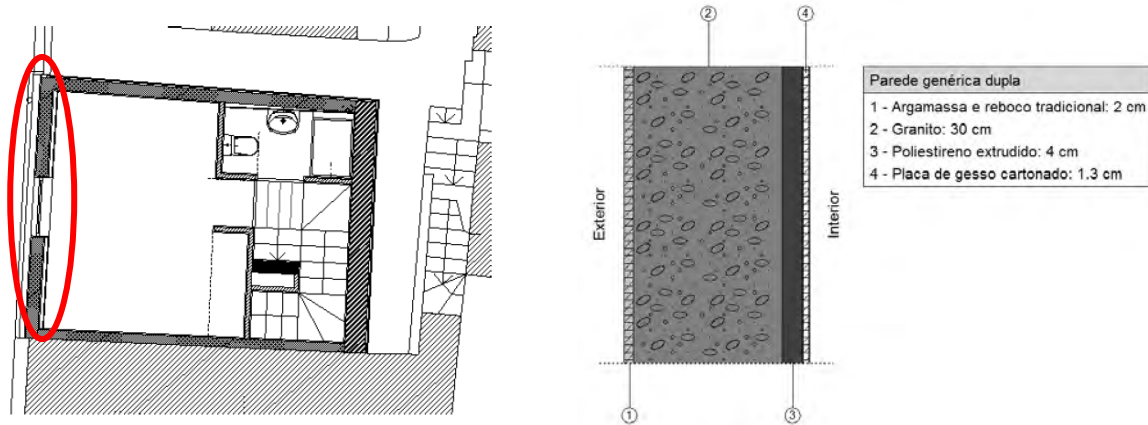


Figura 4.12 - Identificação e pormenor construtivo da parede Pe2.

| Parede exterior em alvenaria de pedra (Pe2) – Quarto 1 |                |               |
|--|----------------|---------------|
| Constituição   | Espessura (cm) | Massa (Kg/m2) |
| Reboco   | 2 cm           | 40            |
| Alvenaria de pedra                                     | 30 cm          | 780           |
| Poliestireno expandido extrudido xps                   | 4 cm           | -             |
| Placa de gesso cartonado                               | 1,3 cm         | 13            |
| Total  | 37,3 cm        | 833           |
| Rw   | 58 dB          |               |

Tabela 4.5 - Cálculo do Rw, segundo a lei da massa, da parede Pe2.

Neste caso, o cálculo do índice de redução sonora, Rw, será feito através do gráfico da lei das massas, visto que as fórmulas se tornam algo incertas em massas superficiais desta grandeza. Apresenta-se de seguida, um gráfico da lei das massas com a marcação dos valores correspondentes.

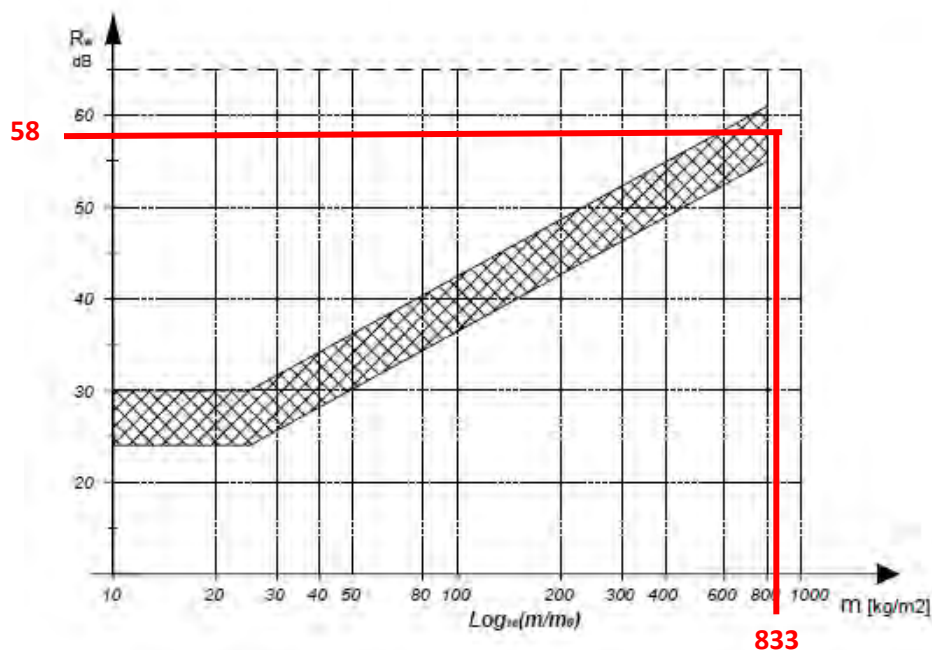


Figura 4.13 – Gráfico da lei das massas com a marcação do  $R_w$ , da parede Pe2.

| Método                             | $R_w$ |
|------------------------------------|-------|
| Lei da massa teórica               | 58 dB |
| Modelo de Meisser (Paredes duplas) | 57 dB |
| Programa Cypevac                   | 58 dB |

Tabela 4.6 - Cálculo do  $R_w$ , através de diferentes modelos, da parede Pe2.

$$\tau_{conjunto} = \frac{10^{-\frac{Rw}{10}} \times S1 + 10^{-\frac{Rw}{10}} \times S2}{S1 + S2} = \frac{10^{-\frac{57}{10}} \times 8,9 + 10^{-\frac{28}{10}} \times 2,6}{8,9 + 2,6} = 3,30E - 04$$

$$Rw_{conjunto} = 10 \times \log\left(\frac{1}{\tau_{conjunto}}\right) = 10 \times \log\left(\frac{1}{3,30E - 04}\right) = 34,8 \text{ dB}$$

$$D_{2m,nT,w} = Rw + 10 \log\left(\frac{0,16 \times V}{T_0 \times S}\right) = 33,1 + 10 \log\left(\frac{0,16 \times 26}{0,5 \times 11,5}\right) = 33 \text{ dB}$$

| Compartimento | V<br>(m <sup>3</sup> ) | Área opaca |                     | Área envidraçada |                     | τ <sub>conjunto</sub> | Rw<br>conjunto | A <sub>total</sub><br>(m <sup>2</sup> ) | %<br>env. | D <sub>2m,nT,w</sub> | Limite<br>regul. |
|---------------|------------------------|------------|---------------------|------------------|---------------------|-----------------------|----------------|---|-----------|----------------------|------------------|
|               |                        | Rw         | A (m <sup>2</sup> ) | Rw               | A (m <sup>2</sup> ) |                       |                |   |           |                      |                  |
| Quarto 1      | 26                     | 57         | 8,9                 | 28               | 2,6                 | 3,30E-04              | 34,8           | 11,5                                    | 22        | 33                   | ≥ 33 dB          |

Tabela 4.7 - Cálculo do D<sub>2m,nT,w</sub>, da parede Pe2.

Para se cumprir a exigência regulamentar de 33 dB em zonas mistas, é necessário um sistema conjunto de caixilharia + vidro, que cumpra um valor de  $R_w \geq 27$  dB. Propõe-se a utilização de um vidro duplo, com características iguais ou superiores a um envidraçado do tipo 6 + 12 + 4.

#### 4.1.3.2 Paredes de meação

Esta habitação tem uma parede de meação com outra habitação adjacente, pelo que o seu  $D_{nT,w} \geq 50$  dB. A parede de meação, tal como a de fachada é constituída por alvenaria de pedra até ao piso 0, e no piso 1 / 2 é composta por tijolo cerâmico furado. Neste estudo, apenas vai ser verificada a parede constituída por tijolo cerâmico, visto que em termos acústicos é mais desfavorável do que a alvenaria de pedra.

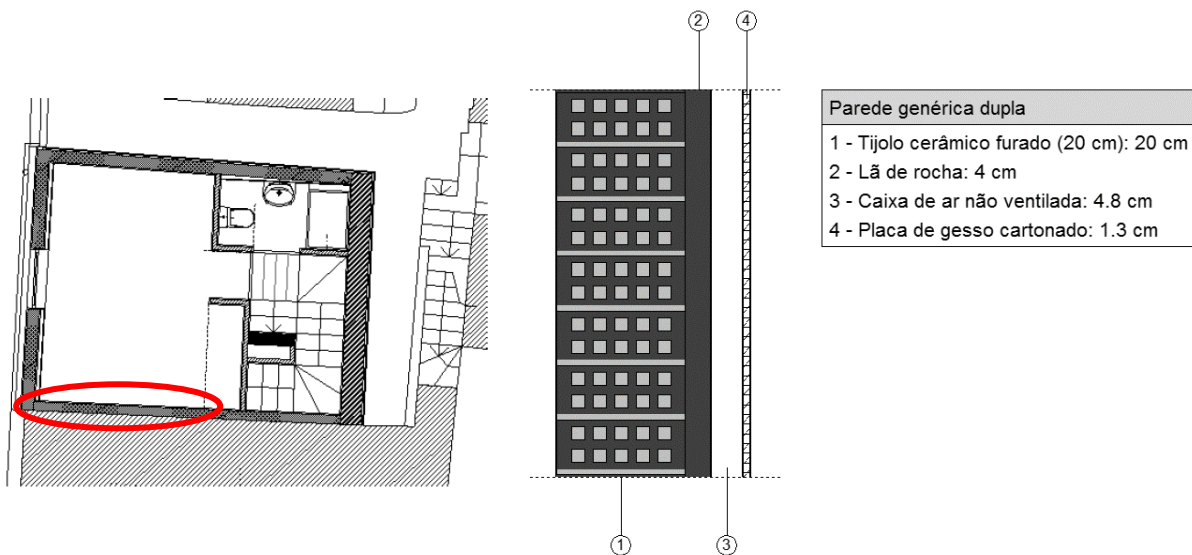


Figura 4.14 - Identificação e pormenor construtivo da parede Pm1.

| Parede de meiação em alvenaria de tijolo cerâmico furado (Pm1) – Quarto 1 |                                    |                            |
|---|------------------------------------|----------------------------|
| Constituição  | Espessura (cm)                     | Massa (Kg/m <sup>2</sup> ) |
| Tijolo cerâmico furado  | 20 cm                              | 145,6                      |
| Lã de rocha   | 4 cm                               | -                          |
| Caixa de ar   | 4,8 cm                             | -                          |
| Placa de gesso cartonado  | 1,3 cm                             | 13                         |
| Total   | 37,3 cm                            | 158,6                      |
| Rw  | 44 dB + 4 dB (lã de rocha) = 48 dB |                            |

Tabela 4.8 - Cálculo do Rw, segundo a lei da massa, da parede Pm1.

FOLHA DE CÁLCULO PARA PAREDES DUPLAS

P1 - parede de alvenaria de tijolo térmico de 19cm  
 P2 - parede em gesso cartonado de 13 mm  
 Isolamento com 4cm de lã mineral do tipo Alpharock-E 225 (ou equivalente)

|   | Pano 1 | Pano 2 |                   |
|---|--------|--------|-------------------|
| massa superficial - m                   | 172,33 | 9,75   | Kg/m <sup>2</sup> |
| velo Prop. Ondas longitudinais - Cl     | 2750   | 1750   | m/s               |
| espessura dos panos de parede - e       | 0,19   | 0,013  | m                 |
| Valor de D (tem a ver com o isolamento) | 5      |        | dB                |
| velocidade de prop. ondas no ar - c     | 343    |        | m/s               |

Dados da escala das abcissas

|          |     |    |
|----------|-----|----|
| Base     | 8,3 | cm |
| d oitava | 2,5 | cm |

Determinação dos Pontos Notáveis

|                                    |        |    |                             |      |    |
|------------------------------------|--------|----|-----------------------------|------|----|
| R_500 Hz                           | 48     | dB | x (500Hz)=                  | 14,1 | cm |
| freqüência ressonância - fr        | 97,8   | Hz | Valor de x em escala linear | 8,2  | cm |
| freqüência crítica pano 1 - f1     | 125,1  | Hz |                             | 9,1  | cm |
| freqüência crítica pano 2 - f2     | 2873,0 | Hz |                             | 20,4 | cm |
| freqüência ressonância cxa ar - fn | 2143,8 | Hz |                             | 19,3 | cm |

|                                    | freqüência | valor de x | R (6db/oit) | R corrigido |
|------------------------------------|------------|------------|-------------|-------------|
| ordenada para x=0                  | 10         | 0,0        | 15          |             |
| freqüência ressonância - fr        | 97,8       | 8,2        | 34          | 30          |
| freqüência crítica pano 1 - f1     | 125,1      | 9,1        | 36          | 31          |
| freqüência crítica pano 2 - f2     | 2873,0     | 20,4       | 64          | 59          |
| freqüência ressonância cxa ar - fn | 2143,8     | 19,3       | 61          | 60          |
|                                    | (Hz)       | (cm)       | (dB)        | (dB)        |

| Interpolação dos valores para as gamas de freqüência |    |                  |    |              |    |
|--|----|------------------|----|--------------|----|
| Freqüência   |    | Escala linear xx |    | Interpolação |    |
| 125  | Hz | 9,1              | cm | 31           | dB |
| 250  | Hz | 11,6             | cm | 41           | dB |
| 500  | Hz | 14,1             | cm | 50           | dB |
| 1000   | Hz | 16,6             | cm | 58           | dB |
| 2000   | Hz | 19,1             | cm | 61           | dB |

|    |    |    |
|----|----|----|
| 51 | Rw | dB |
|----|----|----|

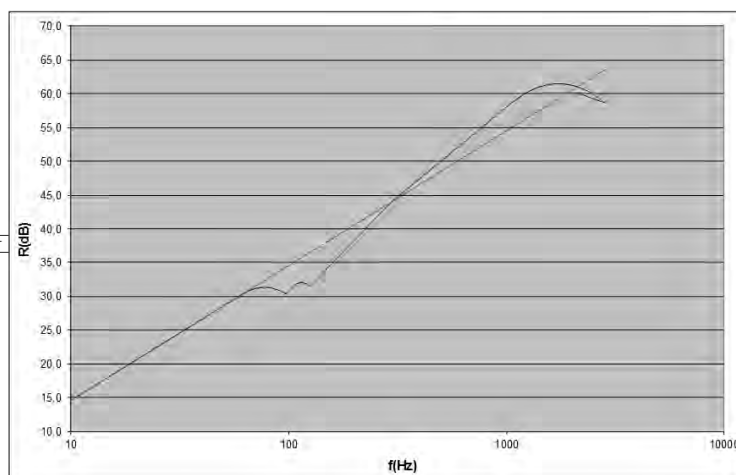


Figura 4.15 - Cálculo do Rw, segundo o modelo de Meisser, da parede Pm1 [figura fornecida pela empresa].

| Método                             | Rw    |
|------------------------------------|-------|
| Lei da massa teórica               | 48 dB |
| Modelo de Meisser (Paredes duplas) | 51 dB |
| Programa Cypevac                   | 48 dB |

Tabela 4.9 - Cálculo do Rw, através de diferentes modelos, da parede Pm1.

Para o cálculo do índice de redução sonora da parede interior dupla, recorreu-se a três métodos, a lei da massa teórica, o modelo de Meisser - fornecido pela empresa de acolhimento – e o programa Cypevac. Os resultados obtidos foram semelhantes, pelo que se considerou uma média dos valores no índice de redução sonora da parede de meiação. Considerou-se um acréscimo de 4 dB pela introdução de 4cm de isolamento lã de rocha.

Como se trata de uma parede interior considera-se a influência das transmissões marginais, de uma forma simplificada, ou seja,  $Rw \geq 45$  dB,  $TM = 4$  dB. No entanto, dado que se trata de uma parede de meiação a construir, ela deverá ser desligada da parede vizinha, com aplicação de material resiliente, desta forma, iremos considerar 2 dB no cálculo das transmissões marginais.

$$D_{nT,w} = Rw + 10 \log \left( \frac{0,16 \times V}{T_0 \times S} \right) - TM = 49 + 10 \log \left( \frac{0,16 \times 26}{0,5 \times 10} \right) - 2 = 46 \text{ dB}$$

| Compartimento | V (m³) | A <sub>parede</sub> (m²) | T <sub>0</sub> (s) | Rw (dB) | TM | D <sub>nT,w</sub> | Limite regulamentar |
|---------------|--------|--------------------------|--------------------|---------|----|-------------------|---------------------|
| Quarto 1      | 26     | 10                       | 0,5                | 49      | 2  | 46                | ≥ 50 dB             |

Tabela 4.10 - Cálculo do D<sub>nT,w</sub>, da parede Pm1.

Esta parede não verifica o limite regulamentar,  $D_{nT,w} \geq 50$  dB, pelo que se propõe de seguida uma solução de correção.

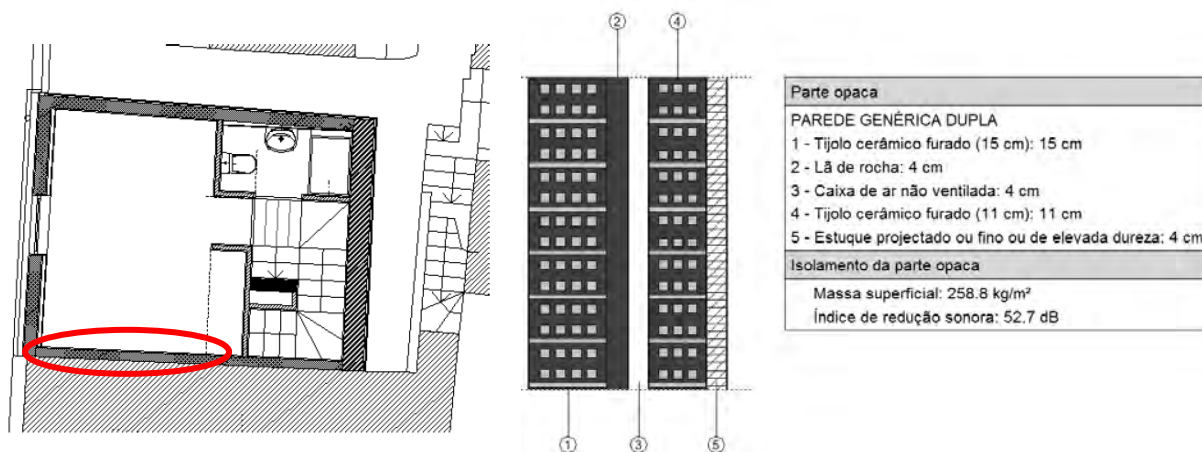


Figura 4.16 - Identificação e pormenor construtivo da solução de correção da parede Pm1.

| Parede de meação em alvenaria de tijolo cerâmico furado (Pm1) – Quarto 1 |                                    |                            |
|--|------------------------------------|----------------------------|
| Constituição   | Espessura (cm)                     | Massa (Kg/m <sup>2</sup> ) |
| Tijolo cerâmico furado   | 15 cm                              | 122,5                      |
| Lã de rocha  | 4 cm                               | -                          |
| Caixa de ar  | 4 cm                               | -                          |
| Tijolo cerâmico furado   | 11 cm                              | 96,3                       |
| Gesso projectado   | 4 cm                               | 40                         |
| Total  | 37 cm                              | 258,8                      |
| Rw   | 49 dB + 4 dB (lã de rocha) = 53 dB |                            |

Tabela 4.11 - Cálculo do Rw, segundo a lei da massa, da solução de correção da parede Pm1.

| Método                             | Rw      |
|------------------------------------|---------|
| Lei da massa teórica               | 53 dB   |
| Modelo de Meisser (Paredes duplas) | 54 dB   |
| Programa Cypevac                   | 52,7 dB |

Tabela 4.12 - Cálculo do Rw, através de diferentes modelos, da solução de correção da parede Pm1.

$$D_{nT,w} = R_w + 10 \log \left( \frac{0,16 \times V}{T_0 \times S} \right) - TM = 53 + 10 \log \left( \frac{0,16 \times 24}{0,5 \times 10} \right) - 2 = 50 \text{ dB}$$

| Compartimento | V (m <sup>3</sup> ) | A <sub>parede</sub> (m <sup>2</sup> ) | T <sub>0</sub> (s) | R <sub>w</sub> (dB) | TM | D <sub>nT,w</sub> | Limite regulamentar |
|---------------|---------------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------|----|-------------------|---------------------|
| Quarto 1      | 26                  | 10                                    | 0,5                | 53                  | 2  | 50                | ≥ 50 dB             |

Tabela 4.13 - Cálculo do D<sub>nT,w</sub>, da solução de correção da parede Pm1.

Esta solução já verifica o limite regulamentar estabelecido, no entanto como referido anteriormente, é necessário desligar a parede da estrutura vizinha, através da colocação de material resiliente do tipo aglomerado negro de cortiça ou poliestireno.

Outra solução no caso de uma parede de meiação não verificar o limite regulamentar, passa por considerar o contributo da parede vizinha. A possibilidade de verificar o D<sub>nT,w</sub> ≥ 50 dB é bastante elevada.

## 4.2 EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO UNIFAMILIAR – GAIA

### 4.2.1 Descrição do edifício

O presente estudo refere-se à verificação dos requisitos acústicos da ampliação de um edifício de habitação unifamiliar geminado de 3 frentes e tipologia V5, localizado em Vila Nova de Gaia. Esta moradia é composta por dois pisos destinados à habitação e apresentará a seguinte distribuição de espaços interiores:

- Piso 0: Entrada principal, cozinha, sala de estar, jantar, 2 quartos e instalação sanitária;
- Piso 1: 3 quartos e 3 instalações sanitárias.

A ampliação consiste no desenvolvimento do piso 0 e piso 1 para as traseiras, aumentando a sua área em 22m<sup>2</sup> e 23m<sup>2</sup>, respetivamente.

Trata-se de um edifício em estrutura porticada de betão armado que suporta as lajes dos diferentes pisos, e as alterações sofridas passam pela introdução de lajes em betão armado suportadas por pilares em betão armado.

A parede de fachada que constitui a ampliação será constituída por blocos térmicos, revestida pelo exterior com um sistema do tipo “ETICS – External Thermal Isolation Composite System”, e por gesso cartonado no interior.

A parede de meação que também constitui a ampliação, será constituída por blocos térmicos, revestidos pelo interior com isolamento em lã mineral e placa de gesso cartonado. A parede será desligada da parede vizinha e interposta com material resiliente.

Quanto aos revestimentos, prevê-se a aplicação de soalho de madeira em toda a intervenção, e as paredes serão rebocadas e pintadas.

As caixilharias serão em alumínio, com vidro duplo e aberturas do tipo correr, basculantes e fixas.

Não estão previstos equipamentos ruidosos para o exterior

No interior do edifício prevê-se os equipamentos individuais de ventilação da cozinha e instalações sanitárias.

