



UNIVERSIDADE DE ÉVORA
ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL

Acústica de edifícios: estudo de impacto económico associado ao método de classificação acústica

Anthony Paul Couto Ferreira

Orientação:

Professor Doutor José Júlio Braga Correia da Silva

Doutor Jorge Viçoso Patrício

Mestrado em Engenharia Civil

Área de especialização: Construção

Dissertação de Mestrado

Évora, 2016

Esta dissertação inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri



ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS: ESTUDO DE IMPACTO ECONÓMICO
ASSOCIADO AO MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO ACÚSTICA

UNIVERSIDADE DE ÉVORA
ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL

*Acústica de edifícios: estudo de impacto
económico associado ao método de classificação
acústica*

Anthony Paul Couto Ferreira

Orientação:

Professor Doutor José Júlio Braga Correia da Silva

Doutor Jorge Viçoso Patrício

Mestrado em Engenharia Civil

Área de especialização: Construção

Dissertação de Mestrado

Évora, 2016

Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri



AGRADECIMENTOS

Embora uma dissertação seja executada por um aluno, existem contributos que não poderiam ser dispensados. Contributos pelos quais expresso os meus sinceros agradecimentos:

Ao Professor Doutor Eng.º José Júlio Braga Correia da Silva por ter aceite ser meu orientador e por todo o apoio que me deu.

Ao Doutor Jorge Viçoso Patrício por ter aceitado ser coorientador, por toda a orientação disponibilizada, por expor o *Método LNEC para avaliação e classificação da qualidade acústica de edifícios habitacionais* e principalmente pela paciência para comigo.

À minha irmã Alexis que me ajudou a resolver problemas informáticos e me apoiou ao longo do trabalho.

DECLARAÇÃO DE AUTORIA

O autor declara que o conteúdo do documento apresentado é da sua exclusiva autoria (incluindo ilustrações não referenciadas), não constituindo tradução, reorganização ou qualquer forma de manipulação de documentos produzidos por terceiros. Os elementos produzidos por terceiros utilizados conforme o art.º 75.º do *Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos* (CDADC) estão devidamente referenciados ao longo do texto.

RESUMO

O conforto acústico nas habitações é necessário ao bem-estar e saúde dos usufrutuários. Este conforto é obtido principalmente pela ausência e isolamento de ruídos, permitindo assim um repouso tranquilo e regenerador. Como tal o conforto acústico nas habitações é um campo de estudo muito importante na engenharia civil.

Uma análise global deste conforto acústico ocorre quando se consideram os fatores internos e externos à habitação. Ou seja, quando a acústica da vizinhança, do edifício e da habitação (fração) são analisadas individualmente e em conjunto.

Em Portugal a análise da acústica das habitações e da sua envolvente está regulamentada pelo *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios* (RRAE) e pelo *Regulamento Geral do Ruído* (RGR). Nestes regulamentos são analisados os comportamentos acústicos de cada componente individual, como tal, a análise global do comportamento e conforto acústico não existe.

De modo a eliminar esta ausência, em 2013, o *Laboratório Nacional de Engenharia Civil* (LNEC) introduziu um método global de análise, o *Método LNEC para avaliação e classificação da qualidade acústica de edifícios habitacionais*. Este “*Método LNEC*” efetua a análise global pelo estudo da acústica na “Vizinhança”, no “Edifício” e na “Habitação”. Nesta análise são pontuados os resultados de vários indicadores físicos e analíticos de cada componente (elementos). Estes valores são depois integrados num único valor, o *Nível de Avaliação Acústica* (NAA), ao qual corresponde uma *Classe Acústica LNEC* que permite facilmente identificar a qualidade acústica global sentida.

Esta *Classe Acústica LNEC* permite também comparar o conforto acústico global entre vários fogos. Contudo não existe ainda uma estimativa relativa ao custo de reabilitação necessário para ascender entre *Classes Acústicas LNEC*.

Nesta dissertação é feita a determinação deste custo de reabilitação necessário para ascender entre classes, criando assim uma ferramenta de análise do impacto económico do *Método LNEC*.

PALAVRAS-CHAVE

Acústica

Classe Acústica LNEC

Classificação acústica

Construção

Impacto económico

Reabilitação



**BUILDING ACOUSTICS: ECONOMIC IMPACT ASSOCIATED TO
THE ACOUSTIC CLASSIFICATION METHOD**

ABSTRACT

The acoustic comfort in dwellings is necessary for the wellbeing and health of the users. This comfort is achieved mainly by the absence of noise and noise insulation, thus enabling a quiet and regenerating rest. As such the acoustic comfort in homes is a very important field in civil engineering.

A global analysis of this acoustic comfort occurs when the external and internal factors are considered in the analysis. It happens when the acoustics of the vicinity, the building and the lodging are analyzed individually and together.

In Portugal the acoustic analysis of houses and its surroundings is regulated by the Regulations of Acoustic Requirements for Buildings (*Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios RRAE*) and by the General Regulations of Noise (*Regulamento Geral do Ruído RGR*). This two regulatory laws only limit the acoustics of each individual component, resulting that the global analysis of the acoustics comfort sensed in dwellings does not occur.

To eliminate this problem, in 2013, the National Laboratory of Civil Engineering (*Laboratório Nacional de Engenharia Civil LNEC*) introduced a comprehensive method of analysis that fulfill this void doing a global analysis. This method, the *Método LNEC para avaliação e classificação da qualidade acústica de edifícios habitacionais* makes the overall analysis studying the acoustics in the “Vicinity”, in the “Building” and in the “Dwelling”. It analyses each acoustic value and scores each one of them in order to be integrated in a global value. To this global value (NAA) corresponds an LNEC Acoustic Classe (*Classe Acústica LNEC*). This global analysis of acoustics (envelope system) allows an easy and correct way to synthesize the acoustic comfort, also the *Classe Acústica LNEC* allows comparisons between different houses.

Nevertheless there isn't still a mechanism to estimate the rehabilitation cost of ascending between *LNEC Acoustic Classes*. On this dissertation, it is determined this important tool to evaluate the economic impact of acoustic rehabilitations.

KEYWORDS

Acoustic classification
Acoustics
Economic impact
LNEC Acoustic Class
Rehabilitation

ÍNDICE DE GERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE GERAL | VI |
| ÍNDICE DE TABELAS | VIII |
| ÍNDICE DE FIGURAS | X |
| SÍMBOLOGIA | XI |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1 Enquadramento..... | 1 |
| 1.2 Objetivos..... | 2 |
| 1.3 Metodologia..... | 3 |
| 2. A ACÚSTICA E OS EDIFÍCIOS | 4 |
| 2.1 Apresentação | 4 |
| 2.2 Conceitos | 5 |
| 2.2.1 Propagação do som..... | 5 |
| 2.2.2 Pressão sonora | 5 |
| 2.2.3 Frequência | 6 |
| 2.2.4 Decibel [dB] / Nível de pressão sonora | 6 |
| 2.2.5 Ruído | 7 |
| 2.2.6 Transmissão sonora entre espaços..... | 8 |
| 2.2.7 Isolamento a sons aéreos | 8 |
| 2.2.8 Isolamento a sons de percussão | 9 |
| 2.2.9 Isolamento a sons na construção | 10 |
| 3. LEGISLAÇÃO ACÚSTICA PORTUGUESA..... | 13 |
| 3.1 Apresentação | 13 |
| 3.2 Regulamento Geral do Ruído (RGR) | 14 |
| 3.3 Regulamento dos Requisitos Acústicos em Edifícios (RRAE)..... | 16 |
| 4. MÉTODO LNEC..... | 19 |
| 4.1 Apresentação | 19 |
| 4.2 Cálculo dos níveis físicos para NAA..... | 20 |
| 4.2.1 Cálculo do nível físico <i>VIZINHANÇA</i> para NAA:..... | 21 |
| 4.2.2 Cálculo do nível físico <i>EDIFÍCIO</i> para NAA:..... | 22 |
| 4.2.3 Cálculo do nível físico <i>HABITAÇÃO</i> para NAA: | 23 |
| 4.3 Cálculo dos níveis físicos para IAA..... | 26 |
| 4.3.1 Cálculo do nível físico <i>HABITAÇÃO</i> para IAA:..... | 26 |
| 4.4 Avaliação global..... | 29 |
| 4.4.1 Cálculo de NAA | 29 |
| 4.4.2 Classe Acústica LNEC | 30 |
| 5. ANÁLISE DA CONSTRUÇÃO EXISTENTE..... | 31 |
| 5.1 Apresentação | 31 |
| 5.2 Edifícios em pedra ou terra..... | 32 |
| 5.2.1 Edifícios em cantaria de pedra..... | 32 |
| 5.2.2 Edifícios em alvenaria de pedra..... | 39 |
| 5.2.3 Edifícios em taipa | 44 |
| 5.2.4 Edifícios em adobe | 48 |
| 5.3 Edifícios com estrutura tipo gaioleiro | 52 |



ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS: ESTUDO DE IMPACTO ECONÓMICO ASSOCIADO AO MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO ACÚSTICA

| | |
|---|-----|
| 5.3.1 Edifícios pombalinos | 52 |
| 5.3.2 Edifícios gaioleiros | 61 |
| 5.4 Edifícios de placa..... | 66 |
| 5.5 Edifícios recentes..... | 73 |
| 5.5.1 Edifícios em estrutura de betão armado | 73 |
| 6. IMPACTO ECONÓMICO | 80 |
| 6.1 Apresentação | 80 |
| 6.2 Custo de reabilitação por metro quadrado..... | 81 |
| 6.3 Índices do Método LNEC..... | 82 |
| 6.4 Cálculos do Método LNEC para os fogos exemplo | 84 |
| 6.5 Determinação do investimento para subir de classe | 85 |
| 7. CONCLUSÕES | 87 |
| 7.1 Aspetos conclusivos | 87 |
| 7.2 Propostas de trabalhos futuros..... | 89 |
| BIBLIOGRAFIA | 90 |
| APÊNDICES | 103 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1 - Bandas de frequências | 6 |
| Tabela 2 - Forma da curva de referência para R_w | 9 |
| Tabela 3 - Forma da curva de referência para $L_{nT,w}$ | 10 |
| Tabela 4 - Limites de ruído ambiente exterior definidos pelo RGR | 15 |
| Tabela 5 - Limites RRAE para $D_{2m,nT,w}$ | 16 |
| Tabela 6 - Limites RRAE para $D_{nT,w}$ | 17 |
| Tabela 7 - Limites RRAE para $L'_{nT,w}$ | 17 |
| Tabela 8 - Limites RRAE para $L_{Ar,nT}$ | 18 |
| Tabela 9 - Fatores de ponderação dos indicadores (elementos) do nível físico <i>Habitação</i> (NAA)..... | 20 |
| Tabela 10 - Questionário <i>Vizinhança</i> de NAA..... | 21 |
| Tabela 11 - Questionário <i>Edifício</i> de NAA | 22 |
| Tabela 12 - Questionário <i>Habitação</i> de NAA | 25 |
| Tabela 13 - Fatores de ponderação de elementos da realidade física <i>Habitação</i> (IAA) 26 | |
| Tabela 14 - Questionário <i>Habitação</i> de IAA..... | 28 |
| Tabela 15 - Fatores de ponderação dos níveis físicos no cálculo de NAA | 29 |
| Tabela 16 - <i>Classes Acústicas LNEC</i> | 30 |
| Tabela 17 - <i>Subclasses Acústicas LNEC</i> (somente para nível físico <i>Habitação</i>)..... | 30 |
| Tabela 18 - Reabilitação de paredes em edifício de cantaria de pedra..... | 33 |
| Tabela 19 - Reabilitação de portas em edifício de cantaria de pedra | 34 |
| Tabela 20 - Reabilitação de envidraçados em edifício de cantaria de pedra..... | 35 |
| Tabela 21 - Fogo exemplo em cantaria de pedra, soluções construtivas..... | 37 |
| Tabela 22 - Reabilitação de pisos em edifício de alvenaria de pedra..... | 42 |
| Tabela 23 - Fogo exemplo em alvenaria de pedra, soluções construtivas..... | 42 |
| Tabela 24 - Reabilitação de pisos em edifício de taipa | 45 |
| Tabela 25 - Fogo exemplo em taipa, soluções construtivas | 46 |
| Tabela 26 - Reabilitação de pisos em edifício de adobe..... | 49 |
| Tabela 27 - Fogo exemplo em adobe, soluções construtivas | 49 |
| Tabela 28 - Reabilitação de paredes em edifício pombalino..... | 54 |
| Tabela 29 - Reabilitação pisos em edifício pombalino..... | 55 |
| Tabela 30 - Fogo exemplo pombalino, soluções construtivas..... | 56 |
| Tabela 31 - Reabilitação pisos em edifício gaioleiro | 63 |
| Tabela 32 - Fogo exemplo gaioleiro, soluções construtivas..... | 64 |
| Tabela 33 - Fogo exemplo gaioleiro, planta | 65 |
| Tabela 34 - Reabilitação pisos em edifício de placa | 67 |
| Tabela 35 - Fogo exemplo de placa, T3 de 1944, soluções construtivas | 68 |
| Tabela 36 - R_w de paredes de tijolo furado 11+11 c/ isolamento térmico/acústico..... | 73 |
| Tabela 37 - R_w de paredes de tijolo furado 15+11 c/ isolamento térmico/acústico..... | 74 |
| Tabela 38 - Reabilitação de portas em edifício de betão armado | 74 |
| Tabela 39 - Reabilitação de envidraçados em edifício de betão armado..... | 75 |
| Tabela 40 - Reabilitação de pisos em edifício de betão armado | 75 |
| Tabela 41 - Fogo exemplo em betão armado, V4 2006, soluções construtivas | 76 |
| Tabela 42 - Fogo exemplo em betão armado, T3 1981, soluções construtivas..... | 78 |
| Tabela 43 - Índices influenciadores da pontuação do nível físico <i>Habitação</i> | 82 |
| Tabela 44 - Resumo de cálculos do <i>Método LNEC</i> aplicado aos fogos exemplo | 84 |
| Tabela 45 - Possibilidades de variação de custos entre classes | 86 |
| Tabela 46 - Custos de transição entre Classes Acústicas LNEC | 88 |
| Tabela 47 - Custos e rendimentos parede tijolo 11 | 112 |
| Tabela 48 - Custos e rendimentos parede tijolo 11+11 c/ XPS | 113 |



ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS: ESTUDO DE IMPACTO ECONÓMICO ASSOCIADO AO MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO ACÚSTICA

| | |
|--|-----|
| Tabela 49 - Custos e rendimentos parede tijolo 11+11 c/ PN40 | 114 |
| Tabela 50 - Custos e rendimentos parede tijolo 11+11 c/ PN70 | 115 |
| Tabela 51 - Custos e rendimentos parede tijolo 11+11 c/ Boltherm 509 | 116 |
| Tabela 52 - Custos e rendimentos parede tijolo 15+11 c/ XPS | 117 |
| Tabela 53 - Custos e rendimentos parede tijolo 15+11 c/ PN40 | 118 |
| Tabela 54 - Custos e rendimentos parede tijolo 15+11 c/ PN70 | 119 |
| Tabela 55 - Custos e rendimentos reparação de fissuras e pintura de estuque | 120 |
| Tabela 56 - Custos e rendimentos trasdosado semidireto 1×15 | 121 |
| Tabela 57 - Custos e rendimentos trasdosado semidireto 1×15 c/Boltherm 509 | 122 |
| Tabela 58 - Custos e rendimentos pano adicional tijolo 11 c/ XPS | 123 |
| Tabela 59 - Custos e rendimentos pano adicional tijolo 15 c/Boltherm 509..... | 124 |
| Tabela 60 - Custos e rendimentos porta interior corrente | 125 |
| Tabela 61 - Custos e rendimentos porta entrada madeira maciça | 125 |
| Tabela 62 - Custos e rendimentos janela de correr vidro duplo 8+6mm..... | 127 |
| Tabela 63 - Custos e rendimentos janela oscilobatente tipo FINSTRAL Top 90 Step-line | 128 |
| Tabela 64 - Custos e rendimentos janela de abrir vidro duplo 6+4mm..... | 129 |
| Tabela 65 - Custos e rendimentos janela de abrir vidro duplo 8+6mm..... | 130 |
| Tabela 66 - Custos e rendimentos pav. cerâmico em laje betão armado..... | 134 |
| Tabela 67 - Custos e rendimentos pav. cerâmico dessolidarizado 40mm sobre laje betão armado existente | 136 |
| Tabela 68 - Custos e rendimentos pav. cerâmico dessolidarizado 3mm em laje betão armado | 138 |
| Tabela 69 - Custos e rendimentos pav. cerâmico em laje pré-esforçada..... | 139 |
| Tabela 70 - Custos e rendimentos pav. flutuante madeira sobre laje betão armado incl. demolição de soalho existente | 141 |
| Tabela 71 - Custos e rendimentos (Reab. Acústica) recuperação de soalho de madeira existente | 142 |
| Tabela 72 - Custos e rendimentos (Reab. Acústica) pav. cerâmico sobre soalho de madeira existente | 143 |
| Tabela 73 - Custos e rendimentos (Reab. Acústica) pav. flutuante madeira Boltherm 510 | 144 |
| Tabela 74 - Custos e rendimentos (Reab. Acústica) pav. cerâmico dessolidarizado 3mm | 146 |
| Tabela 75 - Custos e rendimentos (Reab. Acústica) pav. flutuante madeira sobre laje betão armado..... | 146 |
| Tabela 76 - Custos e rendimentos (Reab. Acústica) pav. flutuante madeira em laje de betão armado existente | 147 |
| Tabela 77 - Custos e rendimentos (Reab. Acústica) pav. flutuante madeira Boltherm 510 | 148 |
| Tabela 78 - Custos e rendimentos teto falso gesso cartonado 1×15 c/ PN40(30mm).. | 149 |
| Tabela 79 - Custos e rendimentos teto falso gesso cartonado 2×13 c/ PN40..... | 150 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Movimento ondulatório da pressão sonora | 5 |
| Figura 2 - Ondulatório sinusoidal | 5 |
| Figura 3 - Caminhos da transmissão sonora | 8 |
| Figura 4 - Curva de referência de R_w | 9 |
| Figura 5 - Funcionamento do <i>Método LNEC</i> | 19 |
| Figura 6 - Exemplo construção em cantaria de pedra | 32 |
| Figura 7 - Espessura paredes de cantaria de pedra | 32 |
| Figura 8 - Env. simples de correr e env. com folha de pinázios..... | 35 |
| Figura 9 - Arco em cantaria aparelhada..... | 36 |
| Figura 10 - Fogo exemplo em cantaria de pedra, frente | 37 |
| Figura 11 - Fogo exemplo em cantaria de pedra, plantas | 38 |
| Figura 12 - Fogo exemplo em cantaria de pedra, corte | 38 |
| Figura 13 - Exemplo em alvenaria de pedra..... | 39 |
| Figura 14 - Variação da espessura de parede de alvenaria de pedra | 39 |
| Figura 15 - Piso em madeira com vigamento arcaico | 40 |
| Figura 16 - Piso em madeira com vigamento esquadriado..... | 40 |
| Figura 17 - Piso em madeira com vigamento em cadeias | 41 |
| Figura 18 - Fogo exemplo em alvenaria de pedra, frente..... | 43 |
| Figura 19 - Fogo exemplo em alvenaria de pedra, planta | 43 |
| Figura 20 - Fogo exemplo em alvenaria de pedra, corte | 43 |
| Figura 21 - Construção parede de taipa | 44 |
| Figura 22 - Fundação de pedra sobressaída em parede taipa | 44 |
| Figura 23 - Fogo exemplo em taipa, planta | 47 |
| Figura 24 - Fogo exemplo em taipa, corte..... | 47 |
| Figura 25 - Fogo exemplo em adobe, vista isométrica..... | 50 |
| Figura 26 - Fogo exemplo em adobe, plantas..... | 51 |
| Figura 27 - Gaiola em cruz de Santo André | 53 |
| Figura 28 - Piso em madeira com teto em fasquiado de madeira estucado..... | 55 |
| Figura 29 - Piso em madeira com teto em "saia e camisa" | 55 |
| Figura 30 - Fogo exemplo pombalino, frente [72] | 57 |
| Figura 31 - Fogo exemplo pombalino, planta [72]..... | 58 |
| Figura 32 - Fogo exemplo pombalino, corte B-B' [72] | 59 |
| Figura 33 - Fogo exemplo pombalino, ID paredes [72] | 60 |
| Figura 34 - Piso estrutura metálica edifício gaioleiro..... | 63 |
| Figura 35 - Fogo exemplo de placa, frente [73] | 69 |
| Figura 36 - Fogo exemplo de placa, fachada tardoz [73] | 70 |
| Figura 37 - Fogo exemplo de placa, planta [73]..... | 71 |
| Figura 38 - Fogo exemplo de placa, corte [73]..... | 72 |
| Figura 39 - Fogo exemplo em betão armado, V4 2006, planta piso0 [90]..... | 77 |
| Figura 40 - Fogo exemplo em betão armado, V4 2006, planta piso1 [80]..... | 77 |
| Figura 41 - Fogo exemplo em betão armado, T3 1981, planta..... | 79 |
| Figura 42 - Fogo exemplo em betão armado, T3 1981, corte | 79 |
| Figura 43 - Área em planta vs Área total de elementos..... | 81 |
| Figura 44 - ΔNAA vs Custo de reabilitação | 85 |