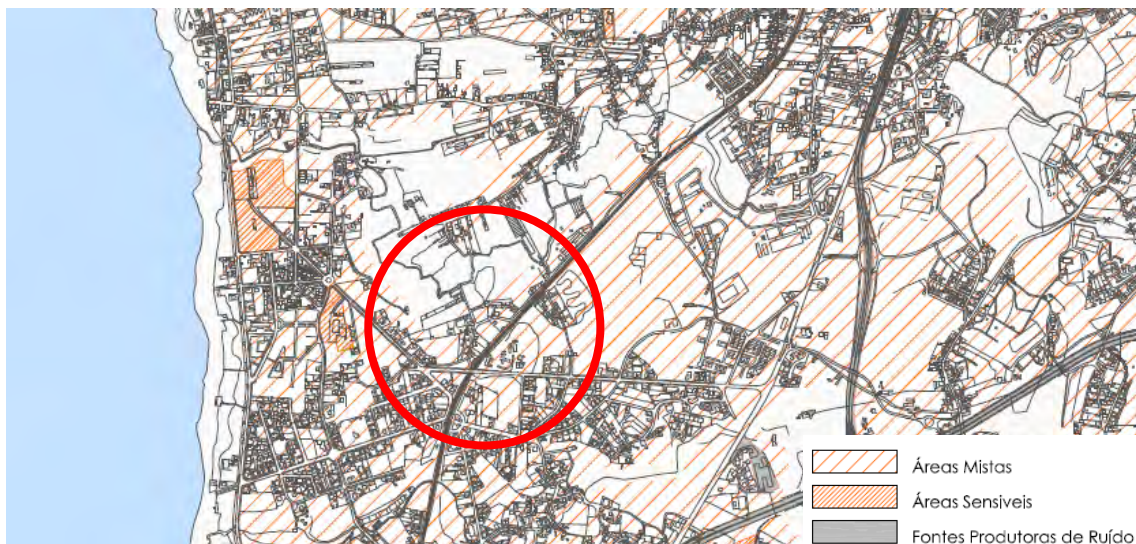


Figura 4.17 - Planta de condicionantes: Zonamento acústico com localização da zona em estudo.

A planta de condicionantes do Plano Diretor Municipal da cidade do Porto delimita as zonas classificadas como mistas ou sensíveis. Através da figura anterior verifica-se que o edifício em estudo localizado na zona de Cedofeita, situa-se numa zona classificada como mista.

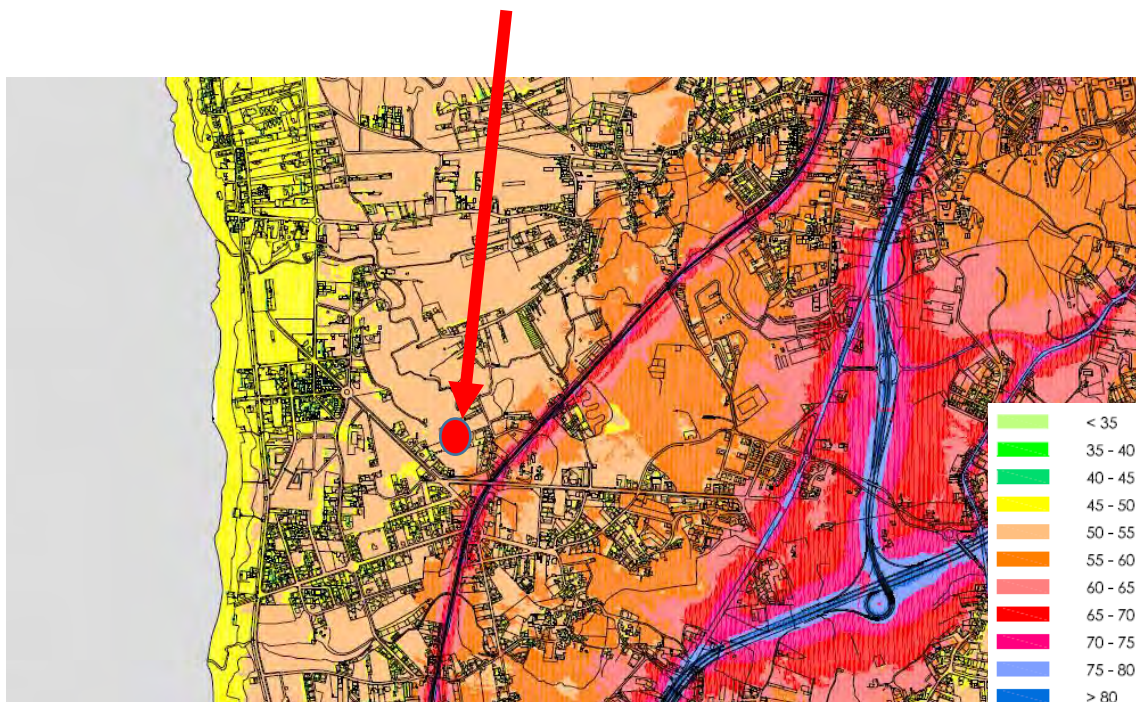


Figura 4.18 - Mapa do ruído da cidade do Gaia para o período diurno-entardecer-noturno, com a indicação da zona em estudo (indicador Lden)

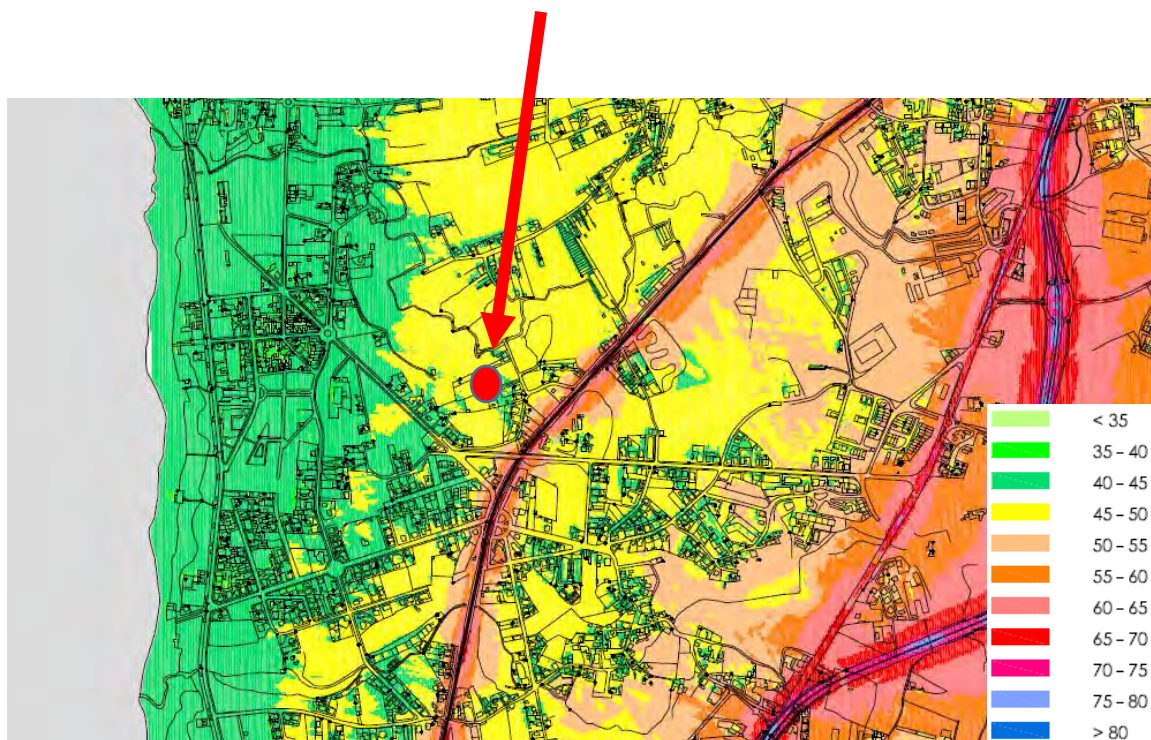


Figura 4.19 - Mapa do ruído da cidade do Gaia para o período noturno, com a indicação da zona em estudo (indicador Ln)

Através dos mapas de ruído das figuras anteriores, verifica-se que a habitação não se encontra numa zona sobre-exposta, ou seja, uma zona que não ultrapassa o limite estabelecido no regulamento geral do ruído, que corresponde ao indicador  $L_{den} \leq 65$  dB e  $L_n \leq 55$  dB, em zonas classificadas como mistas. Por isso, não é necessário aplicar nenhum coeficiente de sobre-exposição aos valores limites.

De acordo com Decreto-lei 129/2002, republicado pelo Decreto-lei 96/2008, designadamente no artigo 1º, este edifício deverá respeitar as disposições legais respeitantes a edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras.

CAPÍTULO 4

As distribuições dos espaços interiores que constam das plantas de arquitetura são apresentadas de seguida.



Figura 4.20 - Planta do edifício Gaia: Piso 0



Figura 4.21 - Planta do edifício Gaia: Piso 1

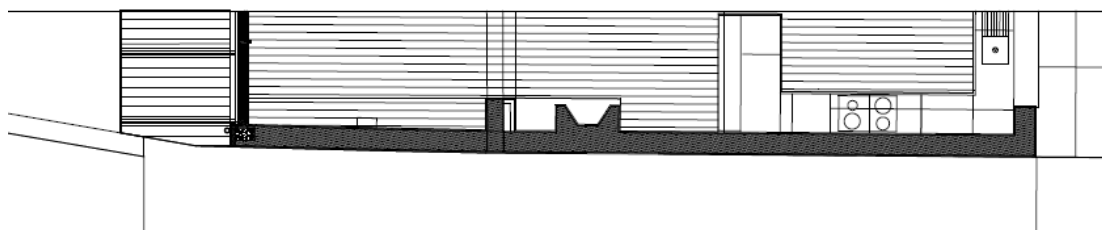


Figura 4.22 - Planta do edifício Gaia: Piso 0

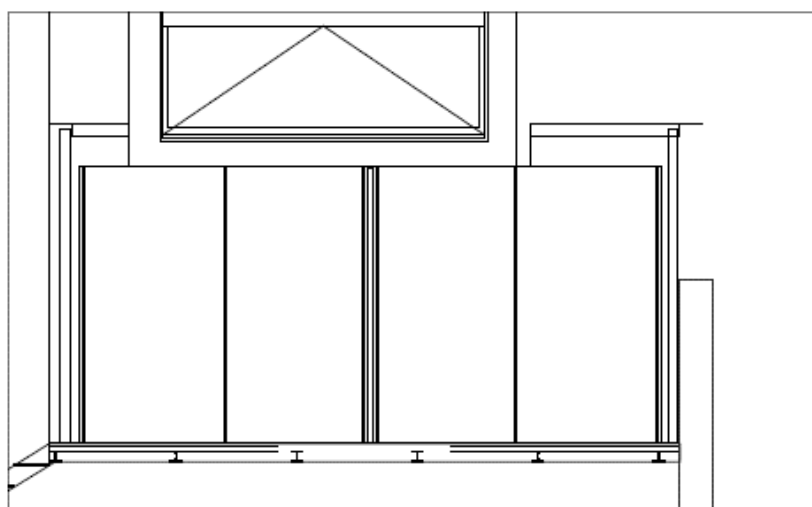


Figura 4.23 - Planta do edifício Gaia: alçado piso 0

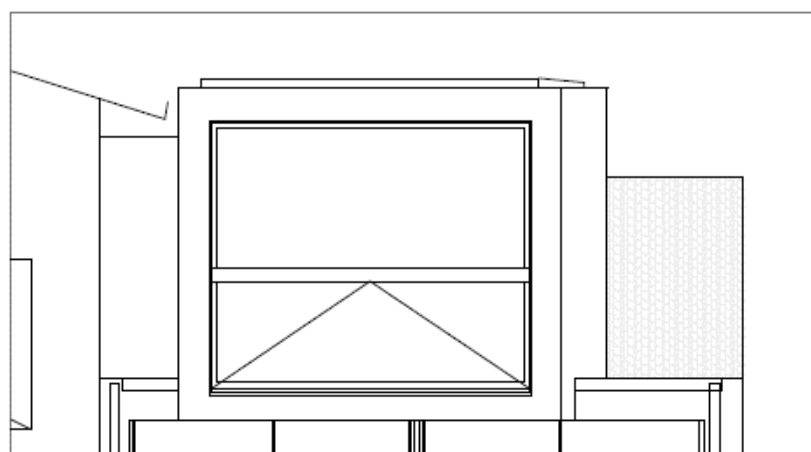


Figura 4.24 - Planta do edifício Gaia: alçado piso 1

#### 4.2.2 Critérios exigenciais aplicáveis

Como se trata de um edifício de habitação unifamiliar geminado, no que diz respeito a critérios regulamentares, só é necessário verificar a parede exterior e a parede de meação. É suficiente que esta verificação seja feita apenas para um compartimento recetor, o mais desfavorável, que apresente a maior área de envidraçados ou então um menor volume. Resta assegurar o ruído produzido pelos equipamentos instalados na habitação.

|  |              |
|--|--------------|
| $D_{2m,nT,w}$ entre o exterior e quartos ou zonas de estar |              |
| Zonas mistas   | $\geq 33$ dB |

|   |              |
|---|--------------|
| $D_{nT,w}$ entre quartos ou zonas de estar de um fogo (recepção) e: |              |
| Quartos ou zonas de estar de outro fogo (emissão)                   | $\geq 50$ dB |

|  |              |
|--|--------------|
| $L_{Ar,nT}$ no interior de quartos ou zonas de estar         |              |
| Se o funcionamento do equipamento for intermitente           | $\leq 32$ dB |
| Se o funcionamento do equipamento for contínuo               | $\leq 27$ dB |
| Se o equipamento foi um grupo gerador elétrico de emergência | $\leq 40$ dB |

Tabela 4.14 - Critérios exigenciais aplicáveis para a habitação de Gaia

Note-se que a exigência relativa ao ruído de equipamentos é, em geral, aplicada no caso de edifícios de habitação multifamiliar que apresentam dispositivos mecânicos de uso coletivo.

### 4.2.3 Estimativa do isolamento sonoro a sons aéreos

#### 4.2.3.1 Fachadas exteriores

Neste caso, será feita uma ampliação para as traseiras do piso 0 e do piso 1 da habitação, que correspondem a uma sala e a um quarto, respetivamente. A fachada da sala é constituída integralmente por um envidraçado, e a fachada do quarto por alvenaria de tijolo cerâmico e envidraçado.

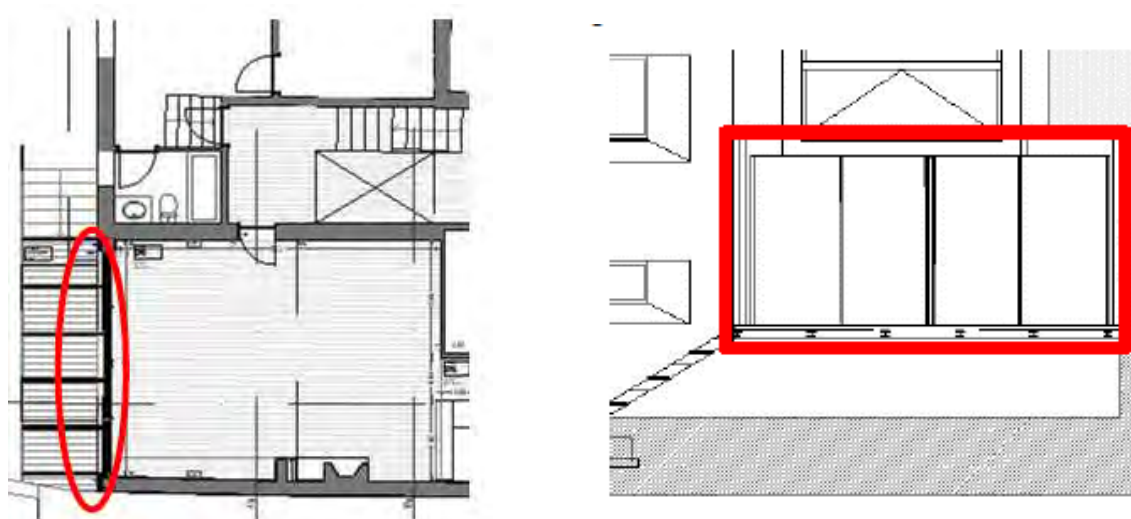


Figura 4.25 - Identificação em planta e alçado da parede exterior da sala, Pe1.

Como se pode verificar pela figura a fachada exterior da sala é composta por um único vão envidraçado, 100 %, num sistema de correr com 4 folhas. Como já referido anteriormente, grandes áreas de envidraçados são bastante prejudiciais em termos acústicos. Segundo o regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios, quando a área translúcida for superior a 60 % do elemento de fachada em análise, deve ser adicionado ao índice de isolamento sonoro da fachada o termo de adaptação apropriado, C ou Ctr, conforme o tipo de ruído dominante na emissão. Neste caso, o valor do índice  $D_{2m,nT,w}$  terá um acréscimo de 3 dB.

$$D_{2m,nT,w} = R_w + 10 \log \left( \frac{0,16 \times V}{T_0 \times S} \right) = 33,1 + 10 \log \left( \frac{0,16 \times 89}{0,5 \times 13} \right) = 36 \text{ dB}$$

| Compartimento | V<br>(m <sup>3</sup> ) | Área opaca |                     | Área envidraçada |                     | $\tau_{conjunto}$ | Rw<br>conjunto | A <sub>total</sub><br>(m <sup>2</sup> ) | %<br>env. | D <sub>2m,nT,w</sub> | Limite<br>regul. +<br>ctr |
|---------------|------------------------|------------|---------------------|------------------|---------------------|-------------------|----------------|---|-----------|----------------------|---------------------------|
|               |                        | Rw         | A (m <sup>2</sup> ) | Rw               | A (m <sup>2</sup> ) |                   |                |   |           |                      |                           |
| Quarto 2      | 89                     | -          | -                   | 33               | 13                  | -                 | 33             | 13                                      | 100       | 36                   | ≥ 36 dB                   |

Tabela 4.15 - Cálculo do D<sub>2m,nT,w</sub>, da parede exterior da sala, Pe1.

Como se pode verificar pela tabela, para se cumprir a exigência regulamentar de 33 dB em zonas mistas, juntamente com o acréscimo de 3 dB devido ao termo de adaptação, é necessário um sistema conjunto de caixilharia + vidro, que cumpra um valor de  $Rw \geq 33$  dB.

Após consulta em catálogo, propõe-se a utilização de um vidro duplo com espessuras diferentes e características iguais ou superiores a um envidraçado do tipo 6 + 12 + 44.1 com  $Rw \geq 33$  dB. Apresenta-se em anexo um tipo de envidraçado, com o respetivo catálogo.

De seguida irá ser feito o cálculo da parede de fachada do quarto, constituída por alvenaria de tijolo cerâmico e um vão envidraçado.

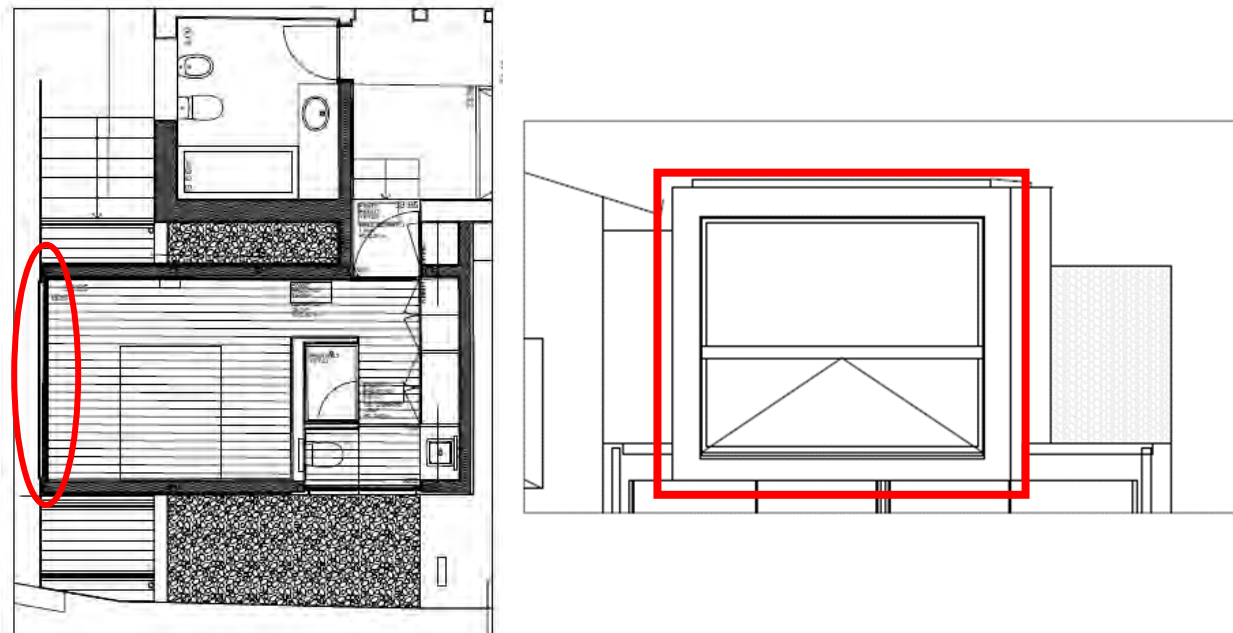


Figura 4.26 - Identificação em planta e alçado da parede exterior do quarto, Pe2.

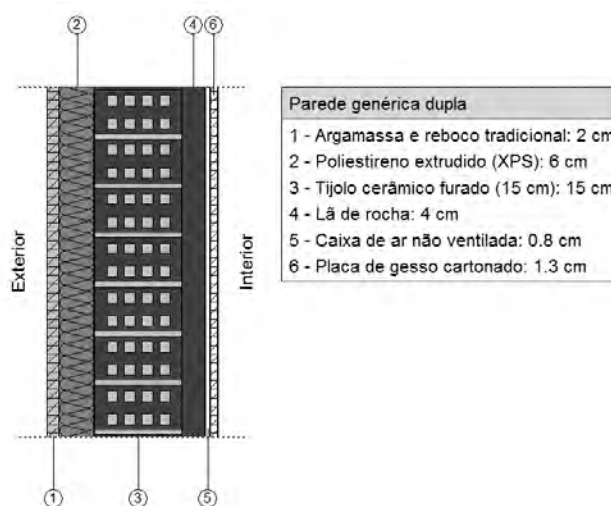


Figura 4.27 - Pormenor da parede exterior do quarto, Pe2.

| Parede exterior em alvenaria de tijolo cerâmico (Pe2) – Quarto |                |                            |
|--|----------------|----------------------------|
| Constituição   | Espessura (cm) | Massa (Kg/m <sup>2</sup> ) |
| Reboco   | 2 cm           | 40                         |
| Poliestireno extrudado XPS                                     | 6 cm           | -                          |
| Tijolo cerâmico furado   | 15 cm          | 122,5                      |
| Lã de rocha  | 4 cm           | -                          |
| Placa de gesso cartonado                                       | 1,3 cm         | 13                         |
| Total  | 28,3 cm        | 175,5                      |
| Rw   | 45 dB          |                            |

Tabela 4.16 - Cálculo do Rw, segundo a lei da massa, da parede Pe2.

O valor do Rw pode ser obtido a partir de seguinte expressão, corresponde à lei da massa teórica:

$$Rw = 40 \log(m) - 45 \text{ dB} \Rightarrow 40 \log(175,5) - 45 = 45 \text{ dB}$$

## CAPÍTULO 4

### FOLHA DE CÁLCULO PARA PAREDES DUPLAS

P1 - parede de alvenaria de tijolo térmico de 14cm  
 P2 - parede em gesso cartonado de 13 mm  
 Isolamento com 4cm de lã mineral do tipo Alpharock-E 225 (ou equivalente)

|   | Pano 1 | Pano 2 |                   |
|---|--------|--------|-------------------|
| massa superficial - m                   | 130,9  | 9,75   | Kg/m <sup>2</sup> |
| velo. Prop. Ondas longitudinais - C1    | 2500   | 1750   | m/s               |
| espessura dos panos de parede - e       | 0,14   | 0,013  | m                 |
| Valor de D (tem a ver com o isolamento) | 5      |        | dB                |
| velocidade de prop. ondas no ar - c     | 343    |        | m/s               |

Dados da escala das abcissas

|          |     |    |
|----------|-----|----|
| Base     | 8,3 | cm |
| d oitava | 2,5 | cm |

Determinação dos Pontos Notáveis

|                                    |        |    |                             |      |    |
|------------------------------------|--------|----|-----------------------------|------|----|
| R_500 Hz                           | 47     | dB | x(500Hz)=                   | 14,1 | cm |
| freqüência ressonância - fr        | 98,6   | Hz | Valor de x em escala linear | 8,2  | cm |
| freqüência crítica pano 1 - f1     | 186,7  | Hz |                             | 10,6 | cm |
| freqüência crítica pano 2 - f2     | 2873,0 | Hz |                             | 20,4 | cm |
| freqüência ressonância cxa ar - fn | 2143,8 | Hz |                             | 19,3 | cm |

|                                    | freqüência | valor de x | R (6db/oct) | R corrigido |
|------------------------------------|------------|------------|-------------|-------------|
| ordenada para x=0                  | 10         | 0,0        | 13          |             |
| freqüência ressonância - fr        | 98,6       | 8,2        | 33          | 29          |
| freqüência crítica pano 1 - f1     | 186,7      | 10,6       | 38          | 33          |
| freqüência crítica pano 2 - f2     | 2873,0     | 20,4       | 62          | 57          |
| freqüência ressonância cxa ar - fn | 2143,8     | 19,3       | 60          | 59          |
|                                    | (Hz)       | (cm)       | (dB)        | (dB)        |

| Interpolação dos valores para as gamas de freqüência |    |                  |    |              |    | Rw |    |
|--|----|------------------|----|--------------|----|----|----|
| Freqüência   |    | Escala linear xx |    | Interpolação |    |    |    |
| 125  | Hz | 9,1              | cm | 32           | dB | 50 | dB |
| 250  | Hz | 11,6             | cm | 38           | dB |    |    |
| 500  | Hz | 14,1             | cm | 47           | dB |    |    |
| 1000   | Hz | 16,6             | cm | 55           | dB |    |    |
| 2000   | Hz | 19,1             | cm | 60           | dB |    |    |

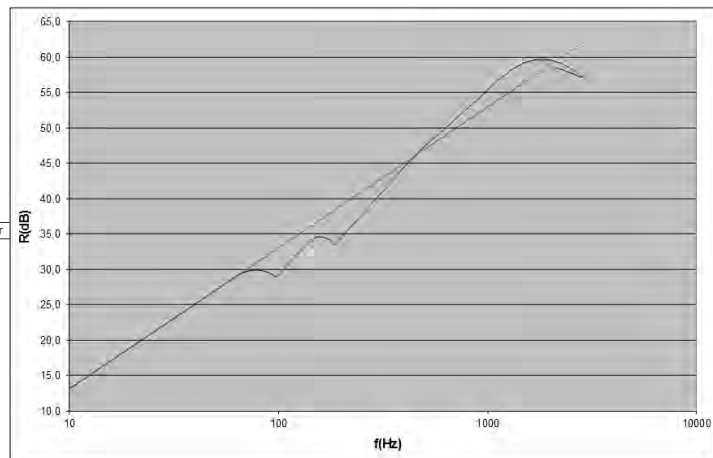


Figura 4.28 - Cálculo do Rw, segundo o modelo de Meisser, da parede Pe2 [figura fornecida pela empresa].

| Método                            | Rw    |
|-----------------------------------|-------|
| Lei da massa teórica              | 46 dB |
| Modelo de Sharp (Paredes simples) | 50 dB |
| Programa Cypevac                  | 45 dB |

Tabela 4.17 - Cálculo do Rw, através de diferentes modelos, da parede Pe2.

À semelhança do projeto anterior, para o cálculo do índice de redução sonora da parede exterior simples, recorreu-se a três métodos. O resultado obtido no Cypevac foi semelhante ao da lei da massa teórica, dado que esta se baseia neste modelo. Para o cálculo do  $D_{2m,Nt,W}$  considerou-se um índice de redução sonora de 46 dB. A influência do poliestireno extrudido foi desprezada no cálculo, dada o seu fraco desempenho acústico.

$$\tau_{conjunto} = \frac{10^{\frac{-Rw}{10}} \times S1 + 10^{\frac{-Rw}{10}} \times S2}{S1 + S2} = \frac{10^{\frac{-46}{10}} \times 19,6 + 10^{\frac{-32}{10}} \times 7,3}{19,6 + 7,3} = 1,90E - 04$$

$$Rw_{conjunto} = 10 \times \log\left(\frac{1}{\tau_{conjunto}}\right) = 10 \times \log\left(\frac{1}{1,90E - 04}\right) = 37,2 \text{ dB}$$

$$D_{2m,nT,w} = Rw + 10 \log\left(\frac{0,16 \times V}{T_0 \times S}\right) = 37,2 + 10 \log\left(\frac{0,16 \times 33}{0,5 \times 27}\right) = 33 \text{ dB}$$

| Compartimento | V<br>(m <sup>3</sup> ) | Área opaca |                     | Área envidraçada |                     | $\tau_{conjunto}$ | Rw conjunto | A <sub>total</sub> (m <sup>2</sup> ) | % env. | D <sub>2m,nT,w</sub> | Limite regul. |
|---------------|------------------------|------------|---------------------|------------------|---------------------|-------------------|-------------|--------------------------------------|--------|----------------------|---------------|
|               |                        | Rw         | A (m <sup>2</sup> ) | Rw               | A (m <sup>2</sup> ) |                   |             |                                      |        |                      |               |
| Quarto 2      | 33                     | 46         | 19,6                | 32               | 7,3                 | 1,90E-04          | 37,2        | 27                                   | 27     | 33                   | ≥ 33 dB       |

Tabela 4.18 - Cálculo do D<sub>2m,nT,w</sub>, da parede Pe2.

Como a área de envidraçados é inferior a 60%, neste caso 27%, não é necessário aplicar o termo de adaptação C / Ctr correspondente.

Como se pode verificar pela tabela, para se cumprir a exigência regulamentar de 33 dB em zonas mistas, é necessário um sistema conjunto de caixilharia + vidro, que cumpra um valor de Rw ≥ 32 dB.

Após consulta em catálogo, propõe-se a utilização de um vidro duplo com espessuras diferentes, à semelhança das paredes duplas, com características iguais ou superiores a um envidraçado do tipo 8 + 12 + 4 com Rw ≥ 32 dB.

### 4.2.3.2 Parede de meação

Esta habitação tem uma parede de meação com outra habitação adjacente, pelo que o seu  $D_{nT,W} \geq 50$  dB. A parede de meação está localizada na zona da ampliação da sala e será constituída por alvenaria de tijolo cerâmico.

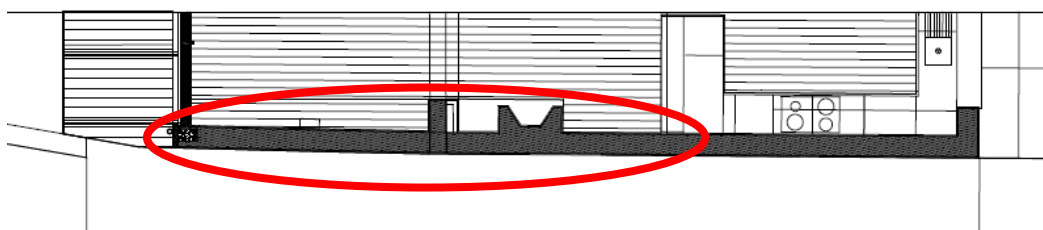


Figura 4.29 - Identificação da parede de meação da sala, Pm1.

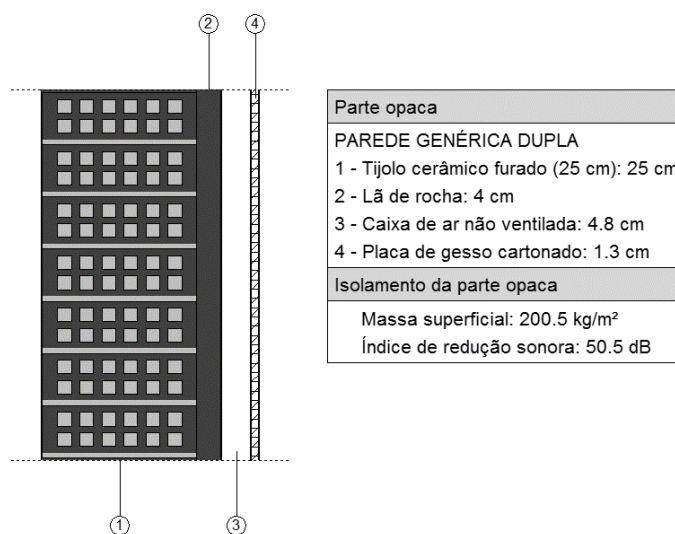


Figura 4.30 - Pormenor construtivo da parede de meação da sala, Pm1.

| Parede de medição em alvenaria de tijolo cerâmico furado (Pm1) – Quarto 1 |   |                            |
|---|---|----------------------------|
| Constituição  | Espessura (cm)                            | Massa (Kg/m <sup>2</sup> ) |
| Tijolo cerâmico furado  | 25 cm                                     | 187,5                      |
| Lã de rocha   | 4 cm                                      | -                          |
| Caixa de ar   | 4,8 cm                                    | -                          |
| Placa de gesso cartonado  | 1,3 cm                                    | 13                         |
| <b>Total</b>  | <b>35,1 cm</b>                            | <b>200,5</b>               |
| <b>Rw</b>   | <b>46 dB + 4 dB (lã de rocha) = 50 dB</b> |                            |

Tabela 4.19 - Cálculo do Rw, segundo a lei da massa, da parede Pm1.

FOLHA DE CÁLCULO PARA PAREDES DUPLAS

P1 - parede de alvenaria de tijolo técnico de 24cm  
 P2 - parede em gesso cartonado de 13 mm  
 Isolamento com 4cm de lã mineral do tipo Alpharock-E 225 (ou equivalente)

|   | Pano 1 | Pano 2 |                   |
|---|--------|--------|-------------------|
| massa superficial - m                   | 224,4  | 9,75   | Kg/m <sup>2</sup> |
| velo. Prop. Ondas longitudinais - C1    | 2500   | 1750   | m/s               |
| espessura dos panos de parede - e       | 0,24   | 0,013  | m                 |
| Valor de D (tem a ver com o isolamento) | 5      |        | dB                |
| velocidade de prop. ondas no ar - c     | 343    |        | m/s               |

Dados da escala das aberturas

|          |     |    |
|----------|-----|----|
| Base     | 8,3 | cm |
| d oitava | 2,5 | cm |

Determinação dos Pontos Notáveis

|                                    |            |            |                             |             |    |
|------------------------------------|------------|------------|-----------------------------|-------------|----|
| R <sub>500 Hz</sub>                | 50         | dB         | x(500Hz)=                   | 14,1        | cm |
| frequência ressonância - f         | 97,2       | Hz         | Valor de x em escala linear | 8,2         | cm |
| frequência crítica pano 1 - f1     | 108,9      | Hz         |                             | 8,6         | cm |
| frequência crítica pano 2 - f2     | 2873,0     | Hz         |                             | 20,4        | cm |
| frequência ressonância cia ar - fa | 2143,8     | Hz         |                             | 19,3        | cm |
|                                    | frequência | valor de x | R (Sdb/10)                  | R corrigido |    |
| ordenada para s=0                  | 10         | 0,0        | 16                          |             |    |
| frequência ressonância - f         | 97,2       | 8,2        | 36                          | 32          |    |
| frequência crítica pano 1 - f1     | 108,9      | 8,6        | 37                          | 32          |    |
| frequência crítica pano 2 - f2     | 2873,0     | 20,4       | 65                          | 60          |    |
| frequência ressonância cia ar - fa | 2143,8     | 19,3       | 63                          | 62          |    |
|                                    | (Hz)       | (cm)       | (dB)                        | (dB)        |    |

| Interpolação dos valores para as gamas de frequência |    |                  |    |              | Rw |    |
|--|----|------------------|----|--------------|----|----|
| Frequência   | Hz | Escala linear xx | cm | Interpolação | dB |    |
| 125  | Hz | 9,1              | cm | 34           | dB | 54 |
| 250  | Hz | 11,6             | cm | 44           | dB |    |
| 500  | Hz | 14,1             | cm | 52           | dB |    |
| 1000   | Hz | 16,6             | cm | 60           | dB |    |
| 2000   | Hz | 19,1             | cm | 63           | dB |    |

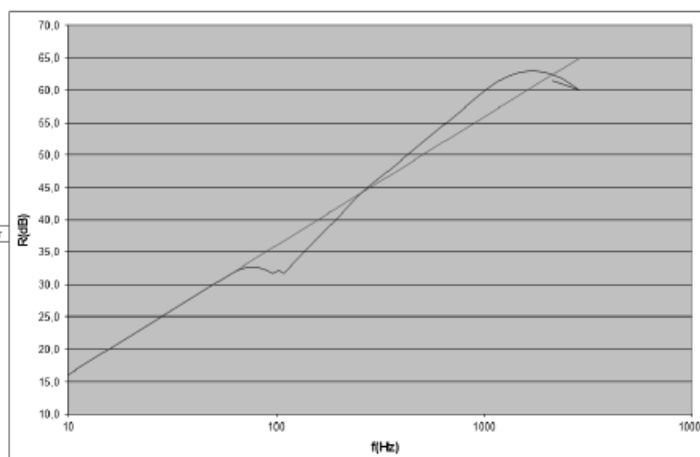


Figura 4.31 - Cálculo do Rw, segundo o modelo de Meisser, da parede de medição da sala, Pm1 [Material fornecido pela empresa].

| Método                             | Rw    |
|------------------------------------|-------|
| Lei da massa teórica               | 50 dB |
| Modelo de Meisser (Paredes duplas) | 54 dB |
| Programa Cypevac                   | 51 dB |

Tabela 4.20 - Cálculo do Rw, através de diferentes modelos, da parede Pm1.

Para o cálculo do índice de redução sonora da parede interior dupla, recorreu-se a três métodos, a lei da massa teórica, o modelo de Meisser - fornecido pela empresa de acolhimento – e o programa Cypevac. Para o cálculo do índice de isolamento sonoro a sons aéreos, considerou-se um índice de redução sonora médio, ou seja, 52 dB.

Neste caso, não serão consideradas transmissões marginais, dado que se trata de uma ampliação, e a parede será nova. Por isso, aconselha-se no projeto de condicionamento acústico a “desligar” a parede a construir da parede vizinha, por meio de interposição de material resiliente do tipo aglomerado negro de cortiça ou poliestireno.

$$D_{nT,w} = R_w + 10 \log \left( \frac{0,16 \times V}{T_0 \times S} \right) - TM = 52 + 10 \log \left( \frac{0,16 \times 89}{0,5 \times 19,5} \right) - 0 = 54 \text{ dB}$$

| Compartimento | V (m <sup>3</sup> ) | A <sub>parede</sub> (m <sup>2</sup> ) | T <sub>0</sub> (s) | Rw (dB) | TM | D <sub>nT,w</sub> | Limite regulamentar |
|---------------|---------------------|---------------------------------------|--------------------|---------|----|-------------------|---------------------|
| Quarto 1      | 89                  | 19,5                                  | 0,5                | 52      | 0  | 54                | ≥ 50 dB             |

Tabela 4.21 - Cálculo do D<sub>nT,w</sub>, da parede de meação da sala Pm1.

### 4.3 ANÁLISE COMPARATIVA

Após efetuados os diferentes cálculos para as distintas situações e elementos, é possível tirar algumas conclusões através dos valores obtidos.

No que diz respeito ao índice de redução sonora verifica-se que é bastante inferior em paredes de alvenaria de tijolo comparativamente com as paredes de alvenaria de pedra. As últimas têm características acústicas superiores à grande maioria dos materiais, dada a sua massa superficial elevada. As paredes duplas com as espessuras dos panos diferentes, completadas com lã de rocha na caixa de ar, possuem um isolamento sonoro superior às paredes simples de alvenaria. Por outro lado, as paredes duplas, constituídas por alvenaria de tijolo cerâmico, isolamento acústico e revestidas com gesso cartonado, também possuem boas propriedades acústicas.

Na tabela seguinte, apresenta-se os valores do índice de redução sonora das paredes calculadas no presente documento. Podemos verificar que a melhor solução são as paredes de alvenaria de pedra, seguidas das paredes duplas em alvenaria de tijolo cerâmico.

| Tipo de parede   | Rw    |
|--|-------|
| Parede simples de tijolo cerâmico de 20 cm   | 40 dB |
| Parede de alvenaria de pedra de granito com 30 cm, com isolamento térmico XPS, revestida com gesso cartonado | 57 dB |
| Alvenaria de tijolo cerâmico de 20 cm, com lã de rocha e caixa de ar, revestida com gesso cartonado          | 49 dB |
| Parede de alvenaria dupla de tijolo cerâmico 15 + 11 cm, com lã de rocha e caixa de ar no interior           | 53 dB |
| Parede de alvenaria de tijolo cerâmico 15 cm, com lã de rocha e caixa de ar, revestida com gesso cartonado   | 46 dB |
| Parede de alvenaria de tijolo cerâmico 25 cm, com lã de rocha e caixa de ar, revestida com gesso cartonado   | 52 dB |

Tabela 4.22 – Comparação do índice de redução sonora para diferentes tipos de paredes

No que diz respeito ao índice de isolamento sonoro a sons aéreos, através de diferentes estudos e dos dados obtidos no presente documento, pode-se afirmar que quanto maior for a área da superfície do elemento de separação, pior vai ser o índice de isolamento sonoro desse elemento. Por outro lado, quanto maior for o volume do compartimento, melhor vai ser o índice de isolamento a sons aéreos do elemento construtivo, ou seja, em grandes quartos ou salas, sente-se menos o efeito do ruído. No caso de paredes de fachada heterogêneas, os envidraçados são o elemento mais desfavorável do conjunto, por isso, grandes áreas de envidraçados são bastante prejudiciais no efeito do isolamento sonoro de um elemento de compartimentação. Desta forma, aconselha-se o uso de caixilharias com uma permeabilidade baixa ao ar, juntamente com vidros duplos de boa qualidade, e de preferência com espessuras diferentes.

Apresentam-se na tabela seguinte, os dados retirados dos cálculos efetuados no presente documento, para paredes de fachada. Não foram consideradas transmissões marginais, e o índice de isolamento sonoro foi obtido através do dimensionamento dos envidraçados.

| Volume do compartimento (m <sup>3</sup> ) | Área opaca (m <sup>2</sup> ) / Rw | Área envidraçados (m <sup>2</sup> ) / Rw | Percentagem de envidraçados (%) | D <sub>2m,Nt,W</sub> |
|---|-----------------------------------|--|---------------------------------|----------------------|
| 27,4                                      | 7,4 / 40                          | 2,2 / 27                                 | 23                              | 33                   |
| 26  | 8,9 / 57                          | 2,6 / 28                                 | 22                              | 33                   |
| 89  | -                                 | 13 / 33                                  | 100                             | 36                   |
| 33  | 19,6 / 46                         | 7,3 / 32                                 | 27                              | 33                   |

Tabela 4.23 – Comparação do índice de índice de isolamento sonoro de diferentes elementos de fachada.

Na tabela seguinte, são apresentados os valores que foram obtidos no cálculo das paredes de meiação das habitações. Destaca-se o ultimo caso que com um volume de compartimento superior aos restantes, compensa a maior superfície de separação, apesar de neste caso não terem sido contabilizadas as TM, visto que a parede era construção nova e pressupondo-se o seu “desligamento” da parede adjacente, através da interposição de material resiliente.

| Volume do compartimento (m <sup>3</sup> ) | Área da superfície (m <sup>2</sup> ) | Transmissões marginais | Rw | D <sub>nt,w</sub> |
|---|--------------------------------------|------------------------|----|-------------------|
| 27,4                                      | 10                                   | 2                      | 49 | 46                |
| 26  | 10                                   | 2                      | 53 | 50                |
| 89  | 19,5                                 | -                      | 52 | 54                |

Tabela 4.24 – Comparação do índice de índice de isolamento sonoro de diferentes elementos de paredes de meiação



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 CONCLUSÕES

Este relatório pretendia apresentar o trabalho desenvolvido durante o estágio curricular, podendo-se concluir que foi uma experiência bastante positiva. O facto de ter a oportunidade de entrar no mercado de trabalho, viver a experiência, aplicar e alargar conhecimentos e desenvolver os contactos profissionais é bastante satisfatório. Deu a possibilidade enquanto estudante de poder crescer pessoalmente e profissionalmente.

No que diz respeito ao acompanhamento e fiscalização de obras foram experiências bastante interessantes, poder entrar em contacto com a parte mais prática da profissão, ou seja, a construção. Durante as visitas à obra foi possível observar diversas atividades a decorrer ao mesmo tempo, poder entrar em contacto com as pessoas envolvidas e acima de tudo poder ser um dos intervenientes no processo.

O trabalho em gabinete, nomeadamente os projetos de condicionamento acústico, foram importantes para obter noções para além da construção propriamente dita.

Em relação à acústica de edifícios foi possível concluir que o cálculo acústico pode ser por vezes bastante complexo, e por vezes incerto, daí a metodologia existente se denominar por modelos de estimativa. Por isso, estimativas mais certas de um dado compartimento só através de ensaios acústicos.