SÍMBOLOGIA

| | |
|------------------------|--|
| <i>CCDR</i> | <i>Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional;</i> |
| <i>Classe Acústica</i> | Classificação de conforto acústico global do <i>Método LNEC</i> ; |
| <i>LNEC</i> | |
| $D_{2m,nT}$ | Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado de fachadas; |
| <i>dB</i> | Decibél; |
| <i>dB(A)</i> | Decibél corrigido A; |
| D_i | Isolamento sonoro da solução construtiva <i>i</i> ; |
| $D_{nT,oit.63Hz}$ | Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, medido na banda de oitava 63Hz; |
| $D_{nT,w}$ | Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, de elementos de separação de divisões; |
| ε | Símbolo matemático, significando que pertence ao domínio; |
| <i>Edifício</i> | Valor do nível físico “ <i>Edifício</i> ” do <i>Método LNEC</i> ; |
| <i>F</i> | Falso; |
| <i>Freq.</i> | Frequência; |
| <i>Habitação</i> | Valor do nível físico “ <i>Habitação</i> ” do <i>Método LNEC</i> ; |
| <i>Hz</i> | Hertz, unidade de medição de ciclos; |
| <i>I</i> | Fator de homogeneização do tempo de reverberação; |
| <i>IAA</i> | <i>Índice de Avaliação Acústica</i> ; |
| <i>K</i> | Correção devido às características tonais do ruído; |
| <i>k</i> | Número de soluções construtivas consideradas; |
| $L'_{nT,w}$ | Nível sonoro de percussão padronizado; |
| L_{Aeq} | Nível de avaliação do ruído equivalente; |
| $L_{Ar,nT}$ | Nível de avaliação, padronizado, do ruído ambiente; |
| <i>Ld</i> | Indicador de ruído diurno; |
| L_{den} | Indicador de ruído diurno-entardecer-nocturno; |
| <i>Le</i> | Indicador de ruído do entardecer; |
| L_i | Nível de pressão sonora no compartimento recetor [dB]; |
| L_i | Campo sonoro do espaço <i>i</i> ; |
| L_n | Indicador de ruído nocturno; |
| $L_{n,w}$ | Índice de isolamento a sons de percussão; |
| <i>LNEC</i> | <i>Laboratório Nacional de Engenharia Civil</i> ; |
| <i>Lp</i> | Nível de pressão sonora; |
| L_w | Índice de isolamento a sons de percussão |
| <i>Método LNEC</i> | <i>Método LNEC para avaliação e classificação da qualidade acústica de edifícios habitacionais</i> ; |
| <i>N</i> | Número de indicadores (elementos) pontuados; |
| <i>NAA</i> | <i>Nível de Avaliação Acústica</i> do <i>Método LNEC</i> ; |
| $NAA_{existente}$ | <i>Nível de Avaliação Acústica</i> existente na habitação a reabilitar; |
| $NAA_{pretendido}$ | <i>Nível de Avaliação Acústica</i> pretendido na reabilitação a efetuar; |
| <i>PDM</i> | <i>Plano Director Municipal</i> ; |
| <i>PMOT</i> | <i>Plano Municipal de Ordenamento do Território</i> ; |
| PN_x | Placa de lã mineral (x = densidade em kg/m^3); |
| P_{ref} | Pressão sonora de referência; |
| P_t | Número médio de pontos atribuído a cada indicador (elemento); |



ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS: ESTUDO DE IMPACTO ECONÓMICO ASSOCIADO AO MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO ACÚSTICA

| | |
|----------------------|---|
| <i>R/C</i> | Rés-do-chão; |
| <i>Ref.</i> | De referência; |
| <i>RGR</i> | <i>Regulamento Geral do Ruído;</i> |
| <i>RGEU</i> | <i>Regulamento Geral das Edificações Urbanas</i> |
| <i>RRAE</i> | <i>Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios;</i> |
| <i>RSEU</i> | <i>Regulamento de Salubridade das Edificações Urbanas;</i> |
| <i>T</i> | Período de um movimento ondulatorio sinusoidal; |
| <i>T</i> | Tempo de reverberação do espaço recetor <i>i</i> [s]; |
| <i>T₀</i> | Tempo de reverberação de referência [s]; |
| <i>V</i> | Verdade; |
| <i>Vizinhança</i> | Valor do nível físico “ <i>Vizinhança</i> ” do <i>Método LNEC</i> ; |
| <i>XPS</i> | Poliestireno extrudido expandido; |
| <i>α</i> | Ponderação de cada indicador (elemento); |
| <i>ΔNAA</i> | Variação do <i>Nível de Avaliação Acústica</i> ; |
| <i>λ</i> | Comprimento de onda de um movimento ondulatorio sinusoidal. |

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Ao longo da história a importância dada ao conforto acústico sentido nas habitações foi variando. No último século iniciou-se uma incremental adoção de medidas de melhoria do conforto acústico. Estas começaram por ser regras de construção opcionais até atingirem a legislação existente.

Na legislação portuguesa de acústica, o RRAE e RGR, determinam medidas de promoção do conforto acústico nas habitações. As medidas consistem principalmente na análise individual e na limitação de parâmetros acústicos externos e internos. Estes parâmetros definem e limitam o ruído exterior, o isolamento a sons aéreos, a diminuição da transmissão de sons de percussão e a diminuição do tempo de reverberação. Faz-se assim uma análise e limitação das características individuais de cada componente habitacional.

Cumprindo a legislação existente é, no entanto, possível obter situações em que se mantêm o desconforto acústico sentido pelos utilizadores do espaço. Isto ocorre pelo facto do conforto acústico sentido depender, não só das características individuais de cada componente habitacional (elemento de compartimentação), mas também da interação entre elas. Assim, para obter esta análise global, é necessário estudar em conjunto a acústica do ambiente exterior em redor do edifício (*Vizinhança*), a acústica dos espaços de acesso comuns do edifício (*Edifício*) e o isolamento sonoro das divisórias da fração habitacional (*Habitação*).

Em 2013, o LNEC, apresentou uma metodologia para efetuar uma avaliação global da qualidade acústica sentida nas habitações. Este método, o *Método LNEC para avaliação e classificação da qualidade acústica de edifícios habitacionais*, efetua uma análise conjunta da “*Vizinhança*”, do “*Edifício*” e da “*Habitação*”.

No *Método LNEC*, em cada componente (*Vizinhança*, *Edifício* e *Habitação*), os resultados dos indicadores físicos e de indicadores analíticos criados para o efeito, são pontuados consoante a sua influência no conforto acústico. Esta pontuação é depois integrada num único valor, o *Nível de Avaliação Acústica* (NAA). A cada escalão de NAA corresponde uma *Classe Acústica LNEC*. Esta classe, não só identifica o conforto acústico sentido, como também identifica o seu cumprimento em relação à legislação existente. Esta *Classe Acústica LNEC* é muito benéfica, pois, além de classificar o conforto sentido, permite também comparar o conforto entre dois fogos diferentes.

Esta ferramenta, além de ser inédita na Europa e talvez no mundo, fornece ao mercado imobiliário e de construção uma ferramenta muito importante.

1.2 Objetivos

O método de classificação acústica apresentado é utilizado para avaliar e classificar a qualidade acústica de edifícios habitacionais. Analisando as potencialidades do método, nomeadamente da *Classe Acústica LNEC*, confirma-se a possibilidade deste poder ser utilizado também para edifícios ainda não existentes. Este uso no planeamento da construção refere-se à construção nova, mas também à construção de reabilitação.

Atualmente em Portugal, a construção de reabilitação tem tido crescente relevância não só devido à crise económica (que parou drasticamente a construção nova), mas também ao facto de existir uma maior procura em melhorar as habitações em uso. Esta melhoria consiste principalmente na melhoria do conforto térmico e do conforto acústico. A procura de melhoria acústica advém do desconforto sonoro sentido em grande parte dos edifícios existentes e da maior consciencialização dos utilizadores para as possibilidades de reabilitação acústica. É pois imperativo explorar as potencialidades do método para a construção de reabilitação.

Deste modo, nos trabalhos de preparação desta dissertação, procurou-se determinar quais as ferramentas mais precisas para uma melhor implementação e utilização do *Método LNEC* na construção de reabilitação. Desta procura, determinou-se que as ferramentas mais necessárias são as relativas ao impacto económico da utilização do *Método LNEC*.