O projeto de condicionamento acústico deve alertar e adotar elementos construtivos apropriados, que sejam alvo de um bom isolamento sonoro. Ao longo do relatório foram referidas diversas vezes as regras principais a adotar na acústica de edifícios, como por exemplo, promover a adoção de panos duplos e de espessuras diferentes, tanto em envidraçados como em paredes, uso de elementos construtivos com massa superficial elevada, o conjunto caixilharia + vidro deve ser de boa qualidade, visto que os envidraçados constituem o local mais suscetível à passagem do ruído, a introdução de lã mineral nos elementos construtivos constitui um bom isolamento sonoro, e acima de tudo uma correta execução no local do que foi projetado.

## 5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

No futuro a acústica de edifícios deveria de ter uma maior importância do que a que tem nos dias de hoje. Os edifícios constituem locais de conforto, que deve ser acima de tudo valorizado. A consciência quanto ao ruído incomodativo tem vindo a ganhar forma, e no futuro devemos ter edifícios com mais exigências do que as que existem atualmente. De dia para dia surgem novos materiais e novas técnicas de construção, que certamente trarão melhorias significativas.

Por outro lado, a metodologia de cálculo deveria sofrer avanços, de maneira a dar estimativas mais corretas do que acontece na realidade. Desta forma, o projeto acústico iria aumentar bastante a sua qualidade e precisão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Abreu, S. (2014). Análise do Desempenho Acústico de Elementos Construtivos na Reabilitação de Edifícios. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto.

[2] Campeão, J. Apontamentos de Conforto Térmico e Acústico das Edificações, ISEP, 2014.

[3] Carvalho, A. P. Oliveira. Acústica Ambiental e de Edifícios, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.

[4] Costa, L. (2013). Soluções de Melhoria de Desempenho Acústico na Reabilitação de Edifícios. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto.

[5] Ferreira, A. R. P. (2007). Soluções Técnicas para Isolamento Sonoro de Edifícios de Habitação. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico.

[6] Gonçalves, S. R. (2014). Caracterização Acústica de Elementos Pré-fabricados em Madeira para Fachadas. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

[7] Lança, P. Apontamento de Física dos Edifícios, ESTGB.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[8] Marinho de Sousa, J. D. B. (2008). Caracterização e Desenvolvimento do Comportamento Acústico de um Sistema de Divisórias Ligeiras a Base de Espumas de Poliuretano. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

[9] Mateus, Diogo. Apontamentos Acústica de Edifícios e Controlo de Ruído, FCTUC, 2008.

[10] Moreira, K. S. (2014). Caracterização Acústica de Edifícios Antigos – Tabique. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

[11] Neto, Teresa. Apontamentos de Física das Construções, ISEP, 2015.

[12] Patrício, J. Isolamento Sonoro a Sons Aéreos e de Percussão. Metodologias de Caracterização. Lisboa, LNEC, 2002, Informação Técnica de Edifícios ITE 45.

[13] Patrício, J. Acústica nos edifícios (2003). 2ª Edição. Jorge Patrício Ed., Lisboa.

[14] PORTUGAL. Leis, decretos-lei, etc. – Regulamento Geral Do Ruído (RGR). Decreto-Lei nº9/2007 de 17 de janeiro.

[15] PORTUGAL. Leis, decretos-lei, etc. – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE). Decreto-Lei nº96/2008 de 9 de junho.

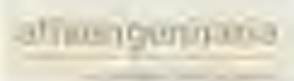
[16] Queirós, D. M. (2010). Caracterização do Comportamento Acústico de Edifícios de Habitação Reabilitados. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

[17] Ramos, A. (2014). Guia Termos de Referência de Isolamento Acústico na Reabilitação de Edifícios. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto.

## **ANEXO I – DOCUMENTAÇÃO DE FISCALIZAÇÃO PRODUZIDA**

|  |                                      | FCC – FICHA DE CONTROLO DE CONFORMIDADE<br>ATIVIDADE – REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA  |                           |                            |                                |    |    |
|---|--------------------------------------|---|---------------------------|----------------------------|--------------------------------|----|----|
|   |                                      | Dono de Obra:   |                           |                            | Data: 21/07/2016               |    |    |
|   |                                      | Obra:   |                           |                            | Código: FCC_ABASTECIMENTO_AGUA |    |    |
|   |                                      | Empreiteiro:  |                           |                            | Página: 1 de 2                 |    |    |
|   |                                      | Descrição do elemento:  |                           |                            |                                |    |    |
| Item / Ref.   | Atividade                            | Especificação / Critério de Aceitação   | Tipo de Inspeção / Ensaio | Documentação de referência | C                              | NC | NA |
| <b>1</b>  | <b>Condições Prévias</b>             |   |                           |                            |                                |    |    |
| 1.1   | Receção e armazenamento das tubagens | Verificar se o material recebido corresponde com o respetivo PAME; ausência de defeitos aparentes. Armazenados em locais limpos, protegidos das intempéries e protegidos da radiação solar.   | Visual / Documental       | PAME                       |                                |    |    |
| <b>2</b>  | <b>Condições Execução</b>            |   |                           |                            |                                |    |    |
| 2.1   | Controlo da implantação das tubagens | Garantir que as tubagens passem nos locais de acordo com o estabelecido nos projetos de execução, incluindo a verificação dos diâmetros.  | Visual; fita métrica      |                            |                                |    |    |
|   |                                      | Verificar que as canalizações não se encontram nas seguintes situações: Sob elementos de fundação; embutidas em elementos estruturais; embutidas em pavimentos; em locais de difícil acesso; em espaços pertencentes a chaminés e a sistemas de ventilação. | Visual                    |                            |                                |    |    |
|   |                                      | Verificar se as tubagens de água quente se encontram isoladas termicamente.   | Visual                    |                            |                                |    |    |
|   |                                      | Confirmar a passagem e o cruzamento das tubagens.   | Visual                    |                            |                                |    |    |
|   |                                      | Confirmar a localização de todos os pontos de água.   | Visual                    |                            |                                |    |    |
| 2.2   | Instalação de válvulas               | Verificar a instalação de válvulas do tipo estabelecido em projeto e nos locais designados, nomeadamente a montante dos equipamentos.   | Visual; fita métrica      |                            |                                |    |    |

Legenda: C – Conforme; NC – Não Conforme; NA – Não Aplicável

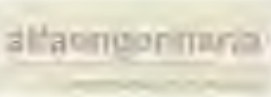
|   |   |                                |
|---|---|--------------------------------|
|  | <b>FCC - FICHA DE CONTROLO DE CONFORMIDADE</b><br><b>ATIVIDADE – REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.</b> |                                |
|   | Dono de Obra:   | Data: 21/07/2016               |
|   | Obra:   | Código: FCC_ABASTECIMENTO_AGUA |
|   | Empreiteiro:  | Página 2 de 2                  |
| Descrição do elemento:  |   |                                |

|                                  |              |   |                       |  |  |                   |  |
|----------------------------------|--------------|---|-----------------------|--|--|-------------------|--|
| 2.3                              | Equipamentos | Controlar a instalação dos equipamentos de acordo com o caderno de encargos, nomeadamente estanquidade, funcionalidade, defeitos e betonação das louças.                | Visual                |  |  |                   |  |
| 2.6                              | Ensaíos      | Realização de ensaios de estanquidade da rede de abastecimento, através da instalação de um manómetro em que não se verifique a variação de pressão ao fim de 24 horas. | Visual;<br>manómetro. |  |  |                   |  |
| <b>Resultado da fiscalização</b> |              |   |                       |  |  |                   |  |
| Aprovado _____                   |              |   | Não Aprovado _____    |  |  | Condiçãoado _____ |  |
| Observações:                     |              |   |                       |  |  |                   |  |
| Verificado por:                  |              |   | Data:                 |  |  | Assinatura:       |  |



|  |  | FCC - FICHA DE CONTROLO DE CONFORMIDADE   |                              |                                    |   |                        |    |
|---|--|---|------------------------------|------------------------------------|---|------------------------|----|
|   |  | ATIVIDADE - ALVENARIAS  |                              |                                    |   |                        |    |
|   |  | Dono da Obra:   |                              |                                    |   | Data: 21/07/2016       |    |
|   |  | Obra:   |                              |                                    |   | Código: FCC_ALVENARIAS |    |
|   |  | Empreiteiro:  |                              |                                    |   | Página 1 de 3          |    |
|   |  | Descrição do elemento:  |                              |                                    |   |                        |    |
| Item / Ref.   | Atividade  | Especificação / Critério de Aceitação   | Tipo de Inspeção / Ensaio    | Documentação de referência         | C | NC                     | NA |
| <b>1</b>  | <b>Condições Prévias</b>                         |   |                              |                                    |   |                        |    |
| 1.1   | Programação do início de execução das alvenarias | Início da execução depois de terminada a estrutura e por ordem inversa, de cima para baixo, ou, em alternativa, a construção piso sim, piso não.  | Visual / Documental          | Projeto de execução (se aplicável) |   |                        |    |
| 1.2   | Programação do fecho superior das alvenarias     | Fecho superior das alvenarias quando estiverem executadas pelo menos 50% destas e de cima para baixo.   | Visual / Documental          | Projeto de execução (se aplicável) |   |                        |    |
| 1.3   | Receção e armazenamento dos tijolos              | Verificar se o material recebido corresponde com o respetivo PAME; ausência de defeitos aparentes. Armazenados em pilhas não superiores a dois metros, sobre uma superfície plana, limpa e protegidos das intempéries.    | Visual / Documental          | PAME                               |   |                        |    |
| 1.4   | Receção e armazenamento dos ligantes             | Verificar se o material recebido corresponde com o respetivo PAME; ausência de sinais de humidade. Armazenados em pilhas sobre estrados de madeira com ventilação inferior.   | Visual / Documental          | PAME                               |   |                        |    |
| 1.5   | Receção e armazenamento da areia                 | Verificar se o material recebido corresponde com o respetivo PAME; ausência de matéria orgânica ou argilosa nas areias; Armazenamento separado em areias de diferentes tipos ou proveniências, e protegidas com plástico. | Visual / Documental          | PAME                               |   |                        |    |
| <b>2</b>  | <b>Condições Execução</b>                        |   |                              |                                    |   |                        |    |
| 2.1   | Estado da argamassa                              | Apresentar boa trabalhabilidade; e se necessário efetuar ensaio sobre mesa de espalhamento.   | Visual; Mesa de espalhamento | -                                  |   |                        |    |
| 2.2   | Preparação das superfícies                       | As superfícies onde irão ser assentes as alvenarias devem estar livres de poeiras e sujidades, estar rugosas e húmidas.   | Visual                       | -                                  |   |                        |    |

Legenda: C – Conforme; NC – Não Conforme; NA – Não Aplicável

|   |  |                        |
|---|--|------------------------|
|  | <b>FCC - FICHA DE CONTROLO DE CONFORMIDADE</b> |                        |
|   | <b>ATIVIDADE - ALVENARIAS</b>                  |                        |
|   | Dono de Obra:                                  | Data: 21/07/2016       |
|   | Obra:  | Código: FCC_ALVENARIAS |
| Empreiteiro:  | Página 2 de 8                                  |                        |
| Descrição do elemento:  |  |                        |

|      |  |  |   |   |  |  |  |  |
|------|--|--|---|---|--|--|--|--|
| 2.3  | Marcação dos panos de alvenaria  | De acordo com o projeto de execução, com uma tolerância de $\pm 5$ mm.   | Fita métrica; nível; fio-de-prumo         | - |  |  |  |  |
| 2.4  | Marcação das alvenarias com base numa fiada de alvenaria                       | Marcação das fiadas a realizar com o objetivo de minimizar o número de fiadas a realizar com tijolos cortados.   | Fita métrica; nível; fio-de-prumo         | - |  |  |  |  |
| 2.5  | Execução dos panos de alvenaria  | Juntas desencontradas pelo menos 1/3 do comprimento do tijolo, totalmente preenchidas com argamassa e espessura constante de aproximadamente 10mm.   | Visual; fita métrica; nível; fio-de-prumo |   |  |  |  |  |
| 2.6  | Verticalidade e ortogonalidade das paredes                                     | Panos verticais e desempenados com um desvio máximo de 5mm por metro.<br>Ângulo preciso de 90° entre paredes perpendiculares.  | Visual; nível; esquadro.                  |   |  |  |  |  |
| 2.7  | Execução de paredes em pavimento térreo ou em contacto com o terreno           | Aplicação de argamassa com aditivo hidrófugo e 3 demãos cruzadas de pintura betuminosa nas 3 primeiras fiadas.   | Visual; documental                        | - |  |  |  |  |
| 2.8  | Vãos, corte do tijolo e abertura de raços                                      | Uso de moldes para os vãos e de meios mecânicos para a abertura de raços.  | Visual                                    | - |  |  |  |  |
| 2.9  | Execução de caleira em paredes duplas com caixa-de-ar                          | Após assentamento de uma fiada no pano interior e exterior, executa-se uma caleira em quarto de círculo e com pendente no sentido longitudinal, aplicando-se tubos de drenagem de 2 em 2 metros e salientes em relação ao revestimento, no mínimo 15mm.                  | Visual; fita métrica                      | - |  |  |  |  |
| 2.10 | Execução de isolamento térmico na caixa-de-ar com recurso a materiais rígidos. | Uso de espaçadores ou fixadores das placas isolantes ao pano interior, para garantir que as placas se encontrem apuradas, encostadas à parede interior, e cobrir toda a sua superfície de forma a evitar a circulação de ar entre as duas faces das placas pelas juntas. | Visual; fita métrica                      | - |  |  |  |  |

Légenda: C—Conforme; NC—Não Conforme; NA—Não Aplicável


|  |  | FCC - FICHA DE CONTROLO DE CONFORMIDADE                                   |                                      |                   |                        |  |  |
|---|--|---|--------------------------------------|-------------------|------------------------|--|--|
|   |  | ATIVIDADE - ALVENARIAS  |                                      |                   |                        |  |  |
|   |  | Dono de Obra:   |                                      |                   | Data: 21/07/2016       |  |  |
|   |  | Obra:   |                                      |                   | Código: FCC_ALVENARIAS |  |  |
|   |  | Empreiteiro:  |                                      |                   | Página 3 de 3          |  |  |
| Descrição do elemento   |  |   |                                      |                   |                        |  |  |
| 2.11  | Execução de isolamento térmico na caixa-de-ar com recurso a poliuretano projetado. | Revestimento integral do pano com uma espessura mínima de cerca de 0,5cm. | Fita métrica medindo com uma vareta. | -                 |                        |  |  |
| 2.12  | Execução de isolamento acústico na caixa-de-ar com recurso à lã mineral.           | Revestimento integral da caixa-de-ar e correta aplicação do material.     | Visual                               | -                 |                        |  |  |
| Resultado da fiscalização   |  |   |                                      |                   |                        |  |  |
| Aprovado ___  |  | Não Aprovado ___  |                                      | Condiicionado ___ |                        |  |  |
| Observações:  |  |   |                                      |                   |                        |  |  |
| Verificado por:   |  | Data:   |                                      | Assinatura:       |                        |  |  |

Legenda: C – Conforme; NC – Não Conforme; NA – Não Aplicável

|   |  |                   |
|---|--|-------------------|
|  | <b>FCC - FICHA DE CONTROLO DE CONFORMIDADE</b> |                   |
|   | <b>ATIVIDADE - BETONAGEM</b>                   |                   |
|   | Dono da Obra:                                  | Data: 21/07/2016  |
|   | Obra:  | Código: FCC_BETAD |
| Empreiteira:  | Página 1 de 3                                  |                   |
| Descrição do elemento:  |  |                   |

| Item / Ref. | Atividade                                 | Especificação / Critério de Aceitação   | Tipo de Inspeção / Ensaio                 | Documentação de referência | C | NC | NA |
|-------------|---|---|---|----------------------------|---|----|----|
| <b>1</b>    | <b>Condições Prévias</b>                  |   |   |                            |   |    |    |
| 1.1         | Receção de Materiais - Aço                | Verificar se o material recebido corresponde com a respetiva PAME, verificando a conformidade do aço;<br>Verificar se o diâmetro corresponde com a guia de remessa, bem o estado da varão que se deve encontrar livre de ferrugem.  | Visual / Documental                       | PAME                       |   |    |    |
| 1.2         | Receção de Materiais - Cofragem           | Verificar se o material recebido corresponde com a respetiva PAME.  | Visual / Documental                       | PAME                       |   |    |    |
| 1.3         | Receção de Materiais - Betão              | Verificar se o material recebido corresponde com a respetiva PAME;<br>A guia de remessa deve conter: n.º de guia; identificação da viatura de transporte; volume de betão (parcial, acumulado); identificação do betão (tipo de betão; classe de exposição ambiental; classe de abaixamento; <del>D<sub>max</sub></del> ); identificação da peça a betonar. | Visual / Documental                       | PAME                       |   |    |    |
| 1.4         | Resistência à compressão simples do betão | Resistência característica mínima à compressão aos 28 dias de cubos com 150mm de aresta, desempenados e limpos.<br>O ensaio deve ser efetuado segundo nota técnica anexa.   | Ensaio                                    | Norma                      |   |    |    |
| 1.5         | Consistência do betão                     | Analisar a consistência do betão antes da descarga através de uma inspeção visual, e posteriormente de um ensaio de abaixamento.<br>O ensaio deve ser efetuado segundo nota técnica anexa.  | Ensaio                                    | Norma                      |   |    |    |
| <b>2</b>    | <b>Implantação Topográfica</b>            |   |   |                            |   |    |    |
| 2.1         | Cota de betonagem                         | De acordo com o projeto de execução e tolerâncias definidas pela NP ENV 13670-1.  | Visual / Tilt-métrica / Topógrafo / Nivel | -                          |   |    |    |
| 2.2         | Implantação Planimétrica                  |   |   |                            |   |    |    |

Legenda: C – Conforme; NC – Não Conforme; NA – Não Aplicável

|   |  |                   |
|---|--|-------------------|
|  | <b>FCC - FICHA DE CONTROLO DE CONFORMIDADE</b> |                   |
|   | <b>ATIVIDADE - BETONAGEM</b>                   |                   |
|   | Dono de Obra:                                  | Data: 21/07/2016  |
|   | Obra:  | Código: FCC_BETÃO |
| Empreiteiro:  | Página 2 de 1                                  |                   |
| Descrição do elemento:  |  |                   |

|          |  |  |  |                               |   |  |  |
|----------|--|--|--|-------------------------------|---|--|--|
| 2.2      | Altura de Betonagem                        |  |  | -                             |   |  |  |
| <b>3</b> | <b>Cofragem</b>                            |  |  |                               |   |  |  |
| 3.1      | Implantação                                | Verificar a conformidade com o projeto de execução;<br>Verificar as juntas dos painéis de cofragem.  |  | Visual / fita métrica / nível |   |  |  |
| 3.2      | Descofrante                                | Verificar se foi aplicado óleo descofrante em toda a superfície.   |  | Visual                        | - |  |  |
| 3.3      | Estabilidade / estanquidade                | Verificar a uniformidade e a segurança das placas de cofragem.   |  | Visual                        | - |  |  |
| 3.4      | Escoramentos                               | Verificar o posicionamento e a segurança das escoras.  |  | Visual                        | - |  |  |
| <b>4</b> | <b>Armaduras</b>                           |  |  |                               |   |  |  |
| 4.1      | Dímetro e tipo de aço                      | Conforme definido em projeto;<br>Deve ser feita uma verificação cuidadosa dos elementos, admitindo as tolerâncias definidas pela NP ENV 13670-1. |  | Visual / fita métrica         |   |  |  |
| 4.2      | Espaçamento                                |  |  |                               |   |  |  |
| 4.3      | Amenação                                   |  |  |                               |   |  |  |
| 4.4      | Recobrimento                               |  |  |                               |   |  |  |
| <b>5</b> | <b>Betonagem</b>                           |  |  |                               |   |  |  |
| 5.1      | Condições de aplicação, acabamentos e cura | Vibração contínua e uniforme; manutenção do betão húmido; garantir uma altura máxima da queda do betão de 1,5 m                                  |  | Visual                        | - |  |  |
| 5.2      | Espessura das camadas de compactação       | Inferior a 0,50 m em betão armado e a 0,30 m em betão em massa / de acordo com o equipamento de vibração.  |  | Visual                        | - |  |  |
| <b>6</b> | <b>Descofragem</b>                         |  |  |                               |   |  |  |


Legenda: C – Conforme; NC – Não Conforme; NA – Não Aplicável

|  |                             | FCC - FICHA DE CONTROLO DE CONFORMIDADE  |        |                    |                   |  |  |
|---|-----------------------------|--|--------|--------------------|-------------------|--|--|
|   |                             | ATIVIDADE - BETONAGEM  |        |                    |                   |  |  |
| Dono da Obra:   |                             |  |        |                    | Data: 27/07/2016  |  |  |
| Obra:   |                             |  |        |                    | Código: FCC_BETA0 |  |  |
| Empreiteira:  |                             |  |        |                    | Página 3 de 3     |  |  |
| Descrição do elemento:  |                             |  |        |                    |                   |  |  |
| 6.1   | Prazo mínimo de Descafoagem | Lajes (mantendo-se escoras na face inferior) 7 dias<br>Faces inferiores de vigas (mantendo-se escoras na face inferior) 7 dias<br>Faces laterais de vigas, pilares e paredes 2 dias<br>Retirada das escoras das faces inferiores de vigas incluindo vigas embebidas na espessura da laje 16 dias | Visual | -                  |                   |  |  |
| 6.2   | Fissuras                    | Verificar se não houve fissuras devido à retração do betão   | Visual | -                  |                   |  |  |
| 6.3   | Geometria                   | De acordo com o projeto de execução e tolerâncias definidas pela NP ENV 13670-1  | Visual | -                  |                   |  |  |
| <b>Resultado da fiscalização</b>  |                             |  |        |                    |                   |  |  |
| Aprovado _____  |                             | Não Aprovado _____   |        | Condicionado _____ |                   |  |  |
| Observações:  |                             |  |        |                    |                   |  |  |
| Verificado por:   |                             | Data:  |        | Assinatura:        |                   |  |  |