A necessidade da determinação de um custo médio de transição entre *Classes Acústicas LNEC* mostrou-se assim como o objetivo a ser atingido neste trabalho. Esta determinação de custos culminou na criação de um ábaco com os custos de reabilitação mínimos e máximos para transitar entre *Classes Acústicas LNEC*.

1.3 Metodologia

A determinação do custo de transição entre *Classes Acústicas LNEC* baseia-se no estudo do edificado existente em Portugal, dos métodos de reabilitação disponíveis e respetivos custos e dos resultados obtidos no *Método LNEC*.

Na análise do edificado é estudada uma habitação exemplo de cada tipo de construção existente em Portugal. Este estudo consiste na identificação das suas soluções construtivas e na determinação dos custos de três propostas de reabilitação acústica. Estas compreendem uma solução mais económica, uma solução com bom comportamento acústico e uma solução intermédia.

De modo a identificar o seu comportamento no *Método LNEC*, é efetuada a determinação da pontuação da componente *Vizinhança* para a habitação exemplo na sua solução existente e nas três propostas de reabilitação. Como o custo de reabilitação incide somente na componente *Habitação* adoptou-se para as outras duas componentes do *Método LNEC* um valor fixo de pontuação.

De seguida determina-se o NAA das quatro soluções (solução existente, reabilitação mais económica, reabilitação com bom comportamento acústico e reabilitação intermédia). Comparando estes valores é possível determinar o diferencial de NAA para o custo despendido (€/m²) nas reabilitações.

Analisando a dispersão de resultados do diferencial de NAA, ou seja ΔNAA , e o custo de reabilitação, determina-se através de uma regressão linear uma função do tipo $f(x) \leftrightarrow \Delta\text{NAA}(\text{Custo})$. Pela inversão desta função para a forma $f(x) \leftrightarrow \text{Custo}(\Delta\text{NAA})$ conjugada com o verdadeiro significado de ΔNAA , ($\Delta\text{NAA} = \text{NAA}_{\text{pretendido}} - \text{NAA}_{\text{existente}}$), e aplicando os limites NAA das *Classes Acústicas LNEC*, tem-se os dados necessários para efetuar um ábaco dos custos mínimos e máximos de reabilitação para transitar de uma classe para outra.

Efetua-se por fim a determinação dos valores limites desse ábaco, eliminado os valores não lógicos (custos de diminuir de classe).



2. A ACÚSTICA E OS EDIFÍCIOS

2.1 Apresentação

O *Método LNEC* de análise do conforto acústico efectua uma análise científica do conforto acústico sentido nas habitações. Esta análise baseia-se principalmente no estudo global de dados físicos relacionados com o conforto acústico sentido.

O método divide este estudo numa análise em três componentes: *Vizinhaça*, *Edifício* e *Habitação*. Enquanto que no estudo das condições acústicas encontradas nas componentes *Vizinhança* e *Edifício* são pontuados resultados analíticos conjuntamente com resultados de parâmetros físicos, na componente *Habitação* é feita unicamente uma análise dos resultados dos parâmetros físicos.

Sendo que nesta dissertação estuda-se somente os efeitos da variação da componente *Habitação*, vai-se neste capítulo expôr conhecimentos físicos sobre a acústica que permitem uma melhor compreensão dos parâmetros físicos pontuados no *Método LNEC*. Assim são identificados conceitos como propagação do som, transmissão sonora, isolamento a sons, etc., e também a identificação dos índices de isolamento sonoro da construção utilizados no método.

2.2 Conceitos

A acústica como ciência estuda o som originado por vibrações elásticas nos gases e por vibrações e ondas mecânicas nos meios não gasosos. Este estudo detalhado, principalmente devido ao estudo da música, originou a definição de conceitos como *Altura de um som*, *oitava*, etc.

De modo a proporcionar uma melhor compreensão da acústica, apresenta-se conceitos e suas definições conforme são consideradas atualmente.

2.2.1 Propagação do som

O som propaga-se somente nos meios físicos elásticos, razão pela qual a ausência destes meios resulta na inexistência de som. Um exemplo desta ocorrência é a não existência de som no vácuo.

A propagação nos vários meios existentes (sólido, líquido e gasoso) deve-se ao movimento oscilatório das moléculas presentes nesse meio. Estas, ao serem excitadas, vibram e oscilam em torno da sua posição de repouso permitindo assim a transferência de energia para as moléculas vizinhas. Esta cadência de movimento resulta em zonas de compressão e zonas de descompressão.

2.2.2 Pressão sonora

A variação da pressão sonora devido às compressões e descompressões é normalmente medida em Pascal (Pa). A esta variação é possível associar um modelo de movimento ondulatório (*Figura 1*).

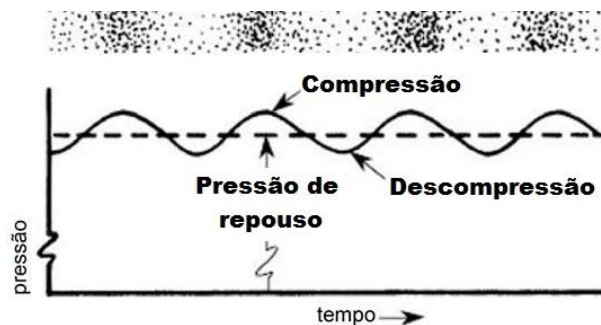


Figura 1 - Movimento ondulatório da pressão sonora

Este movimento ondulatório apresenta características únicas como o comprimento de onda (λ), a amplitude, etc. (cf. na *Figura 2*).

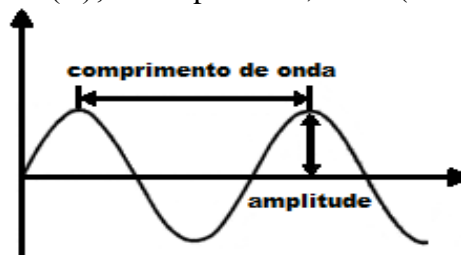


Figura 2 - Ondulatório sinusoidal

2.2.3 Frequência

Quando a pressão sonora varia do seu valor máximo, passando pelo mínimo e retornando ao valor máximo, diz-se que efectuou um ciclo completo.

Num ciclo completo (ou oscilação), a distância entre dois picos consecutivos de pressão chama-se comprimento de onda (λ), enquanto que o tempo necessário para efetuar esse ciclo chama-se período (T). A frequência (f) é o número de ciclos realizado por unidade de tempo. Sendo que 1 ciclo por segundo denomina-se 1 Hertz (Hz). É nesta unidade que se mede a frequência de um som.

O ouvido humano é capaz de detetar uma extensa gama de frequências (20Hz a 20kHz), devido a isto resolveu-se utilizar bandas de frequências para facilitar a classificação dos sons. Assim sendo, a denominação das bandas refere-se ao valor de frequência central da banda (cf. *Tabela 1*). Estas bandas podem ser de terços de oitava, ou de oitava.

| Frequência central (HZ) | Banda de Terços de Oitava (Hz) | Banda de Oitava (HZ) |
|-------------------------|--------------------------------|----------------------|
| 63 | 56,2 – 70,8 | 44,7 – 89,1 |
| 80 | 70,8 – 89,1 | |
| 100 | 89,1 – 112 | 89,1 – 178 |
| 125 | 112 – 141 | |
| 160 | 141 – 178 | |
| 200 | 178 – 224 | 178 – 355 |
| 250 | 224 – 282 | |
| 315 | 282 – 355 | |
| 400 | 355 – 447 | 355 – 708 |
| 500 | 447 – 562 | |
| 630 | 562 – 708 | |
| 800 | 708 – 891 | |
| 1000 | 891 – 1120 | 708 – 1410 |
| 1250 | 1120 – 1410 | |
| 1600 | 1410 – 1780 | |
| 2000 | 1780 – 2240 | 1410 – 2820 |
| 2500 | 2240 – 2820 | |
| 3150 | 2820 – 3550 | |
| 4000 | 3550 – 4470 | 2820 – 5620 |
| 5000 | 4470 – 5620 | |
| 6300 | 5620 – 7080 | |
| 8000 | 7080 – 8910 | 5620 – 11200 |

Tabela 1 - Bandas de frequências

2.2.4 Decibel [dB] / Nível de pressão sonora

Bel [Bel] é uma unidade logarítmica que indica a proporção de uma realidade física em relação a um nível de referência. Esta relação é igual a 100 vezes o logaritmo (de base 10) do rácio entre as duas quantidades físicas. O *decibél* [dB], por sua vez é um décimo de um *Bel*.

O *Nível de pressão sonora* pode ser expresso em decibéis de acordo com a equação abaixo.

$$L_P = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{ef.}^2}{P_{ref.}^2} \right) \quad (1)$$

Onde:

Pressão sonora de referência: $(P_{ref}) = 2 \times 10^{-5}$ [Pa]

e

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

Em que:

$t_2 - t_1$ é o intervalo de tempo, entre t_1 e t_2 , em que se analisa a pressão sonora [s]; e

$p(t)$ é a pressão sonora medida [Pa].

Observa-se então que quando o nível de pressão sonora é de 20dB, a pressão sonora medida é 100 vezes maior que a pressão sonora de referência.

2.2.5 Ruído

O som aéreo, que se propaga pelo ar, ao atingir o indivíduo provoca nesta uma reação física, mas também uma sensação agradável ou desagradável. Quando esta sensação é desagradável classifica-se o som como ruído. Sendo uma definição subjetiva, que varia de indivíduo para indivíduo, não estão definidas componentes harmónicas específicas desse som.

Como o ruído é uma das principais causas de mau estar público, que pode até mesmo provocar doenças (perda de audição, interferências no sistema cardiovascular, etc.) torna-se necessário, não só a sua diminuição real, mas também a atenuação da transmissão sonora principalmente no meio urbano em consequência da elevada densidade populacional, da complexidade da malha urbana e coexistência de várias atividades ruidosas. Para identificar este ruído urbano o *Regulamento Geral do Ruído* (RGR, ver subcapítulo 3.1) define os vários indicadores. Destes, o mais utilizado é o indicador L_{den} .