Legenda: C – Conforme; NC – Não Conforme; NA – Não Aplicável

|  |   | <b>FCC - FICHA DE CONTROLO DE CONFORMIDADE</b><br><b>ATIVIDADE – ASSENTAMENTO DE CERÂMICOS</b>   |                                   |                                       |   |    |    |
|---|---|--|-----------------------------------|---------------------------------------|---|----|----|
| Dono de Obra:   |   | Data: 21/07/2016   |                                   |                                       |   |    |    |
| Obra:   |   | Código: FCC_CERÂMICOS  |                                   |                                       |   |    |    |
| Empreiteiro:  |   | Página:   de 1   |                                   |                                       |   |    |    |
| Descrição do elemento:  |   |  |                                   |                                       |   |    |    |
| Item / Ref.   | Atividade                                       | Especificação / Critério de Aceitação  | Tipo de inspeção / Ensaio         | Documentação de referência            | C | NC | NA |
| <b>1</b>  | <b>Condições Prévias</b>                        |  |                                   |                                       |   |    |    |
| 1.1   | Programação do ponto de partida do assentamento | Verificar o ponto de partida do assentamento e a correta distribuição do manual.   | Visual; fita métrica              | -                                     |   |    |    |
| 1.2   | Receção e armazenamento da cerâmica.            | Verificar se o material recebido corresponde com o respetivo PAME; ausência de defeitos aparentes.   | Visual / Documental               | PAME                                  |   |    |    |
| <b>2</b>  | <b>Condições Execução</b>                       |  |                                   |                                       |   |    |    |
| 2.1   | Estado da argamassa (cimento cola)              | Apresentar boa trabalhabilidade.   | Visual                            | -                                     |   |    |    |
| 2.2   | Preparação das superfícies                      | As superfícies onde irá ser assente a cerâmica deve estar livre de poeiras e sujidades, estar rugosas e húmidas.                           | Visual                            | -                                     |   |    |    |
| 2.3   | Assentamento da cerâmica                        | Verificar o assentamento do material sobre o cimento cola, com martelo de borracha; Verificar o correto assentamento segundo uma marcação. | Fita métrica; nível; fio-de-prumo | -                                     |   |    |    |
|   |   | Controlo da dimensão das juntas através da aplicação de cruzetas.  | Visual                            | -                                     |   |    |    |
| 2.5   | Juntação das juntas                             | Correto enchimento da junta através de material específico, através de espátula ou pincel, e remoção do excedente com sisal.               | Visual                            | -                                     |   |    |    |
| <b>Resultado da fiscalização</b>  |   |  |                                   |                                       |   |    |    |
| Aprovado <input type="checkbox"/>   |   | Não Aprovado <input type="checkbox"/>  |                                   | Condicionada <input type="checkbox"/> |   |    |    |
| Observações:  |   |  |                                   |                                       |   |    |    |
| Verificado por:   |   | Data:  |                                   | Assinatura:                           |   |    |    |

Legenda: C – Conforme; NC – Não Conforme; NA – Não Aplicável


|   |  |                           |
|---|--|---------------------------|
|  | <b>FCC - FICHA DE CONTROLO DE CONFORMIDADE</b> |                           |
|   | <b>ATIVIDADE – REDE DE DRENAGEM DE ÁGUA.</b>   |                           |
|   | Dono de Obra:                                  | Data: 21/07/2016          |
|   | Obra:  | Código: FCC_DRENAGEM_AGUA |
|   | Empreiteira:                                   | Página 1 de 1             |
| Descrição do elemento:  |  |                           |

| Item / Def.                      | Atividade                            | Especificação / Critério de Aceitação   | Tipo de Inspeção / Ensaio | Documentação de referência | C                | NC | NA |
|----------------------------------|--------------------------------------|---|---------------------------|----------------------------|------------------|----|----|
| <b>1</b>                         | <b>Condições Prévias</b>             |   |                           |                            |                  |    |    |
| 1.1                              | Receção e armazenamento das tubagens | Verificar se o material recebido corresponde com a respectiva PAME; ausência de defeitos aparentes.<br>Armazenados em locais limpos, protegidos das intempéries e protegidos da radiação solar. | Visual / Documental       | PAME                       |                  |    |    |
| <b>2</b>                         | <b>Condições Execução</b>            |   |                           |                            |                  |    |    |
| 2.1                              | Controlo da implantação das tubagens | Garantir que as tubagens passam nos locais de acordo com o estabelecido nos projetos de execução, incluindo a verificação dos diâmetros.  | Visual; fita métrica.     | -                          |                  |    |    |
|                                  |                                      | Verificar a existência de ventilação, garantindo que seja independente das restantes redes.   | Visual                    | -                          |                  |    |    |
|                                  |                                      | Verificar se as inclinações das tubagens se encontram de acordo com o estabelecido em projeto.  | Nível; visual             | -                          |                  |    |    |
|                                  |                                      | Confirmar a passagem e o cruzamento das tubagens  | Visual                    | -                          |                  |    |    |
| 2.2                              | Equipamentos                         | Controlar a instalação dos equipamentos de acordo com o caderno de encargos, nomeadamente estanquidade, funcionalidade, defeitos e <b>betonagem</b> das lousas.                                 | Visual                    | -                          |                  |    |    |
| 2.3                              | Ensaio                               | Realização de ensaios de estanquidade e de eficiência do sistema  | Visual                    | -                          |                  |    |    |
| <b>Resultado da fiscalização</b> |                                      |   |                           |                            |                  |    |    |
| Aprovado ____                    |                                      | Não Aprovado ____   |                           |                            | Condicional ____ |    |    |
| Observações:                     |                                      |   |                           |                            |                  |    |    |
| Verificado por:                  |                                      |   | Data:                     |                            | Assinatura:      |    |    |

Legenda: C – Conforme; NC – Não Conforme; NA – Não Aplicável

|  |   | FCC - FICHA DE CONTROLO DE CONFORMIDADE   |                                  |                            |   |    |    |
|---|---|---|----------------------------------|----------------------------|---|----|----|
|   |   | ATIVIDADE - ENVIDRAÇADOS  |                                  |                            |   |    |    |
|   |   | Dono da Obra:   | Data: 21/07/2016                 |                            |   |    |    |
|   |   | Obra:   | Código: FCC_Envidraçados         |                            |   |    |    |
|   |   | Empreiteiro:  | Página 1 de 2                    |                            |   |    |    |
|   |   | Descrição do elemento:  |                                  |                            |   |    |    |
| Item / Ref.   | Atividade                               | Especificação / Critério de Aceitação   | Tipo de Inspeção / Ensaio        | Documentação de referência | C | NC | NA |
| <b>1</b>  | <b>Condições Prévias</b>                |   |                                  |                            |   |    |    |
| 1.1   | Receção e armazenamento dos materiais   | Verificar se o material recebido corresponde com o respetivo PAME; ausência de defeitos aparentes.  | Visual / Documental              | PAME                       |   |    |    |
| <b>2</b>  | <b>Condições Execução</b>               |   |                                  |                            |   |    |    |
| 2.1   | Preparação das superfícies              | O suporte deverá estar seco, vão completamente consolidado, superfície regular e homogénea, limpa e livre de materiais soltos e ter boas condições de aderência.  | Visual                           | -                          |   |    |    |
| 2.2   | Fixação das travessas ao vão            | Deve ser utilizado um calço de travamento na travessa inferior quando a largura do caixilho for 21m;<br>A folga entre o aro e o vão deve ter entre 5 e 10mm e ser preenchida posteriormente com mástique de silicone;<br>Os parafusos devem ser de aço inoxidável com buchas adequadas;<br>Nas meias esquadrias deve ser assegurado que o mástique aplicado sela a junta entre os topos dos perfis. | Visual                           | -                          |   |    |    |
| 2.3   | Sistema de correr                       | Aplicar os vedantes e os calços de vedação entre carris.  | Visual                           | -                          |   |    |    |
| 2.4   | Dimensões e tolerâncias                 | As dimensões das folhas e as respetivas tolerâncias enquadram-se nas preconizadas para o sistema.   | Visual; fita métrica; documental | -                          |   |    |    |
| 2.5   | Condições posteriores (após instalação) | Ensaio de estanquidade  | Visual                           | -                          |   |    |    |
|   |   | Verificação da correta abertura da janela   | Manual                           | -                          |   |    |    |
|   |   | Verificação do empenamento  | Visual                           | -                          |   |    |    |

Legenda: C – Conforme; NC – Não Conforme; NA – Não Aplicável

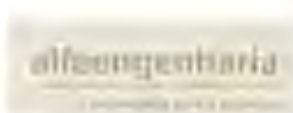
|   |  |                          |
|---|--|--------------------------|
|  | <b>FCC - FICHA DE CONTROLO DE CONFORMIDADE</b> |                          |
|   | <b>ATIVIDADE - ENVIDRAÇADOS</b>                |                          |
|   | Dono de Obra:                                  | Data: 21/07/2016         |
|   | Obra:  | Código: FCC_Envidracados |
|   | Empreiteiro:                                   | Página 2 de 2            |
| Descrição do elemento:  |  |                          |

|                                  |  |   |                |                  |  |  |  |
|----------------------------------|--|---|----------------|------------------|--|--|--|
|                                  |  | Verificação da correta aplicação das ferragens de forma a assegurar o normal funcionamento das folhas móveis. | Visual         | -                |  |  |  |
|                                  |  | Verificar se as peças do sistema de fecho estão devidamente afinadas, não apresentando folgas significativas. | Visual; manual | -                |  |  |  |
| <b>Resultado da fiscalização</b> |  |   |                |                  |  |  |  |
| Aprovado ____                    |  | Não aprovado ____   |                | Condicional ____ |  |  |  |
| Observações:                     |  |   |                |                  |  |  |  |
| Verificado por:                  |  | Data:   |                | Assinatura:      |  |  |  |

Legenda: C – Conforme; NC – Não Conforme; NA – Não Aplicável


|  |   | FCC- FICHA DE CONTROLO DE CONFORMIDADE   |                           |                            |   |    |     |
|---|---|--|---------------------------|----------------------------|---|----|-----|
|   |   | ATIVIDADE - ETICS  |                           |                            |   |    |     |
|   |   | Dono de Obra:  | Data: 21/07/2016          |                            |   |    |     |
|   |   | Obra:  | Código: FCC_ETICS         |                            |   |    |     |
|   |   | Empreiteiro:   | Página 1 de 3             |                            |   |    |     |
|   |   | Descrição do elemento:   |                           |                            |   |    |     |
| Item / Ref.   | Atividade   | Especificação / Critérios de Aceitação   | Tipo de Inspeção / Ensaio | Documentação de referência | C | NC | N/A |
| <b>1</b>  | <b>Condições Prévias</b>  |  |                           |                            |   |    |     |
| 1.1   | Preparação da superfície de suporte                             | Verificar as condições de limpeza do suporte, e se necessário limpar, raspar e escovar substratos.<br>Verificar se as superfícies se encontram desemperadas, niveladas e apromadas.                                  | Visual                    | -                          |   |    |     |
| 1.2   | Receção e armazenamento do isolamento                           | Verificar se o material recebido corresponde com o respetivo PAME; ausência de defeitos aparentes.<br>Armazenamento das placas protegendo os cantos e arestas, e guardadas fora da ação direta do sol e da humidade. | Visual / Documental       | PAME                       |   |    |     |
| 1.3   | Receção e armazenamento da armadura                             | Verificar se o material recebido corresponde com o respetivo PAME; Proteger da ação direta dos raios de sol.   | Visual / Documental       | PAME                       |   |    |     |
| 1.4   | Receção e armazenamento do revestimento / armazenamento / colas | Verificar se o material recebido corresponde com o respetivo PAME; Armazenar em local fechado abrigado da humidade e de temperaturas extremas.   | Visual / Documental       | PAME                       |   |    |     |
| <b>2</b>  | <b>Condições Execução</b>                                       |  |                           |                            |   |    |     |
| 2.1   | Colocação do perfil de arranque                                 | Colocação horizontal no limite inferior da zona a revestir.  | Visual                    | -                          |   |    |     |
| 2.2   | Preparação da cola  | Verificar se a cola respeita as dosagens de acordo com as instruções.<br>Verificar se a mistura tem um aspeto homogéneo.   | Visual / Documental       | -                          |   |    |     |
| 2.3   | Aplicação da cola   | A cola pode ser aplicada contínua, por pontos ou por bandas.<br>Colagem contínua: aplicação sobre toda a superfície da placa exceto à 2cm do contorno;<br>Colagem por pontos: aproximadamente 16 pontos por m2.      | Visual; fita métrica      | -                          |   |    |     |

Legenda: C – Conforme; (NC – Não Conforme; N/A – Não Aplicável)

|   |  |                   |
|---|--|-------------------|
|  | <b>FCC - FICHA DE CONTROLO DE CONFORMIDADE</b> |                   |
|   | <b>ATIVIDADE - ETICS</b>                       |                   |
|   | Dono de Obra:                                  | Data: 21/07/2016  |
|   | Obra:  | Código: FCC_ETICS |
|   | Empreiteiro:                                   | Página 2 de 3     |
| Descrição do elemento:  |  |                   |

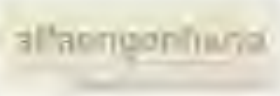
|      |  |   |                      |                                     |  |  |  |
|------|--|---|----------------------|-------------------------------------|--|--|--|
|      |  | Colagem por bandas: aplicadas bandas a 2cm do bordo e pelo menos duas faixas centrais.  |                      |                                     |  |  |  |
| 2.4  | Colocação do isolamento térmico                        | Pressão das placas sobre o suporte; juntas entre placas desfasadas de pelo menos 10cm nas juntas de perfil de arranque; verificação da regularidade das placas; nas ligações com saliências da fachada deixar folga de 5mm.   | Visual; fita métrica |                                     |  |  |  |
| 2.5  | Fixação mecânica                                       | Colocação de buchas após cura da camada de aderência (cerca de 24horas); Verificação do número de buchas conforme especificado.   | Visual; documental   | Especificações técnicas do material |  |  |  |
| 2.6  | Reforço dos pontos singulares                          | Aplicação de rede de fibra de vidro antialcalina (0.3x0.3) nos cantos dos vãos ou descontinuidades entre materiais, diretamente sobre o isolamento.   | Visual               |                                     |  |  |  |
| 2.7  | Colocação da camada de base armada                     | Respeitar as dosagens de acordo com as especificações; colocação da primeira camada após secagem da cola; com a camada ainda fresca colocação da armadura; nas zonas de emendas sobrepor no mínimo 10cm; colocação da segunda camada envolvendo completamente a armadura. | Visual; documental   | Especificações técnicas do material |  |  |  |
| 2.8  | Aplicação do acabamento                                | Respeitar as dosagens de acordo com as especificações; aplicação sobre a camada de base armada.   | Visual; documental   | Especificações técnicas do material |  |  |  |
| 2.9  | Execução de calceira em paredes duplas com caixa-de-ar | Após assentamento de uma frade no pano interior e exterior, executa-se uma calceira em quarto de círculo e com pendente no sentido longitudinal, aplicando-se tubos de drenagem de 2 em 2 metros e salientes em relação ao revestimento, no mínimo 15mm.                  | Visual; fita métrica |                                     |  |  |  |
| 2.10 | Verificação final                                      | Medição da verticalidade com fio de prumo (erro máximo de 10cm por cada 3m)   | Visual; fio de prumo |                                     |  |  |  |

Legenda: C – Conforme; NC – Não Conforme; NA – Não Aplicável

|   |  |                   |
|---|--|-------------------|
|  | <b>FCC - FICHA DE CONTROLO DE CONFORMIDADE</b> |                   |
|   | <b>ATIVIDADE - ETICS</b>                       |                   |
|   | Dono de Obra:                                  | Data: 21/07/2016  |
|   | Obra:  | Código: FCC_ETICS |
| Empreiteiro:  | Página 3 de 1                                  |                   |
| Descrição do elemento:  |  |                   |

|                                  |                   |                   |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Resultado da fiscalização</b> |                   |                   |
| Aprovado ____                    | Não Aprovado ____ | Condicionado ____ |
| Observações:                     |                   |                   |
| Verificado por:                  | Data:             | Assinatura:       |

Legenda: C – Conforme; NC – Não Conforme; NA – Não Aplicável

|   |  |                     |
|---|--|---------------------|
|  | <b>FCC - FICHA DE CONTROLO DE CONFORMIDADE</b> |                     |
|   | <b>ATIVIDADE - PAREDES EM GESSO CARTONADO</b>  |                     |
|   | Dono de Obra:                                  | Data: 21/07/2016    |
|   | Obra:  | Código: FCC_PAREDES |
| Empreiteiro:  | Página 1 de 2                                  |                     |
| Descrição do elemento:  |  |                     |

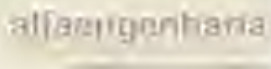
| Item / Ref. | Atividade   | Especificação / Critério de Aceitação  | Tipo de Inspeção / Ensaio        | Documentação de referência | C | NC | NA |
|-------------|---|--|----------------------------------|----------------------------|---|----|----|
| <b>1</b>    | <b>Condições Prévias</b>                                  |  |                                  |                            |   |    |    |
| 1.1         | Receção e armazenamento das placas de gesso cartonado     | Verificar se o material recebido corresponde com o respetivo PAME; Verificar se as paletes se encontram fechadas e sem sinais de deterioração, e se as placas não apresentam defeitos de arqueamento ou enturramento; Armazenamento na horizontal, afastadas do chão para evitar a humidade. | Visual; Documental               | PAME                       |   |    |    |
| <b>2</b>    | <b>Condições Execução</b>                                 |  |                                  |                            |   |    |    |
| 2.1         | Preparação das superfícies                                | Verificar se o suporte é estável; as instalações no interior das paredes divisórias estão preparadas; vãos exteriores finalizados.   | Visual                           | -                          |   |    |    |
| 2.2         | Marcação das cotas  | Verificar a marcação do perímetro das paredes, nomeadamente alinhamento e dimensões.   | Visual; fita métrica; nível      |                            |   |    |    |
| 2.3         | Fixação dos perfis inferiores e superiores                | Fixação de acordo com o alinhamento definido; A distância entre os parafusos de fixação deve ser no máximo 0,60m.  | Visual; fita métrica             |                            |   |    |    |
| 2.4         | Fixação dos montantes aos perfis                          | A distância entre os perfis deve ser cerca de 0,40m (ou outra especificada em caderno de encargos próprio).  | Fita métrica                     |                            |   |    |    |
| 2.5         | Coleção do isolamento                                     | Garantir que cobre todos os espaços.   | Visual                           |                            |   |    |    |
| 2.6         | Instalação de tubagens hidráulicas e cablagens elétricas. | Verificar consoante os projetos de especialidades  | Visual; fita métrica; documental | Projetos de especialidades |   |    |    |

Legenda: C – Conforme; NC – Não Conforme; NA – Não Aplicável

|   |  |                     |
|---|--|---------------------|
|  | <b>FCC – FICHA DE CONTROLO DE CONFORMIDADE</b> |                     |
|   | <b>ATIVIDADE – PAREDES EM GESSO CARTONADO</b>  |                     |
|   | Dono de Obra:                                  | Data: 21/07/2016    |
|   | Obra:  | Código: FCC_PAREDES |
|   | Empreiteira:                                   | Página 2 de 2       |
| Descrição do elemento:  |  |                     |

|                                  |                                    |   |                             |   |  |                 |  |  |
|----------------------------------|------------------------------------|---|-----------------------------|---|--|-----------------|--|--|
| 2.7                              | Nivelamento da estrutura           | Verificar se o nivelamento local em 0,20m é $\leq 1\text{mm}$ ; o nivelamento geral em 2m é $\leq 5\text{mm}$ ; e a horizontalidade em relação à cota de referência é $\leq 3\text{mm/m}$ , sem exceder 20mm.   | Régua; nível                | - |  |                 |  |  |
| 2.8                              | Fixação das placas sob os perfis   | Garantir uma disposição perpendicular aos perfis secundários; as juntas desencontradas (distância entre topos deve ser no mínimo 0,40m); a distância entre parafusos de fixação deve ser no máximo 0,20m; separação entre placas (junta com aproximadamente 4mm); alinhamento das juntas e desfasamento vertical entre placas adjacentes. | Visual; fita métrica; régua | - |  |                 |  |  |
| 2.9                              | Tratamento das juntas              | Verificar a limpeza das juntas; aplicação da pasta para juntas; colocação de fita para juntas e 2ª de mão de pasta para juntas (ter atenção ao tempo de secagem)  | Visual                      | - |  |                 |  |  |
| 2.10                             | Aplicação de massa de acabamento   |   | Visual                      | - |  |                 |  |  |
| 2.11                             | Colocação de dispositivos técnicos |   | Visual                      | - |  |                 |  |  |
| 2.12                             | Após conclusão verificar           | Conjunta estável e indeformável;<br>Superfície regular e homogênea;<br>Planeza.   | Visual; régua               | - |  |                 |  |  |
| <b>Resultado da fiscalização</b> |                                    |   |                             |   |  |                 |  |  |
| Aprovado _____                   |                                    |   | Não Aprovado _____          |   |  | Condição: _____ |  |  |
| Observações:                     |                                    |   |                             |   |  |                 |  |  |
| Verificado por:                  |                                    |   | Data:                       |   |  | Assinatura:     |  |  |

Legenda: C – Conforme; NC – Não Conforme; NA – Não Aplicável

|   |  |       |
|---|--|-------|
|  | <b>PEDIDO DE APROVAÇÃO DE MATERIAIS E EQUIPAMENTOS</b> |       |
|   | Nome da Obra:  | N.º:  |
|   | Obra:  | Data: |
|   | Empreiteiro:   | Ref.: |



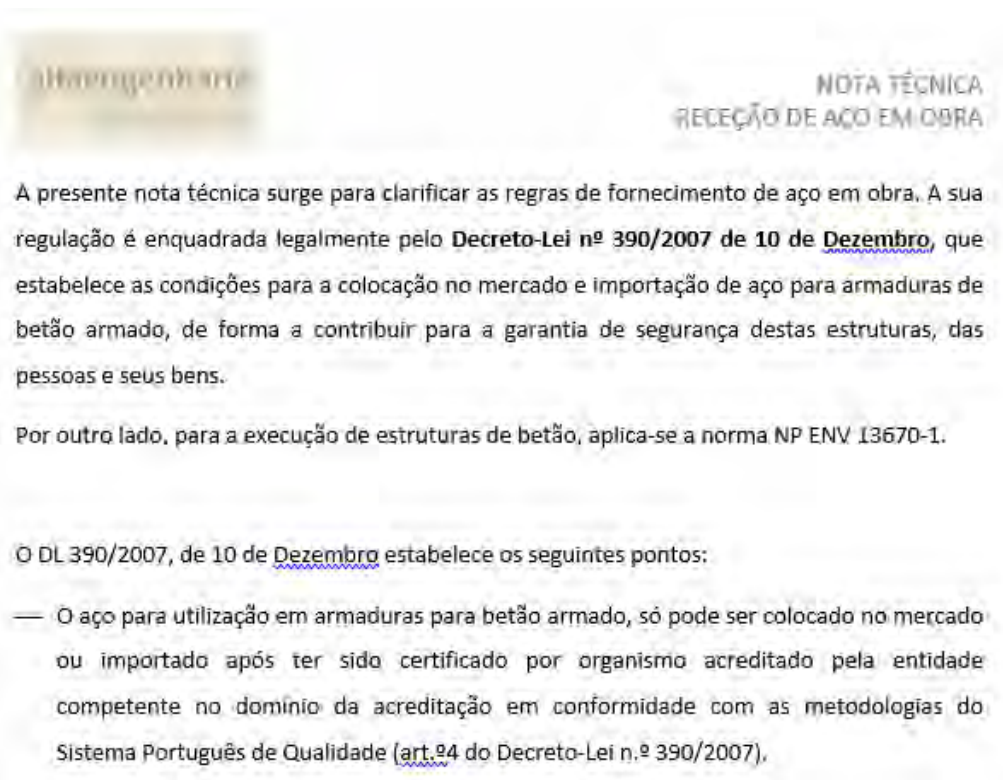
|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| Identificação do Material ou Equipamento: |                                 |
| Especialidade                             |                                 |
| Artigo da lista de preços unitários       |                                 |
| Material / Equipamento Proposto           |                                 |
| Fabricante / Fornecedor                   |                                 |
| Amostra                                   | Sim ___ Não ___ Descrição _____ |

|                                |                               |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Documentação Anexa:            |                               |
| Declaração do Fabricante _____ | Documento Homologação _____   |
| Marcação CE _____              | Especificações Técnicas _____ |
| Produto Certificado _____      | Catálogos _____               |
| Produto Nacional _____         | Outros _____                  |

|                          |              |
|--------------------------|--------------|
| Parecer da Fiscalização: |              |
| Conforme _____           | Observações: |
| Condicionado _____       |              |
| Não conforme _____       |              |

|              |
|--------------|
| Observações: |
|              |

|                      |                 |
|----------------------|-----------------|
| Assinaturas / Datas: |                 |
| Fiscalização de obra | Diretor de Obra |
|                      |                 |



A presente nota técnica surge para clarificar as regras de fornecimento de aço em obra. A sua regulação é enquadrada legalmente pelo **Decreto-Lei nº 390/2007 de 10 de Dezembro**, que estabelece as condições para a colocação no mercado e importação de aço para armaduras de betão armado, de forma a contribuir para a garantia de segurança destas estruturas, das pessoas e seus bens.