L_{den} Indicador de ruído diurno-entardecer-nocturno

Quantifica o ruído exterior de incómodo para o período global do dia, entardecer e noite. Este é calculado pela equação abaixo.

$$L_{den} = 10 \text{Log} \left(\frac{1}{24} (13 \times 10^{0,1L_d} + 3 \times 10^{0,1L_e} + 8 \times 10^{0,1L_n}) \right) [dB(A)] \quad (3)$$

Em que:

L_d = *Indicador de ruído diurno*, que corresponde ao nível sonoro médio de longa duração (cf. NP 1730-1:1996) durante uma série de períodos diurnos representativos de um ano [dB(A)];

L_e = *Indicador de ruído do entardecer*, que corresponde ao nível sonoro médio de longa duração (cf. NP 1730-1:1996) durante uma série de períodos do entardecer representativos de um ano [dB(A)];

L_n = *Indicador de ruído nocturno*, que corresponde ao nível sonoro médio de longa duração (cf. NP 1730-1:1996) durante uma série de períodos noturnos representativos de um ano [dB(A)];

2.2.6 Transmissão sonora entre espaços

Nos edificadados ocorre transmissão de sons aéreos e de sons de percussão de um compartimento para outro. Esta transmissão ocorre sempre por dois caminhos: o caminho direto e o caminho indireto. O caminho direto ocorre somente através do elemento separador entre o espaço emissor e o espaço recetor. Os caminhos indiretos ou marginais consistem nos elementos envolventes dos compartimentos.

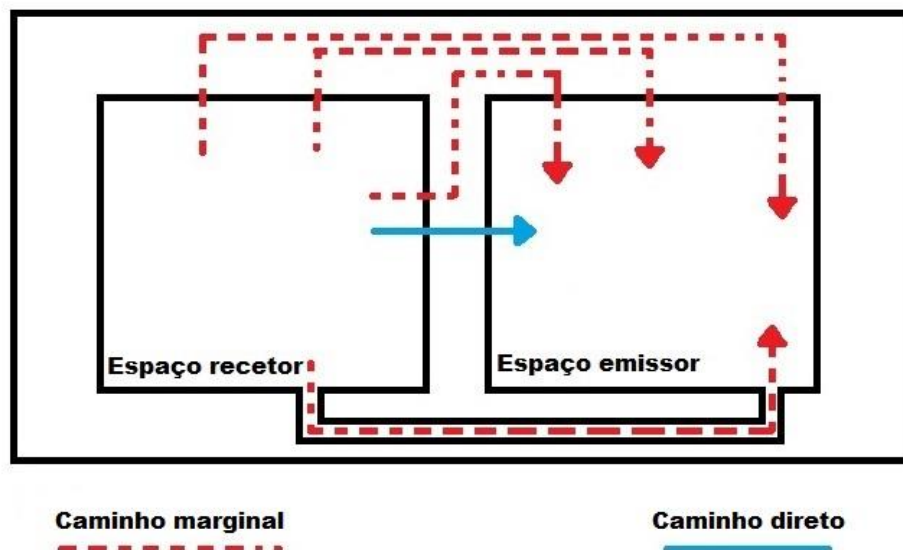


Figura 3 - Caminhos da transmissão sonora

A diminuição desta transmissão é conseguida pelo isolamento a sons aéreos e pelo isolamento a sons de percussão.

2.2.7 Isolamento a sons aéreos

O isolamento a sons aéreos (sons transmitidos através do elemento separador) depende das características do elemento separador, nomeadamente da massa, da rigidez e do amortecimento interno. A caracterização deste desempenho é feita pelo índice de isolamento a sons aéreos (R_w) calculado segundo a norma EN ISO 717-1:2013.

O efeito isolante do elemento separador provoca uma perda de pressão sonora que varia consoante a frequência do ruído em questão.

À apresentação gráfica deste conjunto de perdas de pressão sonora denomina-se *curva de perda de transmissão sonora*. De modo a simplificar a utilização do conjunto destes valores, foi estabelecido o índice R_w .

Este valor R_w é obtido pela ordenada da *curva de referência* para a frequência de 500Hz. Esta *curva de referência*, (cuja forma pode ser descrita pelos valores exemplo da *Tabela 2*), é sobreposta à *curva de perdas de transmissão*, de modo a que o valor médio do desvio em sentido desfavorável seja o mais elevado possível, não ultrapassando 2dB. Este desvio no sentido desfavorável ocorre quando, numa determinada banda de frequências, o valor da *curva de perdas* é inferior ao da *curva de referência*. Como tal, o desvio médio em sentido desfavorável é calculado pela divisão do somatório dos desvios nesse sentido pelo número total de bandas de frequência consideradas pela curva de perdas. Na *Figura 4* apresenta-se esta sobreposição e a determinação gráfica do valor de R_w .

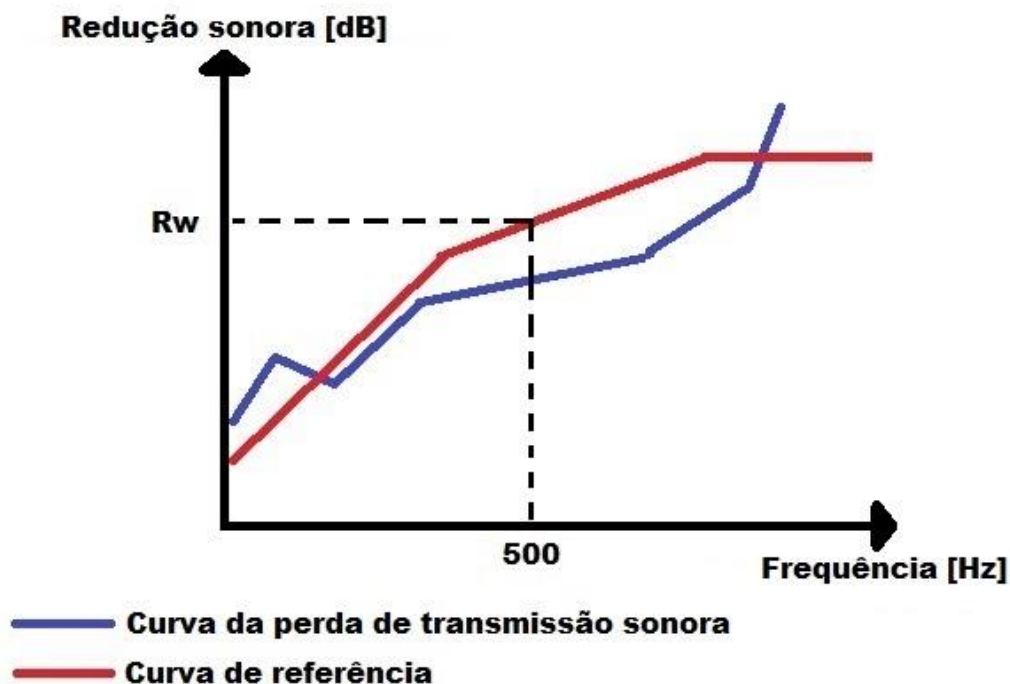


Figura 4 - Curva de referência de R_w

| Freq. | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| Ref. | 33 | 36 | 39 | 42 | 45 | 48 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 |

Tabela 2 - Forma da curva de referência para R_w

2.2.8 Isolamento a sons de percussão

O isolamento a sons de percussão consiste na diminuição das ondas de choque transmitidas pelos elementos sólidos dos compartimentos. Este isolamento pode ser caracterizado por um valor único, o índice de isolamento a sons de percussão (L_w ou $L_{n,w}$).

A determinação deste índice é feito conforme a norma EN ISO 717-2:2013, e, como na determinação do índice R_w , recorre à sobreposição da *curva de referência* com a *curva do espetro de receção*. Esta curva de referência, (cuja forma pode ser dada pelos valores exemplos da *Tabela 3*), é sobreposta de modo a que o valor médio no sentido desfavorável seja o mais elevado sem utrapassar o valor de 2dB.

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| Freq. | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 |
| Ref. | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 | 61 | 60 | 59 | 58 | 57 | 54 | 51 | 48 | 45 | 42 |

Tabela 3 - Forma da curva de referência para $L_{nT,w}$

2.2.9 Isolamento a sons na construção

De modo a ter em conta aspetos específicos de desconforto sentido pelos ocupantes dos edifícios, efetuou-se uma expansão dos índices de isolamento. Esta caracterização de valores em laboratório e *in situ* consoante o isolamento a estudar originou uma miríade de índices. Contudo os mais utilizados são os seguintes:

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

Representa a diferença entre o nível médio de pressão sonora exterior, medido a 2 m da fachada do edifício, e o nível médio de pressão sonora medido no local de receção, corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor.

É obtido por um processo de ponderação semelhante ao utilizado na determinação de R_w , onde para cada banda de frequências o valor de $D_{2m,nT}$ é dado pela expressão:

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \text{Log} \left(\frac{T}{T_0} \right) [dB] \quad (4)$$

Em que:

$L_{1,2m}$ = Nível de pressão sonora exterior medido a 2m da fachada [dB];

L_2 = Nível de pressão sonora medido no local recetor [dB];

T = Tempo de reverberação do compartimento recetor [s];

T_0 = Tempo de reverberação de referência [s]. Para compartimentos com dimensões comparáveis (ou compartimentos de habitação) $T_0 = 0,5s$.

Quanto maior for o valor de $D_{2m,nT,w}$ maior é o isolamento sonoro fornecido pela fachada, logo maior conforto.

$D_{nT,w}$ – Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado de elementos de separação de divisões

Representa a diferença entre o nível médio de pressão sonora medido no compartimento emissor produzido por uma ou mais fontes sonoras, e o nível médio de pressão sonora medido no compartimento

recetor, corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor.