Por outro lado, para a execução de estruturas de betão, aplica-se a norma NP ENV 13670-1.

O DL 390/2007, de 10 de Dezembro estabelece os seguintes pontos:

- O aço para utilização em armaduras para betão armado, só pode ser colocado no mercado ou importado após ter sido certificado por organismo acreditado pela entidade competente no domínio da acreditação em conformidade com as metodologias do Sistema Português de Qualidade (art.º4 do Decreto-Lei n.º 390/2007),
  
- A certificação deve assegurar a conformidade do aço para utilização em armaduras para betão armado com as normas ou especificações técnicas portuguesas aplicáveis ou com normas europeias ou normas ou especificações técnicas equivalentes de outro Estado Membro da União Europeia, da Turquia, ou de um Estado subscritor do Acordo sobre o Espaço Económico Europeu (n.º1 do art.º5 do Decreto-Lei n.º 390/2007).
  
- A recolha de amostras, a realização dos ensaios de controlo externo, bem como a elaboração dos relatórios de apreciação dos resultados dos ensaios deve ser efetuada por entidades devidamente credenciadas para o efeito no âmbito do SPQ (n.º2 do art.º5 do Decreto-Lei n.º 390/2007).
  
- Os relatórios e certificados de conformidade devem ser reconhecidos e aceites caso cumpram o estipulado no nº2 do artigo 9.º do Decreto-Lei n.º113/93, de 10 de Abril, que diz que estes são conformes caso obtenham resultados satisfatórios em ensaios realizados por entidades reconhecidas pelo Estado Membro de que fazem parte, desde que executados de acordo com os métodos em vigor em Portugal, ou considerados equivalentes pelo IPQ.

De acordo com a norma NP ENV 13670-1, e o Decreto-Lei 301/07 é obrigatório para as estruturas objeto das classes de inspeção 2 e 3, a aceitação das armaduras de aço pelo utilizador através da inspeção e dos ensaios de receção previstos na NP ENV 13670-1, feitos

afhamqenthuaria

NOTA TÉCNICA  
RECEÇÃO DE AÇO EM OBRA

em laboratórios acreditados, podendo a amostragem ser efetuada no local da entrega destes produtos na obra, pelo produtor sob controlo do utilizador.

Para as estruturas da classe de inspeção 1, os ensaios de receção apenas são obrigatórios quando estabelecidos nas especificações de projeto, ou então podem ser solicitados pelo utilizador ou pelas entidades de supervisão, em caso de dúvida sobre a conformidade das armaduras.

NOTA TÉCNICA  
FORNECIMENTO DE BETÃO EM OBRA

A regulação do fornecimento de betão em obra é enquadrada legalmente pelo **Decreto-Lei n.º 301/2007 de 23 de Agosto**, que estabelece as condições a que deve obedecer a colocação no mercado dos betões de ligantes hidráulicos, bem como as disposições relativas à execução de estruturas de betão, de forma a contribuir para garantir a segurança destas estruturas, das pessoas e seus bens.

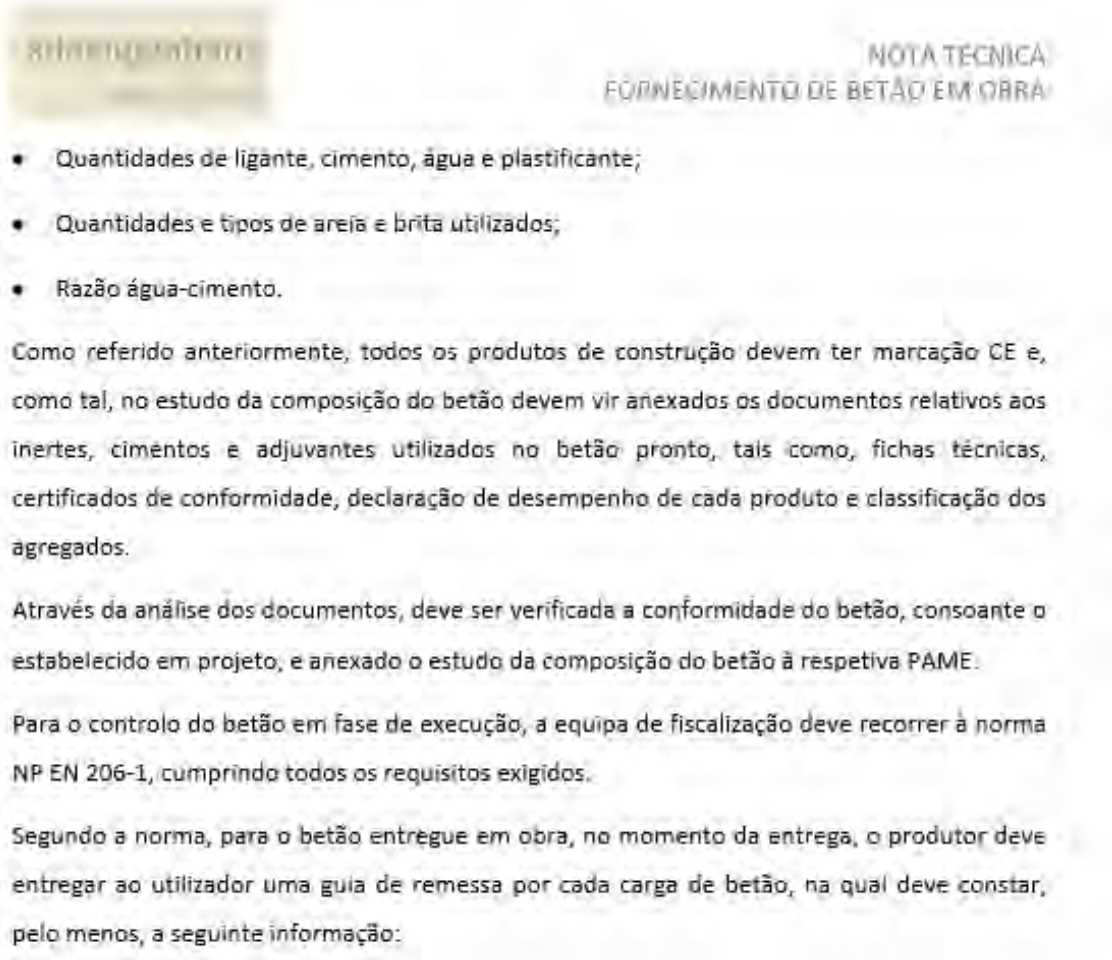
Por conseguinte, aplica-se para a especificação e produção dos betões, a Norma NP EN 206-1 "Betão. Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade", assim como para a execução de estruturas Norma NP ENV 13670-1 "Execução de estruturas em Betão. Parte 1: Regras Gerais".

O DL 301/2007 estabelece os seguintes pontos:

- O betão a ser colocado no mercado nacional deve ser especificado e produzido em conformidade com a norma NP EN 206-1 (n.º 1 do art.º 4 do Decreto-Lei n.º 301/2007).
- O betão que se destina a ser utilizado em estruturas ou produtos estruturais para os quais tenha sido estabelecida a classe de inspeção 3, deve ter o controlo da sua produção certificado, com emissão do respetivo certificado, por um organismo de certificação acreditado (n.º 2 do art.º 5 do Decreto-Lei n.º 301/2007).
- As classes de inspeção 2 e 3 obrigam à execução de ***ensaios de identidade*** para a verificação da resistência à compressão do betão, sendo esta uma obrigatoriedade do utilizador, isto é, do construtor, devendo estes ensaios ser efetuados em laboratório acreditado (n.º 3 do art.º 6 do Decreto-Lei n.º 301/2007).
- Para as estruturas objeto da classe de inspeção 1, os ensaios de identidade são obrigatórios quando estabelecidos nas especificações do projeto. No entanto, podem sempre ser executados pelo utilizador ou pelas entidades de supervisão, em caso de dúvida acerca da conformidade do betão ou das armaduras.

O estudo da composição do betão é o único documento que o empreiteiro pode entregar à fiscalização e ao projetista que permita saber a dosagem de cada material a empregar no fabrico do betão, de modo a conseguir o tipo de betão especificado no projeto.

Do estudo da composição do betão entregue pelo empreiteiro à equipa de fiscalização e projetista consta uma tabela com:



- Quantidades de ligante, cimento, água e plastificante;
- Quantidades e tipos de areia e brita utilizados;
- Razão água-cimento.

Como referido anteriormente, todos os produtos de construção devem ter marcação CE e, como tal, no estudo da composição do betão devem vir anexados os documentos relativos aos inertes, cimentos e adjuvantes utilizados no betão pronto, tais como, fichas técnicas, certificados de conformidade, declaração de desempenho de cada produto e classificação dos agregados.

Através da análise dos documentos, deve ser verificada a conformidade do betão, consoante o estabelecido em projeto, e anexado o estudo da composição do betão à respetiva PAME.

Para o controlo do betão em fase de execução, a equipa de fiscalização deve recorrer à norma NP EN 206-1, cumprindo todos os requisitos exigidos.

Segundo a norma, para o betão entregue em obra, no momento da entrega, o produtor deve entregar ao utilizador uma guia de remessa por cada carga de betão, na qual deve constar, pelo menos, a seguinte informação:

- Nome da central de betão pronto;
- Número de série da guia de remessa;
- Data e hora da amassadura, i.e. do primeiro contacto entre o cimento e a água;
- Matrícula ou identificação do veículo;
- Nome do cliente;
- Nome e localização da obra;
- Pormenores ou referências a especificações, p.e., número de código;
- Quantidade de betão entregue, em metros cúbicos;
- Declaração de conformidade com referência às especificações e à EN 206-1;
- Nome e logótipo do organismo de certificação, se aplicável;
- Hora de chegada do betão ao local de construção;
- Hora do início da descarga;
- Hora do fim da descarga.

Por norma, quando o betão pronto é de comportamento especificado a guia de remessa de betão pronto deve conter ainda:

- Classe de resistência;



- Classe de exposição ambiental;
- Classe de teor de cloretos;
- Classe de consistência ou valor pretendido;
- Tipo de adjuvantes e adições.

De acordo com a **NP ENV 13670-1 2007**, as classes de inspeção a empregar deverão estar de acordo com disposições válidas no local da construção e deverão ser estabelecidas nas especificações de projeto.

|                                       | <i>Classe de Inspeção 1</i>  | <i>Classe de Inspeção 2</i>  | <i>Classe de Inspeção 3</i>  |
|---------------------------------------|--|--|--|
| <b>Tipo de construção</b>             | Edifícios ≤ 2 andares.   | Edifícios > 2 andares;<br>Pontes correntes.  | Pontes especiais; Edifícios de grande altura;<br>Grandes barragens;<br>Edifícios para centrais nucleares; Reservatórios.     |
| <b>Tipo de elementos estruturais</b>  | Lajes e vigas de betão armado com vãos < 10 m;<br>Pilares e paredes simples;<br>Estruturas de fundações simples. | Lajes e vigas de betão armado com vãos > 10 m;<br>Pilares e paredes esbeltos; Maciços de encabeçamento de estacas; Arcos < 10 m. | Arcos e abóbadas em betão armado;<br>Elementos fortemente comprimidos<br>Fundações delicadas e complicadas;<br>Arcos > 10 m. |
| <b>Tipo de tecnologias utilizadas</b> | Estruturas com elementos prefabricados.  | Estruturas com elementos prefabricados.  | Estruturas com elementos prefabricados;<br>Tolerâncias especiais.  |
| <b>Betão</b>                          | Classe de resistência ≤ C25/30   | Qualquer classe de resistência.  | Qualquer classe de resistência.  |
| <b>Classe de exposição</b>            | X0; XC1; XC2; XA1; XF1   | Qualquer classe de exposição   | Qualquer classe de exposição   |
| <b>Armaduras</b>                      | Passivas.  | Passivas e de pré-esforço.   | Passivas e de pré-esforço.   |



A norma NP EN 206-1, 2006, exige um plano de amostragem e ensaio, especificado no seu capítulo 8.2.1.2.

Quadro 13 – Frequência mínima de amostragem para avaliação da conformidade

| Produção   | Frequência mínima de amostragem         |  |  |
|--|---|--|--|
|  | Primeiros 50 m <sup>3</sup> de produção | Produção subsequente aos primeiros 50 m <sup>3</sup> <sup>a)</sup> |  |
|  |   | Betão com controlo da produção certificado                         | Betão sem controlo da produção certificado |
| Inicial (nté se obterem, pelo menos, 35 resultados)                              | 5 amostras                              | 1/200 m <sup>3</sup> ou 2/semana de produção                       | 1/150 m <sup>3</sup> ou 1/dia de produção  |
| Contínua <sup>b)</sup> (quando estiverem disponíveis, pelo menos, 35 resultados) |   | 1/400 m <sup>3</sup> ou 1/semana de produção                       |  |

*a) A amostragem deve ser distribuída pela produção e não deve ser mais de 1 amostra por cada 25 m<sup>3</sup>.*  
*b) Quando o desvio padrão dos últimos 15 resultados for superior a 1,37 c.i., a frequência de amostragem deve ser incrementada para a requerida para a produção inicial nos próximos 35 resultados de ensaio.*

Após a recolha das amostras e realizados os ensaios de compressão aos 28 dias, procede-se ao tratamento dos resultados segundo os critérios de conformidade da resistência à compressão explicitados nos capítulos 8.2.1.2 e 8.2.1.3 da norma.

A norma também requer a elaboração de ensaios para averiguar a conformidade da classe de consistência e para isso refere um grupo de ensaios possíveis, o ensaio de abaixamento, vêbê, grau de compatibilidade e espalhamento, ficando ao critério da fiscalização com acordo do empreiteiro a elaboração de pelo menos um destes ensaios aquando da chegada de cada carga de betão pronto.

Por norma, é efetuado o ensaio de abaixamento ou ensaio de slump, regulado pela norma NP EN 12350-2:2009, e de acordo com os seguintes valores exigíveis.

Quadro 3 – Classes de abaixamento

| Classe           | Abaixamento em mm |
|------------------|-------------------|
| S1               | 10 a 40           |
| S2               | 50 a 90           |
| S3               | 100 a 150         |
| S4               | 160 a 210         |
| S5 <sup>1)</sup> | ≥ 220             |

Após confirmados os resultados do ensaio de abaixamento, da recolha de amostras e da confirmação dos dados da guia de remessa e fiscalização pode permitir a betonagem dos elementos em questão.

O plano de segurança e saúde (PSS) é um documento que tem como objetivo definir um conjunto de regras e metodologias a aplicar numa empreitada, contribuindo para um aumento da segurança em obra.

Segundo o n.º 1 do artigo 5º do DL 273/2003, de 29 de Outubro, o Dono de Obra deve elaborar ou mandar elaborar, durante a fase de projeto, o plano de segurança e saúde para garantir a segurança e a saúde de todos os intervenientes no estaleiro.

De acordo com o n.º 2 do artigo 5º do DL 273/2003, de 29 de Outubro, o PSS constitui um dos elementos fundamentais do ponto de vista do planeamento e da organização da segurança no trabalho em estaleiros temporários ou móveis, o que justifica a necessidade de um aperfeiçoamento constante da respetiva regulamentação.

O conteúdo e a extensão do PSS irão depender da natureza, dimensão e complexidade do empreendimento.

O Coordenador de segurança em projeto é um técnico que deve integrar a equipa de projetistas no sentido de garantir que a segurança dos trabalhadores é respeitada e analisada no planeamento e preparação do projeto de execução da obra. É da sua responsabilidade a elaboração do PSS e da Compilação Técnica.

O PSS é um documento dinâmico, encontrando-se em constante evolução. A sua preparação inicia-se durante a conceção geral da obra e será concluída com a receção definitiva do empreendimento.

A entidade executante tem o domínio da organização e direção do estaleiro, por esse motivo encontra-se na posição ideal para desenvolver o PSS para a fase da execução da obra. É da responsabilidade do Coordenador de segurança em obra validar tecnicamente o seu desenvolvimento e eventuais alterações a realizar, cuja aprovação é da responsabilidade do Dono de Obra.

A execução da obra e o planeamento da segurança no trabalho é da responsabilidade da entidade executante, sendo a verificação do seu cumprimento da responsabilidade do Coordenador de segurança. Deste modo, é garantido que as circunstâncias da execução da obra não se sobrepõem à segurança dos trabalhadores.

A luz do artigo 5º do DL 273/2003, de 29 de Outubro, o PSS é obrigatório em obras sujeitas a projeto e que envolvam trabalhos que impliquem riscos especiais previstos no artigo 7º ou que impliquem a comunicação prévia de abertura do estaleiro

Os riscos relativos a trabalhos especiais são os seguintes ([art.º7](#) do Decreto-Lei n.º 273/2003):

- a) Que exponham os trabalhadores a risco de soterramento, de afundamento ou de queda em altura, particularmente agravados pela natureza da atividade ou dos meios utilizados, ou do meio envolvente do posto, ou da situação de trabalho, ou do estaleiro;
- b) Que exponham os trabalhadores a riscos químicos ou biológicos suscetíveis de causar doenças profissionais;
- c) Que exponham os trabalhadores a radiações ionizantes, quando for obrigatória a designação de zonas controladas ou vigiadas;
- d) Efetuados na proximidade de linhas elétricas de média e alta tensão;
- e) Efetuados em vias ferroviárias ou rodoviárias que se encontrem em utilização, ou na sua proximidade;
- f) De mergulho com aparelhagem ou que impliquem risco de afogamento;
- g) Em poços, túneis, galerias ou caixões de ar comprimido;
- h) Que envolvam a utilização de explosivos, ou suscetíveis de originarem riscos derivados de atmosferas explosivas;
- i) De montagem e desmontagem de elementos pré-fabricados ou outros, cuja forma, dimensão ou peso exponham os trabalhadores a risco grave;
- j) Que o dono da obra, o autor do projeto ou qualquer dos coordenadores de segurança fundamentalmente considere suscetíveis de constituir risco grave para a segurança e saúde dos trabalhadores.

O DO deve nomear um Coordenador de Segurança em Projeto (CSP) ([n.º1](#) do [art.º9](#) do Decreto-Lei n.º 273/2003):

- a) Se o projeto da obra for elaborado por mais de um sujeito, desde que as suas opções arquitetónicas e escolhas técnicas impliquem complexidade técnica para a integração dos princípios gerais de prevenção de riscos profissionais ou os trabalhos a executar envolvam riscos especiais previstos no [art.º7](#);
- b) Se for prevista a intervenção na execução da obra de duas ou mais empresas, incluindo a entidade executante e subempreiteiros.

O DO deve nomear um Coordenador de Segurança em Obra (CSO) se nela intervierem duas ou mais empresas, incluindo a entidade executante e subempreiteiros (n.º2 do art.º9 do Decreto-Lei n.º 273/2003).