O processo de ponderação é semelhante ao utilizado na determinação de R_w , sendo que em cada banda de frequências (f) do diagrama tipo $D = \alpha f$, o valor de D_{nT} é dado pela expressão:

$$D_{2m,nT} = L_1 - L_2 + 10 \text{Log} \left(\frac{T}{T_0} \right) [dB] \quad (5)$$

Em que:

L_1 = Nível de pressão sonora exterior no compartimento emissor [dB];

L_2 = Nível de pressão sonora medido no compartimento recetor [dB];

T = Tempo de reverberação do compartimento recetor [s];

T_0 = Tempo de reverberação de referência [s]. Para compartimentos com dimensões comparáveis (ou compartimentos de habitação) $T_0 = 0,5s$.

Maior é o isolamento sonoro fornecido pela divisória de compartimentação quanto maior for o valor de $D_{nT,w}$, logo apresentando maior conforto.

$L'_{nT,w}$ – Nível sonoro de percussão, padronizado

Representa o nível sonoro médio medido no compartimento recetor, proveniente de uma excitação de percussão normalizada exercida sobre um pavimento, corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor.

Este índice de nível sonoro médio é obtido a partir de um diagrama $D = \alpha f$, onde para cada banda de frequências o valor é dado pela equação:

$$L'_{nT} = L_i - 10 \text{Log} \left(\frac{T}{T_0} \right) [dB] \quad (6)$$

Em que:

L_i = Nível de pressão sonora no compartimento recetor [dB];

T = Tempo de reverberação do espaço recetor [s];

T_0 = Tempo de reverberação de referência [s]. Para compartimentos com dimensões comparáveis (ou compartimentos de habitação) $T_0 = 0,5s$.

Quando maior for o valor de $L'_{nT,w}$ maior é a transmissão dos sons de percussão, ou seja maior o desconforto sentido no espaço recetor.

$L_{Ar,nT}$ – Nível de avaliação padronizado

É o nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, durante um intervalo de tempo especificado, adicionado da correção devida às características tonais do ruído e corrigido da influência das condições de



ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS: ESTUDO DE IMPACTO ECONÓMICO ASSOCIADO AO MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO ACÚSTICA

reverberação do compartimento recetor. É determinado pela equação abaixo.

$$L_{Ar,nT} = L_A + K - 10 \text{Log} \left(\frac{T}{T_0} \right) [dB(A)] \quad (7)$$

Em que:

L_A = Nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderado A [dB];

K = Correção devido às características tonais do ruído. É utilizado um valor de $K = 3dB(A)$;

T = Tempo de reverberação do espaço recetor de sistemas homogéneos (elementos de compartimentação dos espaços correntes em edifícios) [s];

T_0 = Tempo de reverberação de referência [s]. Para compartimentos com dimensões comparáveis (ou compartimentos de habitação) $T_0 = 0,5s$.

3. LEGISLAÇÃO ACÚSTICA PORTUGUESA

3.1 Apresentação

Na *República Portuguesa* existem dois regulamentos acústicos que estabelecem requisitos, índices e limites regulamentares abordados pelo *Método Acústico LNEC*. Estes são o *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios* (RRAE) e o *Regulamento Geral do Ruído* (RGR).

O RRAE estabelece os requisitos acústicos dos edifícios habitacionais, mistos, comerciais e de serviços, unidades hoteleiras, etc. que sejam objeto de licenciamento de construção, reconstrução, ampliação ou alteração. Este regulamento foi utilizado ao longo do trabalho na sua versão exposta no DL n.º 96/2008, de 9/06.

O RGR estabelece a prevenção e controlo da poluição sonora decorrentes da construção civil, estabelecimentos industriais, estabelecimentos de comércio, equipamentos, infraestruturas, etc. Este regulamento foi utilizado ao longo do trabalho na sua versão exposta no DL n.º 278/2007, de 1/08.

3.2 Regulamento Geral do Ruído (RGR)

Este regulamento regula a poluição sonora, estabelecendo medidas de prevenção e controlo de atividades ruidosas permanentes e temporárias e outras fontes de ruído suscetíveis de causar incomodidade. Assenta na prevenção efetuada através do planeamento municipal; na regulação da produção de ruído através de limites regulamentares; em medidas de redução de ruído; e na fiscalização pelas entidades competentes.

A prevenção do ruído apoia-se nos *Planos Municipais de Ordenamento do Território* e nos *Mapas de ruído*. O *Plano Municipal de Ordenamento do Território* (PMOT) procura assegurar a distribuição adequada das fontes de ruído existentes e previstas. Através do PMOT os municípios delimitam as zonas sensíveis e as zonas mistas. As *zonas sensíveis* são zonas definidas como vocacionadas principalmente para uso habitacional. Em oposição, as *zonas mistas* são áreas cujos usos não são exclusivamente habitacionais, ou seja incluem outros usos existentes ou previstos para além do habitacional.

Sempre que se justifique, e sem prejuízo dos municípios poderem elaborar relatórios acústicos, são elaborados *Mapas de Ruído*. Estes são feitos para apoiar a elaboração, alteração e revisão do *Plano Director Municipal* (PDM) e do *Plano de Urbanização*. O *Mapa de Ruído* é um documento onde são delimitadas isobarométricas da intensidade do ruído ambiente exterior (L_{den} e L_n expressos em dB(A) e medidos a uma altura de 4m acima do solo).

A regulação do ruído existente foi feita, ou já devia ter sido feita, pela implementação dos *Planos Municipais de Redução de Ruído*. O objeto destes planos são as zonas com ocupação expostas a ruídos que excedam os valores limites de exposição (cf. RGR Art.º 11). Neste plano são identificadas as áreas afetadas, são quantificados os ruídos e as suas fontes e são indicadas medidas de redução a ser aplicadas por parte do município ou por parte das entidades públicas ou privadas.






| Limites regulamentares para ruído ambiente exterior (RGR Art.º 11): | |
|---|--|
| Zona: | Limite: |
| Zona mista.  | $L_{den} < 65\text{dB(A)}$ $L_n < 50\text{dB(A)}$ |
| Zona sensível.  | $L_{den} < 55\text{dB(A)}$ $L_n < 45\text{dB(A)}$ |
| Zona sensível próxima de grande infra-estrutura de transporte existente.  | $L_{den} < 65\text{dB(A)}$ $L_n < 55\text{dB(A)}$ |
| Zona sensível próxima de aeroporto/aeródromo/heliporto.  | $L_{den} < 65\text{dB(A)}$ $L_n < 55\text{dB(A)}$ |
| Zona sensível próxima de grande infra-estrutura de transporte, não aérea, projetada.  | $L_{den} < 60\text{dB(A)}$ $L_n < 50\text{dB(A)}$ |

Tabela 4 - Limites de ruído ambiente exterior definidos pelo RGR

Como medida assessoria os municípios também apresentam à assembleia municipal, de dois em dois anos, um relatório sobre o estado do ambiente acústico municipal.

A fiscalização das atividades ruidosas temporárias é feita pelas forças policiais e pela polícia municipal. Relativamente à fiscalização dos ruídos permanentes e do cumprimento das normas regulamentares, esta fica a cargo da *Inspecção-geral do Ambiente e do Ordenamento do Território*, da entidade responsável pelo licenciamento ou autorização da atividade (antigos governos civis, etc.), das Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR) e das câmaras municipais.

3.3 Regulamento dos Requisitos Acústicos em Edifícios (RRAE)

Este regulamento, com a sua alteração de 2008, regula o conforto acústico da edificação com o objetivo de melhorar as condições da qualidade acústica presente nestes edifícios.

O funcionamento do regulamento assenta no cumprimento de requisitos acústicos em construções, reconstruções, ampliações ou alterações de edifícios habitacionais, comerciais ou mistos, edifícios de uso escolar, hospitalar, desportivo, hoteleiro, auditórios e salas, estações de passageiros e semelhantes. Os requisitos estabelecidos são implementados através da elaboração de projetos de condicionamento acústico que cumpram o regulamento; da declaração do técnico responsável pela execução da obra que ateste a observância das normas; e por fim de ensaios e medições acústicas que comprovem o cumprimento dos requisitos acústicos regulamentares.

No segundo capítulo do regulamento estabelecem-se os requisitos acústicos a serem observados pelos edifícios. Assim, desde o artigo 5.º ao 10.º, estabelecem-se os requisitos a serem cumpridos por todos os edifícios objeto deste regulamento.

O presente regulamento estabelece limites para os índices regulamentares consoante o tipo de edifício. Os índices regulamentares referem-se ao isolamento dos sons aéreos ($D_{2m,nT,w}$; $D_{nT,w}$; $D_{nT,oit.63Hz}$), ao isolamento dos sons de percussão ($L'_{nT,w}$), aos ruídos de equipamentos ($L_{Ar,nT}$; L_{Aeq}) e ao tempo de reverberação (T).

De um modo simplificado os limites regulamentares para edifícios habitacionais e mistos encontram-se nas tabelas seguintes.