Com vista a cumprir todos os objetivos a que se destina, o PSS é composto por:

- Documentação de Segurança, Higiene e Saúde no trabalho
  - Comunicação Prévia
  - Seguros
  - Horário de trabalho
  - Registos de controlo da entidade executante
  - Registos de controlo das entidades empregadoras
  - Registo de saúde dos trabalhadores
  - Registo de entrega dos equipamentos de proteção individual
  
  - Plano de formação e informação dos trabalhadores
  - Registo de controlo de equipamentos de estaleiro
  - Registos de inspeção e prevenção
  - Registo de Não-Conformidade e Ações Corretivas/Preventivas
  - Registo de acidentes
- Descrição dos métodos e Processos construtivos
- Identificação dos riscos
  - Trabalhos com riscos especiais
  - Materiais com riscos especiais
  - Fichas de análise de riscos
- Organização geral do estaleiro
  - Condicionismos existentes no local
  - Riscos mais frequentes

afanmpentaria

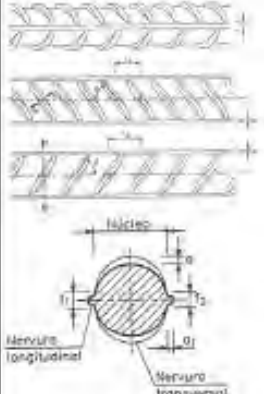
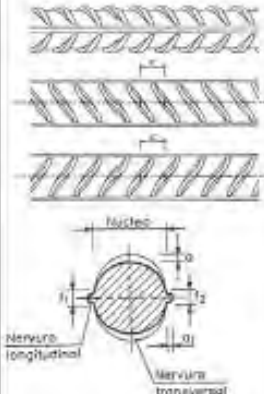
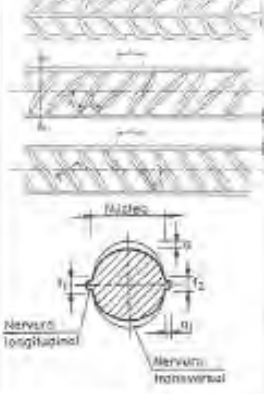
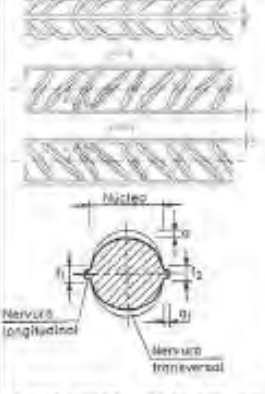
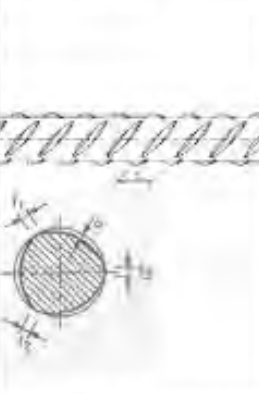
NOTA TÉCNICA  
PLANO DE SEGURANÇA E SAÚDE

- o Medidas de prevenção
- o Identificação dos trabalhadores no Estaleiro/Obra
- o Organização dos serviços de emergência na obra
- o Plano de Saúde dos Trabalhadores
- o Plano de visitantes
- o Sinalização de segurança
- o Plano de emergência
- o Plano de proteção individual
- o Proteção coletiva
- Compilação técnica
  - o Memória descritiva
  - o Caracterização da obra
  - o Ações de prevenção de risco



## **ANEXO II – TABELA PARA IDENTIFICAÇÃO DOS VARÕES DE BETÃO ARMADO**

Varões para betão armado (mais usados)

|  | A400 NR<br>Alta ductilidade   | A400 NR SD<br>Ductilidade especial   | A500 NR<br>Alta ductilidade   | A500 NR SD<br>Ductilidade especial  | A500 ER<br>Ductilidade normal<br>(A500 EL só para redes)  |
|--|---|--|---|---|---|
|  | LNEC E 449-1998   | LNEC E 455-2002  | LNEC E 450-1998   | LNEC E 460-2002   | LNEC E 456-2000   |
| <b>R<sub>e</sub></b><br>mínimo; k (5%)                                   | 400 MPa   | 400 MPa<br><b>R<sub>e</sub>/400</b> ≤ 1,20 (90%)   | 500 MPa   | 500 MPa<br><b>R<sub>e</sub>/500</b> ≤ 1,20 (90%)  | 500 MPa (R <sub>e,0.2%</sub> )  |
| <b>R<sub>m</sub></b> mínimo; k (5%)                                      | 460MPa  | 460MPa   | 550MPa  | 550MPa  | 550MPa  |
| <b>R<sub>m</sub>/R<sub>e</sub></b><br>Mínimo; k (10%)<br>Máximo; k (90%) | 1,08<br>-   | 1,15<br>1,35   | 1,08<br>-   | 1,15<br>1,35  | 1,05<br>-   |
| <b>A<sub>gt</sub></b> Extensão total na força máxima; mínimo; k (10%)    | 5%  | 6%   | 5%  | 6%  | 2,5%  |
| <b>soldabilidade</b>   | Sim, pois C <sub>Mn</sub> < 0,52 *  | Sim, pois C <sub>Mn</sub> < 0,52 *   | Sim, pois C <sub>Mn</sub> < 0,52 *  | Sim, pois C <sub>Mn</sub> < 0,52 *  | Sim, pois C <sub>Mn</sub> < 0,45 *  |
| <b>Diâmetros (mm)</b>  | 6 8 10 12 16 20 25 32 40  | 6 8 10 12 16 20 25 32 40   | 6 8 10 12 16 20 25 32 40  | 6 8 10 12 16 20 25 32 40  | 6 8 10 12 e outros para redes   |
| <b>Superfície rugosa de alta aderência</b>                               |  <p>2 séries de nervuras transversais Com diferentes afastamentos nos dois lados do varão. Na mesma série as nervuras têm a mesma inclinação.</p> |  <p>2 séries de nervuras transversais Com afastamentos iguais e a mesma inclinação nos dois lados</p> |  <p>Uma série com nervuras com a mesma inclinação e afastamento A outra série contém duas subséries de nervuras com o mesmo afastamento mas de inclinações diferentes</p> |  <p>2 séries semelhantes de nervuras transversais cada uma constituída por duas subséries de inclinações diferentes e uniformemente espaçadas</p> |  <p>3 séries de nervuras transversais</p> |

|   | <b>A400 NR<br/>Alta ductilidade</b>   | <b>A400 NR SD<br/>Ductilidade especial</b>  | <b>A500 NR<br/>Alta ductilidade</b>  | <b>A500 NR SD<br/>Ductilidade especial</b>   | <b>A500 ER<br/>Ductilidade normal<br/>(A500 EL só para redes)</b>  |
|---|---|---|--|--|--|
|   | <b>LNEC E 449-1998</b>  | <b>LNEC E 455-2002</b>  | <b>LNEC E 450-1998</b>   | <b>LNEC E 460-2002</b>   | <b>LNEC E 456-2000</b>   |
| <b>Aptidão à dobragem</b>   | Dobragem simples até $\Phi 12\text{mm}$<br>Dobragem-desdobragem para $\Phi > 12\text{mm}$   | Dobragem simples até $\Phi 12\text{mm}$<br>Dobragem-desdobragem para $\Phi > 12\text{mm}$   | Dobragem simples até $\Phi 12\text{mm}$<br>Dobragem-desdobragem para $\Phi > 12\text{mm}$  | Dobragem simples até $\Phi 12\text{mm}$<br>Dobragem-desdobragem para $\Phi > 12\text{mm}$  | Dobragem simples   |
| <b>Matéria prima</b>  | A partir de billetes procedentes de lingotes ou por vazamento contínuo  | A partir de billetes procedentes de lingotes ou por vazamento contínuo  | A partir de billetes procedentes de lingotes ou por vazamento contínuo   | A partir de billetes procedentes de lingotes ou por vazamento contínuo   | A partir de varão liso laminado a quente de aço maciço   |
| <b>Processo de produção</b>   | laminagem a quente<br>laminagem a quente e tratamento superficial através de água, na linha de laminagem<br>laminagem a quente e deformação a frio posterior com diminuição da secção inferior a 10%        | laminagem a quente<br>laminagem a quente e tratamento superficial através de água, na linha de laminagem  | laminagem a quente<br>laminagem a quente e tratamento superficial através de água, na linha de laminagem<br>laminagem a quente e deformação a frio posterior com diminuição da secção inferior a 10%         | laminagem a quente<br>laminagem a quente e tratamento superficial através de água, na linha de laminagem   | endurecimento a frio em geral por laminagem a frio com impressão do perfil nervurado combinada ou não com estiragem ou trefilagem.   |
| <b>Fadiga</b>   | É aplicada força de tração cíclica entre um valor max. e um min. até romper ou até alcançar $2 \times 10^6$ ciclos<br>$\sigma_{max} = 240\text{MPa}$<br>$\sigma_{min} = 90\text{MPa}$<br>freq. = 1 a 200Hz. | É aplicada força de tração cíclica entre um valor max. e um min. até romper ou até alcançar $2 \times 10^6$ ciclos<br>$\sigma_{max} = 240\text{MPa}$<br>$\sigma_{min} = 90\text{MPa}$<br>freq. = 1 a 200Hz. | É aplicada força de tração cíclica entre um valor max. e um min. até romper ou até alcançar $2 \times 10^6$ ciclos<br>$\sigma_{max} = 300\text{MPa}$<br>$\sigma_{min} = 150\text{MPa}$<br>freq. = 1 a 200Hz. | É aplicada força de tração cíclica entre um valor max. e um min. até romper ou até alcançar $2 \times 10^6$ ciclos<br>$\sigma_{max} = 300\text{MPa}$<br>$\sigma_{min} = 150\text{MPa}$<br>freq. = 1 a 200Hz. | É aplicada força de tração cíclica entre um valor max. e um min. até romper ou até alcançar $2 \times 10^6$ ciclos<br>$\sigma_{max} = 300\text{MPa}$<br>$\sigma_{min} = 150\text{MPa}$<br>freq. = 1 a 200Hz. |
| <b>Ensaio cíclico alternados</b>  |   | O provete de varão terá de resistir a 10 ciclos de histerese tração compressão com:<br>Deformação max. = $\pm 2,5\%$<br>Frequência < 3Hz.<br>Compr <sup>o</sup> livre do provete: 10 $\Phi$                 |  | O provete de varão terá de resistir a 10 ciclos de histerese tração compressão com:<br>Deformação max. = $\pm 2,5\%$<br>Frequência < 3Hz.<br>Compr <sup>o</sup> livre do provete: 10 $\Phi$                  |  |
| <b>Marcas de identificação</b>  |   |   |  |  |  |
| Código que consiste no engrossamento de certas nervuras transversais.<br>O início da identificação e o sentido de leitura é assinalado por uma nervura normal entre duas engrossadas à esquerda do observador. Depois da 2ª nervura engrossada há um conjunto de nervuras normais que identifica o país (7 Portugal). Segue-se outra nervura engrossada. A seguir aparece a identificação do fabricante através de uma ou duas séries de nervuras normais entre uma ou duas nervuras engrossadas.<br>Este código é repetido uniformemente ao longo do varão |   |   |  |  |  |
|   |   |   |  |  |  |

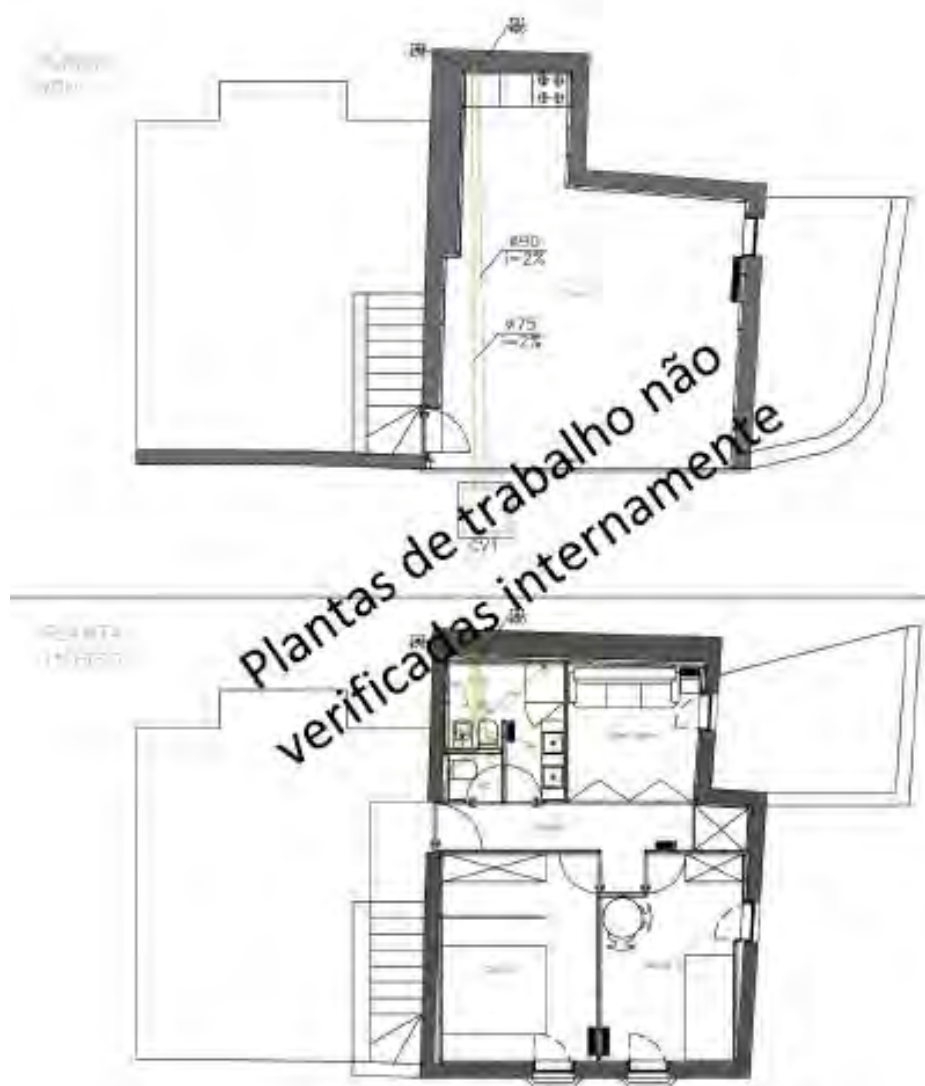


## **ANEXO III – ESTUDOS PRÉVIOS (ESBOÇOS DAS PLANTAS)**



Planta exterior  
Sem escola





## **ANEXO IV – CÁLCULOS CYPEVAC III**

## CYPEVAC III Clássico

Nome da Obra: caso de estudo cedofeita

Data:12/10/16

## 1. Quarto 2

| Coeficiente de absorção sonora |        |         |         |
|--------------------------------|--------|---------|---------|
| Referência                     | 500 Hz | 1000 Hz | 2000 Hz |
| Pe1                            | 0.030  | 0.030   | 0.040   |
| Janelas (Pe1)                  | 0.050  | 0.040   | 0.030   |
| Ar                             | 0.000  | 0.003   | 0.011   |

| Área de absorção sonora (m <sup>2</sup> ) |                       |        |         |         |
|---|-----------------------|--------|---------|---------|
| Referência                                | Sup m <sup>2</sup>    | 500 Hz | 1000 Hz | 2000 Hz |
| Pe1                                       | 7.4                   | 0.22   | 0.22    | 0.30    |
| Janelas (Pe1)                             | 2.2                   | 0.11   | 0.09    | 0.07    |
| Ar  | V = 27 m <sup>3</sup> | 0.00   | 0.08    | 0.30    |
| Total                                     |                       | 0.33   | 0.39    | 0.67    |

## Área de absorção sonora equivalente

$$A = 0.46 \text{ m}^2$$

## Tempo de reverberação

$$T = 10.42 \text{ s}$$

## Tempo de reverberação de referência

$$T = 0.50 \text{ s}$$

Produzido por uma versão educativa de CYPE

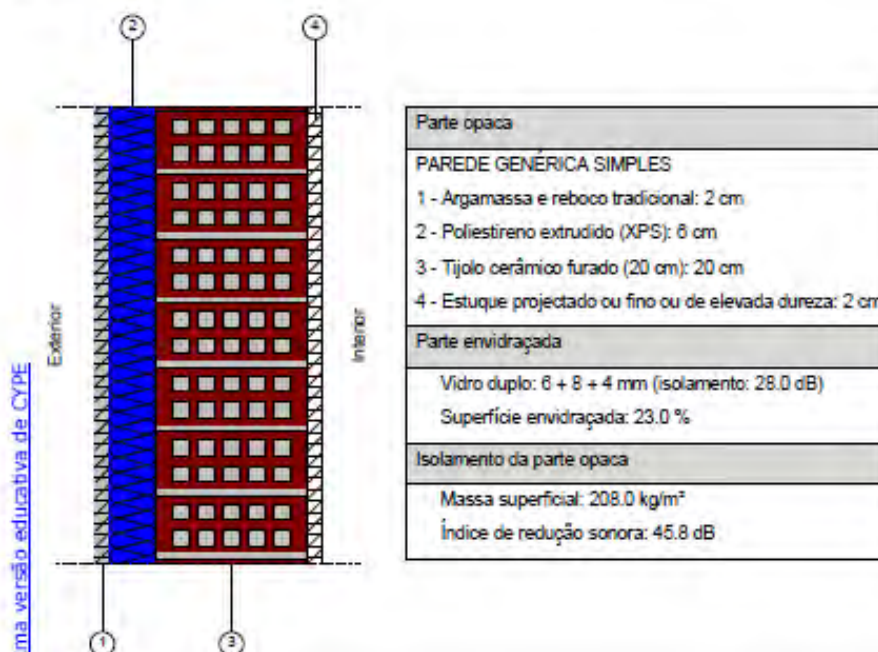
## CYPEVAC III Clássico

Nome da Obra: caso de estudo cedofeita

Data: 12/10/16

## 1.1. Paredes exteriores

## 1.1.1. Pe1



|  |  |          |
|--|--|----------|
| Referência: Pe1  |  |          |
| Verificação  | Valores  | Estado   |
| <p>Isolamento sonoro médio:</p> <p>- Zonas mistas ou em zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído: Decreto-Lei nº96/2008. Artigo 5º-1 a-l.</p> | <p>D 2m,nT,w, min: 33 dB</p> <p>Calculado: 33,7 dB</p> | Verifica |
| Cumpram-se todas as verificações   |  |          |
| <p>Informação adicional:</p> <p>- Massa superficial: 208,0 kg/m<sup>2</sup></p> <p>- O isolamento sonoro médio calculou-se segundo a lei da massa</p>  |  |          |

## CYPEVAC III Clássico

Nome da Obra: caso de estudo cedofeita

Data:12/10/16

## 2. Quarto 1

| Coeficiente de absorção sonora |        |         |         |
|--------------------------------|--------|---------|---------|
| Referência                     | 500 Hz | 1000 Hz | 2000 Hz |
| Pe2                            | 0.050  | 0.050   | 0.070   |
| Janelas (Pe2)                  | 0.050  | 0.040   | 0.030   |
| Pm1                            | 0.050  | 0.050   | 0.070   |
| alternativa_Pm1                | 0.030  | 0.030   | 0.040   |
| Ar                             | 0.000  | 0.003   | 0.011   |

| Área de absorção sonora (m <sup>2</sup> ) |                       |        |         |         |
|---|-----------------------|--------|---------|---------|
| Referência                                | Sup m <sup>2</sup>    | 500 Hz | 1000 Hz | 2000 Hz |
| Pe2                                       | 9.0                   | 0.45   | 0.45    | 0.63    |
| Janelas (Pe2)                             | 2.5                   | 0.13   | 0.10    | 0.08    |
| Pm1                                       | 10.0                  | 0.50   | 0.50    | 0.70    |
| alternativa_Pm1                           | 10.0                  | 0.30   | 0.30    | 0.40    |
| Ar  | V = 26 m <sup>3</sup> | 0.00   | 0.08    | 0.29    |
| Total                                     |                       | 1.38   | 1.43    | 2.10    |

| Área de absorção sonora equivalente |
|-------------------------------------|
| A = 1.63 m <sup>2</sup>             |

| Tempo de reverberação |
|-----------------------|
| T = 2.65 s            |

| Tempo de reverberação de referência |
|-------------------------------------|
| T = 0.50 s                          |

Produzido por uma versão educativa de CYPE

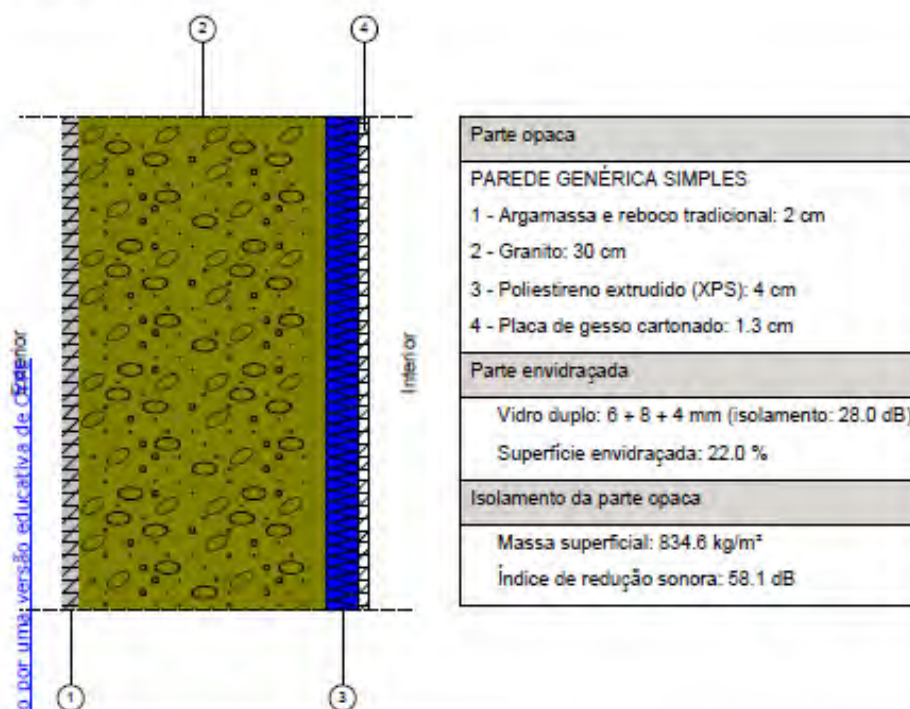
## CYPEVAC III Clássico

Nome da Obra: caso de estudo cedofeita

Data:12/10/16

## 2.1. Paredes exteriores

## 2.1.1. Pe2



|  |   |          |
|--|---|----------|
| Referência: Pe2  |   |          |
| Verificação  | Valores                                     | Estado   |
| Isolamento sonoro médio:<br>- Zonas mistas ou em zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído:<br><i>Decreto-Lei nº96/2008. Artigo 5º-1 a-c</i> | D 2m,nT,w, mín: 33 dB<br>Calculado: 33.1 dB | Verifica |
| Cumrem-se todas as verificações  |   |          |
| Informação adicional:<br>- Massa superficial: 834.6 kg/m <sup>2</sup><br>- O isolamento sonoro médio calculou-se segundo a lei da massa  |   |          |