Limites para sons aéreos:

| $D_{2m,nT,w}$ - Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado | | | |
|---|--------|--|---|
| $D_{2m,nT,w}$ + I (I = 3dB) | \geq | 33dB | Entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos – zonas mistas ou sensíveis reguladas pelas alíneas <i>c)</i> , <i>d)</i> e <i>e)</i> do n.º 1 do artigo 11.º do <i>Regulamento Geral do Ruído</i> . |
| | | 28dB | Entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos – em zonas sensíveis reguladas pela alínea <i>b)</i> do n.º 1 do artigo 11.º do <i>Regulamento Geral do Ruído</i> . |
| | | Os valores limite dos índices referidos são acrescidos de 3dB, quando se verifique o disposto no n.º 7 do artigo 12.º do <i>Regulamento Geral do Ruído</i> . | |

Tabela 5 - Limites RRAE para $D_{2m,nT,w}$

| $D_{nT,w}$ - Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado | | | |
|--|--------|------|--|
| $D_{nT,w} + I$ (I = 3dB) | \geq | 50dB | Entre compartimentos de um fogo como locais emissores e quartos ou zonas de estar de outro fogo, como locais recetores. |
| | | 48dB | Entre locais de circulação comum do edifício como locais emissores e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais recetores. |
| | | 40dB | Entre locais de circulação comum do edifício como locais emissores e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais recetores – se o local emissor for um caminho de circulação vertical, quando o edifício seja servido por ascensores. |
| | | 50dB | Entre locais de circulação comum do edifício como locais emissores e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais recetores – se o local emissor for uma garagem de estacionamento automóvel. |
| | | 58dB | Entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão, como locais emissores e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais recetores. |

Tabela 6 - Limites RRAE para $D_{nT,w}$

Limites para sons de percussão:

| $L'_{nT,w}$ - Isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado | | | |
|--|--------|------|---|
| $L'_{nT,w} - I$ (I = 3dB) | \geq | 60dB | Proveniente de pavimentos de outros fogos ou locais de circulação comum do edifício como locais emissores e o interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos como locais recetores – não se aplica se o local emissor for um caminho de circulação vertical, quando o edifício seja servido por ascensores. |
| | | 50dB | Proveniente de pavimentos de locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão como locais emissores e o interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos como locais recetores. |

Tabela 7 - Limites RRAE para $L'_{nT,w}$

Limites para ruídos de equipamentos:

| $L_{Ar,nT}$ - Nível de avaliação padronizado | | | |
|--|--------|------|---|
| $L_{Ar,nT}$ - I (I = 3dB) | \leq | 32dB | Ruído particular de equipamentos coletivos do edifício, tais como ascensores, grupos hidropressores, sistemas centralizados de ventilação mecânica, automatismos de portas de garagem, postos de transformação de corrente elétrica e instalações de escoamento de águas no interior dos quartos e zonas de estar dos fogos – se o funcionamento do equipamento for intermitente. |
| | | 27dB | Ruído particular de equipamentos coletivos do edifício, tais como ascensores, grupos hidropressores, sistemas centralizados de ventilação mecânica, automatismos de portas de garagem, postos de transformação de corrente elétrica e instalações de escoamento de águas no interior dos quartos e zonas de estar dos fogos – se o funcionamento do equipamento for contínuo. |
| | | 40dB | Ruído particular de equipamentos coletivos do edifício, tais como ascensores, grupos hidropressores, sistemas centralizados de ventilação mecânica, automatismos de portas de garagem, postos de transformação de corrente elétrica e instalações de escoamento de águas no interior dos quartos e zonas de estar dos fogos – se o equipamento for um grupo gerador elétrico de emergência. |

Tabela 8 - Limites RRAE para $L_{Ar,nT}$

4. MÉTODO LNEC

4.1 Apresentação

O Método LNEC para avaliação e classificação da qualidade acústica de edifícios habitacionais é uma classificação global da acústica de edifícios que avalia a qualidade acústica das habitações considerando as características da vizinhança próxima (*Vizinhança*), do edifício (*Edifício*) e da unidade habitacional (*Habitação*). Esta avaliação é feita com base em resultados de indicadores físicos (índices) e de indicadores analíticos (questões).

À resposta de cada indicador é atribuída uma pontuação (Pt). Esta pontuação combina-se de modo a produzir três níveis físicos: *Vizinhança*, *Edifício* e *Habitação*.

A conjugação ponderada do valor de cada nível físico origina o *Nível de Avaliação Acústica* (NAA), que para valores inferiores a 1 pode ser expandido pela atribuição de um *Índice de Avaliação Acústica* (IAA) e respetivas *Subclasses Acústicas LNEC*.

Ao domínio de NAA é atribuída uma *Classe Acústica LNEC* que representa o conforto acústico global sentido.

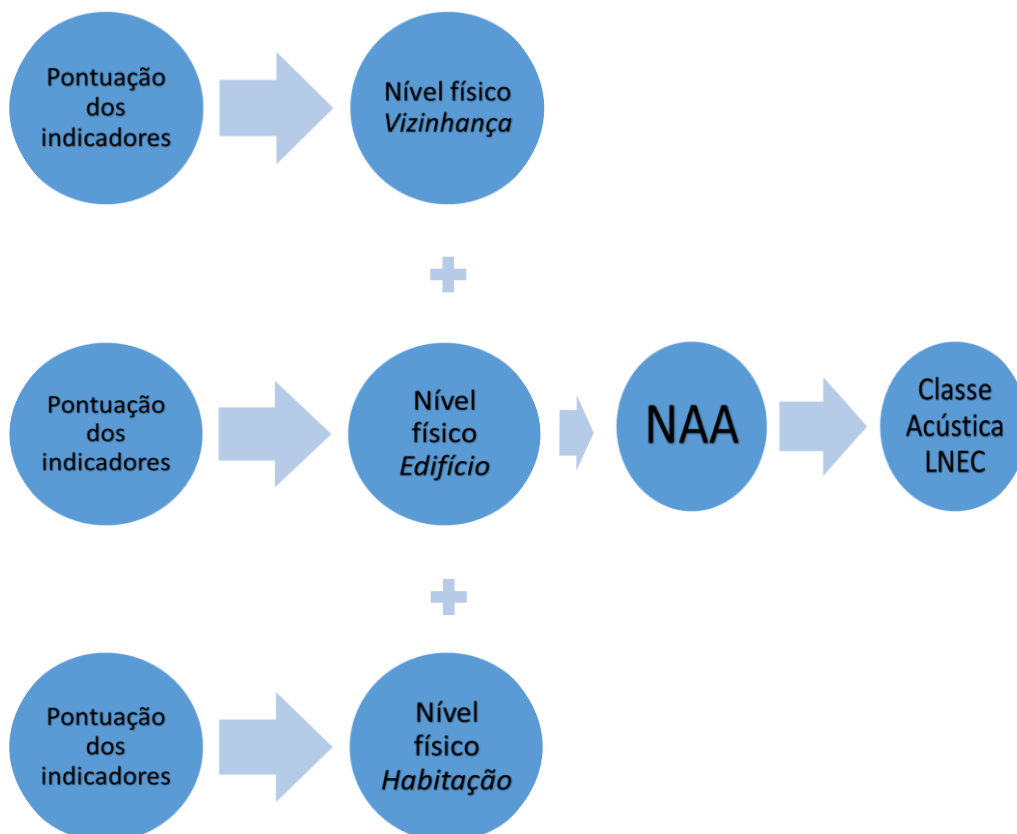


Figura 5 - Funcionamento do Método LNEC

4.2 Cálculo dos níveis físicos para NAA

A determinação dos três níveis físicos é calculada utilizando as equações abaixo apresentadas.

Nível físico *Vizinhança* de NAA:

$$\text{VIZINHANÇA} = (1/N) \times \sum(\text{Pt}) \quad (8)$$

Pt = Número médio de pontos atribuído a cada indicador;

N = Número de indicadores (elementos) pontuados.

Nível físico *Edifício* de NAA:

$$\text{EDIFÍCIO} = (1/N) \times \sum(\text{Pt}) \quad (9)$$

Pt = Número médio de pontos atribuído a cada indicador;

N = Número de indicadores (elementos) pontuados (máx. 9).

Nível físico *Habitação* de NAA:

$$\text{HABITAÇÃO} = \sum(\alpha_i \cdot \text{Pt}_i) / \sum(\alpha_i) \quad (10)$$

Pt_i = Número médio de pontos atribuído a cada indicador;

α_i = Ponderação de cada indicador (elemento).

| Elemento | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ponderação α _i | 4 | 6 | 2 | 8 | 8 | 6 | 5 | 1 |

Tabela 9 - Fatores de ponderação dos indicadores (elementos) do nível físico *Habitação* (NAA)

Quando for necessário efetuar ensaios para determinar índices considera-se, segundo a metodologia utilizada, o seguinte:

- Valores obtidos para índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizado ($D_{2mn,T,w}$ ou $D_{nT,w}$) são acrescidos do fator I ($I = 3\text{dB}$);
- Valores obtidos para o índice de isolamento sonoro a sons de percussão ($L_{nT,w}$) são diminuídos do fator I ($I=3\text{dB}$);
- Valores obtidos para o nível de avaliação ($L_{Ar,nT}$) são diminuídos do fator I ($I = 3\text{dB}$);
- Valors obtidos para o tempo de reverberação (T) são diminuídos do fator I ($I = 25\%$ do limite regulamentar, cf. RRAE).

Relativamente aos vários indicadores das realidades físicas, denominados elementos pelo manual do método, considera-se o seguinte:

- Nos níveis físicos *Vizinhança* e *Edifício*, quando não existirem subelementos, não será atribuído qualquer valor diminuindo proporcionalmente o valor da média;
- No nível físico *Habitação*, sempre que exista o elemento analisado pelo indicador, mas não tenha sido medido/quantificado, o valor a atribuir será 1Pt.