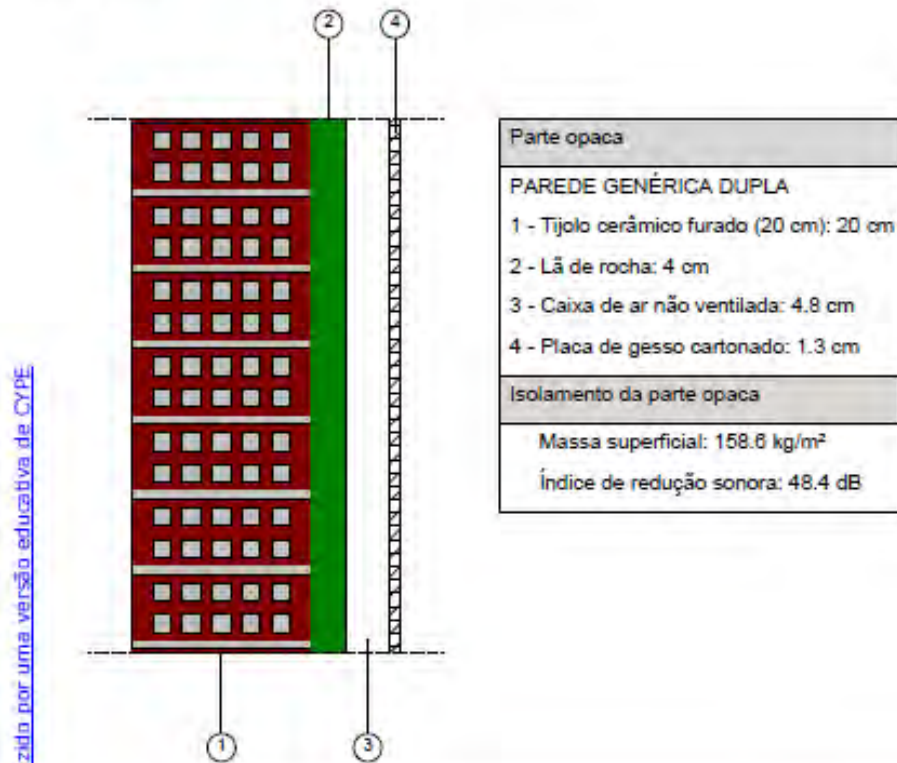
**CYPEVAC III Clássico**

Nome da Obra: caso de estudo cedofeita

Data: 12/10/16

2.2. Paredes interiores

2.2.1. Pm1



|  |
|--|
| Parte opaca                                |
| <b>PAREDE GENÉRICA DUPLA</b>               |
| 1 - Tijolo cerâmico furado (20 cm): 20 cm  |
| 2 - Lã de rocha: 4 cm                      |
| 3 - Caixa de ar não ventilada: 4.8 cm      |
| 4 - Placa de gesso cartonado: 1.3 cm       |
| Isolamento da parte opaca                  |
| Massa superficial: 158.6 kg/m <sup>2</sup> |
| Índice de redução sonora: 48.4 dB          |

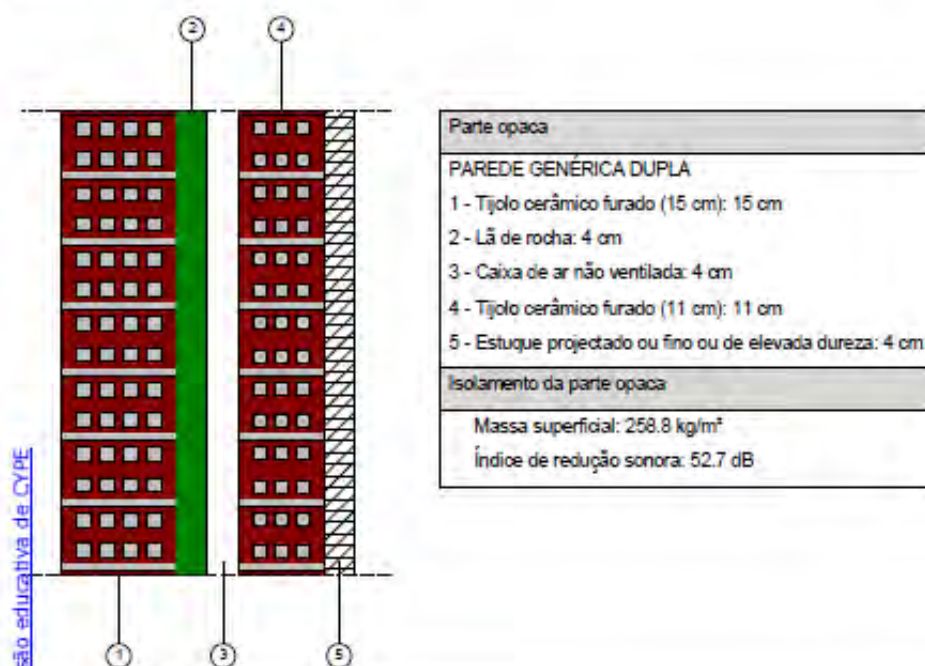
|  |   |              |
|--|---|--------------|
| Referência: Pm1  |   |              |
| Verificação  | Valores                                 | Estado       |
| Sons de condução aérea. Índice de isolamento sonoro:<br>- Entre um fogo e quartos ou zonas de estar de outro fogo:<br><i>Decreto-Lei nº96/2008, Artigo 5º-1 b.</i> | DnT,w, min: 50 dB<br>Calculado: 47.5 dB | Não verifica |
| Não cumpre nenhuma verificação   |   |              |
| Informação adicional:<br>- Massa superficial: 158.6 kg/m <sup>2</sup><br>- O isolamento sonoro médio calculou-se segundo a lei da massa                            |   |              |

**CYPEVAC III Clássico**

Nome da Obra: caso de estudo cedofeita

Data: 12/10/16

2.2.2. alternativa\_Pm1



| Referência: alternativa_Pm1  |   |          |
|--|---|----------|
| Verificação  | Valores                                 | Estado   |
| Sons de condução aérea. Índice de isolamento sonoro:<br>- Entre um fogo e quartos ou zonas de estar de outro fogo:<br><i>Decreto-Lei nº96/2008. Artigo 5º-1 b.</i> | DnT,w, mín: 50 dB<br>Calculado: 51.9 dB | Verifica |
| Cumprem-se todas as verificações   |   |          |
| Formação adicional:<br>- Massa superficial: 258.8 kg/m <sup>2</sup><br>- O isolamento sonoro médio calculou-se segundo a lei da massa                              |   |          |

Produção por uma versão educativa de CYPE

## ISOLAMENTO SONORO

EDIFÍCIOS HABITACIONAIS E MISTOS, E UNIDADES HOTELEIRAS

Verificação em conformidade com Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

Identificação:

Data: 12/10/16

**I - RUIDO EXTERIOR (ENVOLVENTE)**

## - Localização

Zonas mistas ou em zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído (Artigo 5º-1 a-i)

D 2m,nT,w, mín: 33 dB

Zonas sensíveis reguladas pela alínea b) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído (Artigo 5º-1 a-ii)

D 2m,nT,w, mín: 28 dB

## - Envolvente

| Descrição          | Área opaca |         | Área envidraçada |         | Rw          | Área<br>m² | Volume<br>m³ | Tempo de reverberação de referência (seg.) | D2m,nT,w (Ctr) estimado (dB) |
|--------------------|------------|---------|------------------|---------|-------------|------------|--------------|--|------------------------------|
|                    | %          | Rw (dB) | %                | Rw (dB) | Global (dB) |            |              |  |                              |
| sala, h (1)        | 10.0       | 49.2    | 90.0             | 33.1    | 33.5        | 13.0       | 89.00        | 0.50                                       | 36.9 + (-3.0)                |
| quarto, quarto (1) | 73.0       | 45.0    | 27.0             | 30.9    | 36.2        | 19.6       | 33.00        | 0.50                                       | 33.5                         |

Observações: (1) Verifica: Decreto-Lei nº96/2008, Artigo 5º-1 a-i: Zonas mistas ou em zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído. - Não foi possível contabilizar o efeito da caixa de ar ao aplicar a lei da massa

**II - ENTRE UM FOGO E QUARTOS OU ZONAS DE ESTAR DE OUTRO FOGO (COMP. PRINCIPAIS)**

Produzido por uma versão educativa de CYPE

| Descrição                        | Massa (kg/m³) | Elementos de separação vertical |         |                  |         |            |         | Rw Global (dB) | TRatmo (dB) | Área m² | Volume m³ | Tempo de reverberação de referência (seg.) | DnT,w estim. (dB) | Valor Reg. DnT,w (dB) |
|----------------------------------|---------------|---------------------------------|---------|------------------|---------|------------|---------|----------------|-------------|---------|-----------|--|-------------------|-----------------------|
|                                  |               | Área opaca                      |         | Área envidraçada |         | Área porta |         |                |             |         |           |  |                   |                       |
|                                  |               | %                               | Rw (dB) | %                | Rw (dB) | %          | Rw (dB) |                |             |         |           |  |                   |                       |
| quarto, parede insonorização (1) | 200.5         | 100.0                           | 50.5    | 0.0              | 0.0     | 0.0        | 0.0     | 50.5           | 0.0         | 19.5    | 33.00     | 0.50                                       | 47.8              | >= 50                 |

Observações: (1) Não verifica: O isolamento sonoro médio calculou-se segundo a lei da massa

(2) TR representa a transmissão marginal

## CYPEVAC III Clássico

Nome da Obra: gaia

Data:12/10/16

## 1. sala

| Coeficiente de absorção sonora |        |         |         |
|--------------------------------|--------|---------|---------|
| Referência                     | 500 Hz | 1000 Hz | 2000 Hz |
| h                              | 0.020  | 0.020   | 0.020   |
| Janelas (h)                    | 0.050  | 0.040   | 0.030   |
| Ar                             | 0.000  | 0.003   | 0.011   |

| Área de absorção sonora (m <sup>2</sup> ) |                       |        |         |         |
|---|-----------------------|--------|---------|---------|
| Referência                                | Sup m <sup>2</sup>    | 500 Hz | 1000 Hz | 2000 Hz |
| h   | 1.3                   | 0.03   | 0.03    | 0.03    |
| Janelas (h)                               | 11.7                  | 0.59   | 0.47    | 0.35    |
| Ar  | V = 89 m <sup>3</sup> | 0.00   | 0.27    | 0.98    |
| Total                                     |                       | 0.62   | 0.77    | 1.36    |

| Área de absorção sonora equivalente |
|-------------------------------------|
| A = 0.91 m <sup>2</sup>             |

| Tempo de reverberação |
|-----------------------|
| T = 17.41 s           |

| Tempo de reverberação de referência |
|-------------------------------------|
| T = 0.50 s                          |

Produzido por uma versão educativa de CYPE

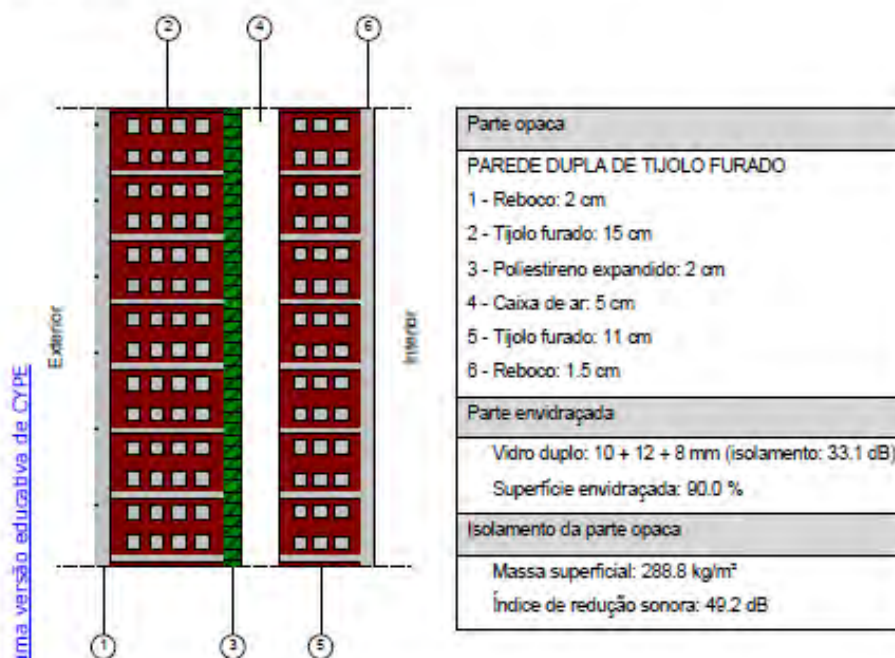
## CYPEVAC III Clássico

Nome da Obra: gaia

Data: 12/10/16

## 1.1. Paredes exteriores

## 1.1.1. h



| Referência: h  |   |          |
|--|---|----------|
| Verificação  | Valores                                     | Estado   |
| Isolamento sonoro médio:<br>- Zonas mistas ou em zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído:<br>Decreto-Lei nº96/2008. Artigo 5º-1 a-l.   | D 2m,nT,w, mín: 33 dB<br>Calculado: 33,9 dB | Verifica |
| Cumpram-se todas as verificações   |   |          |
| Informação adicional:<br>- Massa superficial: 288,8 kg/m <sup>2</sup><br>- O isolamento sonoro médio calculou-se segundo a lei da massa<br>- Não foi possível contabilizar o efeito da caixa de ar ao aplicar a lei da massa (Deve existir na caixa de ar uma camada de elemento absorvente com uma espessura mínima de: 4,0 cm) |   |          |

## CYPEVAC III Clássico

Nome da Obra: gaia

Data:12/10/16

## 2. quarto

| Coeficiente de absorção sonora |        |         |         |
|--------------------------------|--------|---------|---------|
| Referência                     | 500 Hz | 1000 Hz | 2000 Hz |
| quarto                         | 0.050  | 0.050   | 0.070   |
| Janelas (quarto)               | 0.050  | 0.040   | 0.030   |
| parede meiaçã                  | 0.050  | 0.050   | 0.070   |
| Ar                             | 0.000  | 0.003   | 0.011   |

| Área de absorção sonora (m <sup>2</sup> ) |                       |        |         |         |
|---|-----------------------|--------|---------|---------|
| Referência                                | Sup m <sup>2</sup>    | 500 Hz | 1000 Hz | 2000 Hz |
| quarto                                    | 14.3                  | 0.72   | 0.72    | 1.00    |
| Janelas (quarto)                          | 5.3                   | 0.26   | 0.21    | 0.16    |
| parede meiaçã                             | 19.5                  | 0.98   | 0.98    | 1.37    |
| Ar  | V = 33 m <sup>3</sup> | 0.00   | 0.10    | 0.36    |
| Total                                     |                       | 1.96   | 2.01    | 2.89    |

| Área de absorção sonora equivalente |
|-------------------------------------|
| A = 2.28 m <sup>2</sup>             |

| Tempo de reverberação |
|-----------------------|
| T = 2.39 s            |

| Tempo de reverberação de referência |
|-------------------------------------|
| T = 0.50 s                          |

Produzido por uma versão educativa de CYPE

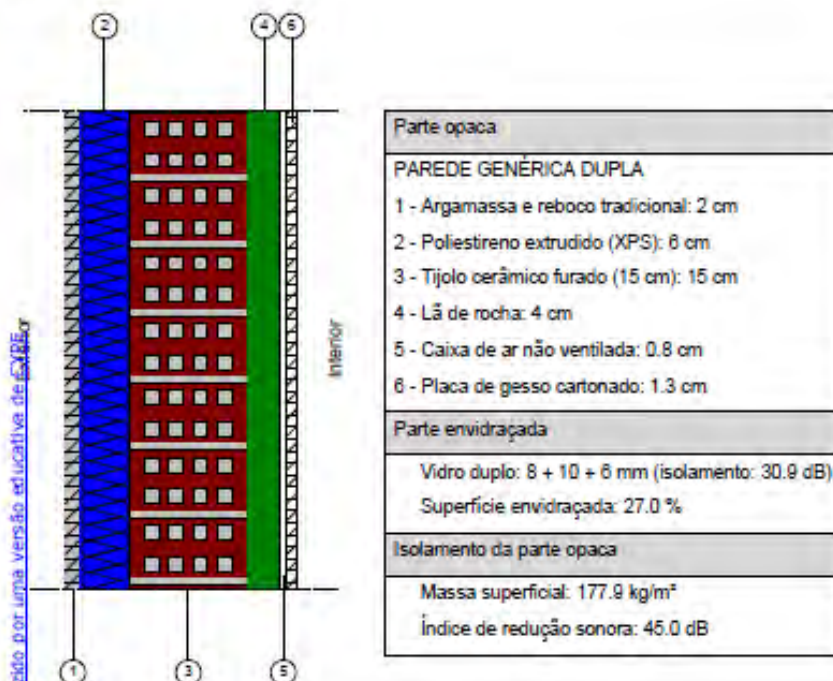
## CYPEVAC III Clássico

Nome da Obra: gaia

Data:12/10/16

## 2.1. Paredes exteriores

## 2.1.1. quarto



| Referência: quarto  |   |          |
|---|---|----------|
| Verificação   | Valores                                     | Estado   |
| Isolamento sonoro médio:<br>- Zonas mistas ou em zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído:<br>Decreto-Lei nº96/2008. Artigo 5º.º 1 a-v.  | D 2m,nT,w, mín: 33 dB<br>Calculado: 33.4 dB | Verifica |
| Cumrem-se todas as verificações   |   |          |
| Informação adicional:<br>- Massa superficial: 177.9 kg/m <sup>2</sup><br>- O isolamento sonoro médio calculou-se segundo a lei da massa<br>- Não foi possível contabilizar o efeito da caixa de ar ao aplicar a lei da massa (A espessura da caixa de ar do elemento não deve ser inferior a: 7.5 cm) |   |          |

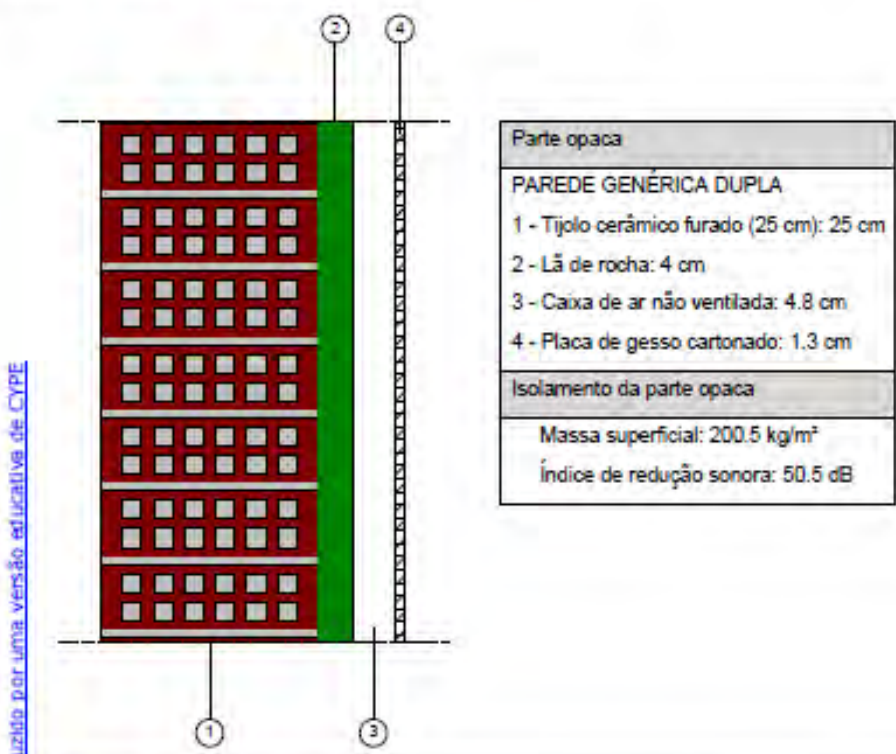
CYPEVAC III Clássico

Nome da Obra: gaia

Data:12/10/16

2.2. Paredes interiores

2.2.1. parede meação



| Referência: parede meação  |   |              |
|--|---|--------------|
| Verificação  | Valores                                 | Estado       |
| Sons de condução aérea. Índice de isolamento sonoro:<br>- Entre um fogo e quartos ou zonas de estar de outro fogo:<br><i>Decreto-Lei nº96/2008, Artigo 5º 1 b.</i> | DnT,w, mín: 50 dB<br>Calculado: 47.7 dB | Não verifica |
| Não cumpre nenhuma verificação   |   |              |
| Informação adicional:<br>- Massa superficial: 200.5 kg/m <sup>2</sup><br>- O isolamento sonoro médio calculou-se segundo a lei da massa                            |   |              |

Produzido por uma versão educativa de CYPE

## **ISOLAMENTO SONORO**

EDIFÍCIOS HABITACIONAIS E MISTOS, E UNIDADES HOTELEIRAS

Verificação em conformidade com Regulamento dos Requisitos Acústicos  
dos Edifícios

Identificação:

Data: 12/10/16

**I - RUÍDO EXTERIOR (ENVOLVENTE)**

## - Localização

Zonas mistas ou em zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído (Artigo 5º-1 a-i)  D 2m,nT,w, mín: 33 dB

Zonas sensíveis reguladas pela alínea b) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído (Artigo 5º-1 a-ii)  D 2m,nT,w, mín: 28 dB

## - Envolvente

| Descrição         | Área opaca |         | Área envidraçada |         | Rw          | Área<br>m² | Volume<br>m³ | Tempo de reverberação de referência (seg.) | D2m,nT,w estimado (dB) |
|-------------------|------------|---------|------------------|---------|-------------|------------|--------------|--|------------------------|
|                   | %          | Rw (dB) | %                | Rw (dB) | Global (dB) |            |              |  |                        |
| Quarto 2, Pe1 (1) | 77.0       | 45.8    | 23.0             | 28.0    | 34.1        | 9.6        | 27.40        | 0.50                                       | 33.8                   |
| Quarto 1, Pe2 (1) | 78.0       | 58.1    | 22.0             | 28.0    | 34.6        | 11.5       | 26.00        | 0.50                                       | 33.2                   |

Observações: (1) Verifica: Decreto-Lei nº96/2008. Artigo 5º-1 a-i: Zonas mistas ou em zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído. - O isolamento sonoro médio calculou-se segundo a lei da massa

**II - ENTRE UM FOGO E QUARTOS OU ZONAS DE ESTAR DE OUTRO FOGO (COMP. PRINCIPAIS)**

| Descrição                     | Massa (kg/m²) | Elementos de separação vertical |         |                  |         |            |         |                |                |         |           | Valor Reg. DnT,w (dB) |  |                   |
|-------------------------------|---------------|---------------------------------|---------|------------------|---------|------------|---------|----------------|----------------|---------|-----------|-----------------------|--|-------------------|
|                               |               | Área opaca                      |         | Área envidraçada |         | Área porta |         | Rw Global (dB) | Tf(aéreo) (dB) | Área m² | Volume m³ |                       | Tempo de reverberação de referência (seg.) | DnT,w estim. (dB) |
|                               |               | %                               | Rw (dB) | %                | Rw (dB) | %          | Rw (dB) |                |                |         |           |                       |  |                   |
| Quarto 1, Pm1 (1)             | 158.6         | 100.0                           | 48.4    | 0.0              | 0.0     | 0.0        | 0.0     | 48.4           | 0.0            | 10.0    | 26.00     | 0.50                  | 47.6                                       | >= 50             |
| Quarto 1, alternativa_Pm1 (2) | 258.8         | 100.0                           | 52.7    | 0.0              | 0.0     | 0.0        | 0.0     | 52.7           | 0.0            | 10.0    | 26.00     | 0.50                  | 51.9                                       | >= 50             |

Observações: (1) Não verifica: O isolamento sonoro médio calculou-se segundo a lei da massa

(2) Verifica: O isolamento sonoro médio calculou-se segundo a lei da massa

(3) TR representa a transmissão marginal