4.2.1 Cálculo do nível físico **VIZINHANÇA** para NAA:

A pontuação (Pt) dos indicadores do nível físico *Vizinhança* é obtida pela resposta ao seguinte questionário:

| Questões: | Pontuação (Pt) da resposta: |
|---|-----------------------------|
| Elemento 1) Disposições gerais: | |
| a) Está especificada a existência de mapa de ruído? | V = 2Pts; F = 0Pt |
| b) Não existem na envolvente próxima zonas potencialmente ruidosas (vias de tráfego, parques industriais, espaços de diversão, etc.)? | V = 4Pts; F = 0Pt |
| c) A integração ambiental do edifício assenta em classificação administrativa de zonamento acústico? | V = 3Pts; F = 1Pt |
| A pontuação deste elemento (Disposições gerais) corresponde à média aritmética dos subelementos que o compõem. | |
| Elemento 2) Nível sonoro do ruído ambiente exterior medido (L_{den} , L_n), escolhendo a situação a) ou b): | |
| Nota: caso não tenha sido medido, ou o ruído ambiente seja superior ao valor que origina zero pontos, considera-se pontuação igual a 0Pt. | |
| a) L_{Aeq} [dB(A)] Zona sensível (noite): $Pt(L_{Aeq}) = -(1/5)L_{Aeq} + (52/5)$; $L_{Aeq} \in [37;42]$ $Pt(L_{Aeq}) = -(1/3)L_{Aeq} + 16$; $L_{Aeq} \in [42;45]$ $Pt(L_{Aeq}) = -(1/2)L_{Aeq} + (47/2)$; $L_{Aeq} \in [45;47]$ Zona mista (noite) / Zona sensível (dia): $Pt(L_{Aeq}) = -(1/5)L_{Aeq} + (62/5)$; $L_{Aeq} \in [47;52]$ $Pt(L_{Aeq}) = -(1/3)L_{Aeq} + (58/3)$; $L_{Aeq} \in [52;55]$ $Pt(L_{Aeq}) = -(1/2)L_{Aeq} + (57/2)$; $L_{Aeq} \in [55;57]$ Zona mista (dia): $Pt(L_{Aeq}) = -(1/5)L_{Aeq} + 14,4$; $L_{Aeq} \in [57;62]$ $Pt(L_{Aeq}) = -(1/3)L_{Aeq} + (68/3)$; $L_{Aeq} \in [62;65]$ $Pt(L_{Aeq}) = -(1/2)L_{Aeq} + (71/2)$; $L_{Aeq} \in [65;67]$ | |
| b) L_{Aeq} [dB(A)] Não classificados (noite): $Pt(L_{Aeq}) = -(1/3)L_{Aeq} + (56/3)$; $L_{Aeq} \in [47;50]$ $Pt(L_{Aeq}) = -(1/3)L_{Aeq} + (56/3)$; $L_{Aeq} \in [50;53]$ $Pt(L_{Aeq}) = -(1/2)L_{Aeq} + (55/2)$; $L_{Aeq} \in [53;57]$ Não classificados (dia): $Pt(L_{Aeq}) = -(1/3)L_{Aeq} + 22$; $L_{Aeq} \in [57;60]$ $Pt(L_{Aeq}) = -(1/3)L_{Aeq} + 22$; $L_{Aeq} \in [60;63]$ $Pt(L_{Aeq}) = -(1/2)L_{Aeq} + (65/2)$; $L_{Aeq} \in [63;65]$ | |
| Nota: considerar o diferencial mais elevado em relação ao valor regulamentar. | |

Tabela 10 - Questionário *Vizinhança* de NAA

4.2.2 Cálculo do nível físico *EDIFÍCIO* para NAA:

A pontuação (Pt) dos indicadores do nível físico *Edifício* é obtida pela resposta ao seguinte questionário:

| Questões: | Pontuação (Pt) da resposta: |
|---|------------------------------------|
| Elemento 1) | |
| a) Na entrada do edifício foram consideradas exigências de isolamento a sons aéreos relativamente ao exterior? | V = 2Pts; F = 1Pt |
| b) Nos espaços e acessos comuns foram consideradas disposições visando a redução do tempo de reverberação? | V = 5Pts; F = 0Pt |
| c) Nos espaços e acessos comuns foram consideradas disposições de condicionamento de ruído de equipamentos de carácter coletivo? | V = 3Pts; F = 0Pt |
| d) Nos espaços e acessos comuns foram consideradas disposições de condicionamento do ruído de instalações de escoamento de águas e esgotos? | V = 3Pts; F = 1Pt |
| e) Foi providenciada análise relativa ao isolamento sonoro da cobertura quando há corpo de escadas de acesso coletivo? | V = 2Pts; F = 0Pt |
| Elemento 2) | |
| a) Não existe sobreposição vertical de compartimentos com vocação de utilização diferenciada (ex. salas sobre quartos)? | V = 2Pts; F = 0Pt |
| b) Não existe adjacência na horizontal de compartimentos principais com vocação de utilização diferenciada (ex. cozinhas anexas a quartos)? | V = 2Pts; F = 0Pt |
| c) Os compartimentos de dormir e de estar não se encontram virados para zonas potencialmente ruidosas (ex. vias de tráfego terrestre)? | V = 3Pts; F = 1Pt |
| d) Não existem no edifício espaços comerciais, de serviços ou de diversão noturna? | V = 5Pts; F = 0Pt |

Tabela 11 - Questionário *Edifício* de NAA

4.2.3 Cálculo do nível físico **HABITAÇÃO** para NAA:

A pontuação (Pt) dos indicadores do nível físico *Habitação* é obtida pela resposta ao seguinte questionário:

| Questões: | Pontuação (Pt) da resposta: |
|--|-----------------------------|
| <p>Devido a existirem diversas soluções construtivas na mesma habitação, realiza-se então uma média energética de modo a obter um índice médio final. Isto deve ser feito para cada elemento de avaliação.</p> <p>Isolamentos: $I_{final} = -10\text{Log}[(1/k) \times \sum(10^{(-D_i/10)})]$ [dB]</p> <p>Campo sonoro: $I_{final} = -10\text{Log}[(1/k) \times \sum(10^{(L_i/10)})]$ [dB]</p> <p>I_{final} = Índice médio final; D_i = Isolamento da solução construtiva i; L_i = Campo sonoro do espaço i; k = Número de soluções construtivas consideradas.</p> <p>Nota:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quando o valor do índice de isolamento a sons aéreos é inferior ao valor que origina zero pontos atribui-se pontuação 0Pt; • Quando o valor do índice de isolamento a sons de percussão é inferior ao valor que origina zero pontos atribui-se pontuação 0Pt; • Quando o valor do ruído de equipamentos é inferior ao valor que origina zero pontos atribui-se pontuação 0Pt; | |
| <p>Elemento 1) Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{2m,nT,w}$, entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos.</p> <p>Zonas sensíveis: $Pt(D_{2m,nT,w}) = (1/2)D_{2m,nT,w} - 13$; $D_{2m,nT,w} \in [26;28]$ $Pt(D_{2m,nT,w}) = (1/3)D_{2m,nT,w} - (25/3)$; $D_{2m,nT,w} \in [28;31]$ $Pt(D_{2m,nT,w}) = (1/5)D_{2m,nT,w} - 4,2$; $D_{2m,nT,w} \in [31;36]$</p> <p>Zonas mistas: $Pt(D_{2m,nT,w}) = (1/2)D_{2m,nT,w} - 16$; $D_{2m,nT,w} \in [31;33]$ $Pt(D_{2m,nT,w}) = (1/3)D_{2m,nT,w} - 10$; $D_{2m,nT,w} \in [33;36]$ $Pt(D_{2m,nT,w}) = (1/5)D_{2m,nT,w} - (26/5)$; $D_{2m,nT,w} \in [36;41]$</p> | |
| <p>Elemento 2) Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{nT,w'}$, entre compartimentos de um fogo (emissão) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (receção).</p> <p>$Pt(D_{nT,w'}) = (1/2)D_{nT,w'} - 24$; $D_{nT,w'} \in [48;50]$ $Pt(D_{nT,w'}) = (1/3)D_{nT,w'} - 16$; $D_{nT,w'} \in [50;53]$ $Pt(D_{nT,w'}) = (1/5)D_{nT,w'} - (43/5)$; $D_{nT,w'} \in [53;58]$</p> | |
| <p>Elemento 3) Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{nT,w'}$, entre locais de circulação comum do edifício (emissão) e quartos ou zonas de estar dos fogos (receção).</p> | |

Se edifício tiver ascensores:

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/2)D_{nT,w'} - 19 ; D_{nT,w'} \in [38;40]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/3)D_{nT,w'} - (37/3) ; D_{nT,w'} \in [40;43]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/5)D_{nT,w'} - (33/5) ; D_{nT,w'} \in [43;48]$$

Se edifício só tiver escadas:

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/2)D_{nT,w'} - 23 ; D_{nT,w'} \in [46;48]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/3)D_{nT,w'} - 15 ; D_{nT,w'} \in [48;51]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/5)D_{nT,w'} - (41/5) ; D_{nT,w'} \in [51;56]$$

Se local emissor for garagem:

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/2)D_{nT,w'} - 24 ; D_{nT,w'} \in [48;50]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/3)D_{nT,w'} - (47/3) ; D_{nT,w'} \in [50;53]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/5)D_{nT,w'} - (43/5) ; D_{nT,w'} \in [53;58]$$

Elemento 4)

Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{nT,w'}$, entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão (emissão) e quartos ou zonas de estar dos fogos (receção).

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/2)D_{nT,w'} - 28 ; D_{nT,w'} \in [56;58]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/3)D_{nT,w'} - (53/3) ; D_{nT,w'} \in [58;61]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/5)D_{nT,w'} - (51/5) ; D_{nT,w'} \in [61;66]$$

Elemento 5)

Índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT,w}$, no interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos (receção), proveniente de uma percussão normalizada exercida sobre pavimentos de outros fogos ou de locais de circulação comum (emissão).

$$Pt(L'_{nT,w}) = -(1/5)L'_{nT,w} + (67/5) ; L'_{nT,w} \in [52;57]$$

$$Pt(L'_{nT,w}) = -(1/3)L'_{nT,w} + 21 ; L'_{nT,w} \in [57;60]$$

$$Pt(L'_{nT,w}) = -(1/2)L'_{nT,w} + 31 ; L'_{nT,w} \in [60;62]$$

Elemento 6)

Índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT,w}$, no interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos (receção), proveniente de uma percussão normalizada exercida sobre pavimentos de locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão (emissão).

$$Pt(L'_{nT,w}) = -(1/5)L'_{nT,w} + (57/5) ; L'_{nT,w} \in [42;47]$$

$$Pt(L'_{nT,w}) = -(1/3)L'_{nT,w} + (53/3) ; L'_{nT,w} \in [47;50]$$

$$Pt(L'_{nT,w}) = -(1/2)L'_{nT,w} + 26 ; L'_{nT,w} \in [50;52]$$

Elemento 7)

Nível de avaliação, $L_{Ar,nT}$, do ruído particular de equipamentos coletivos do edifício, tais como ascensores, grupos hidropressores, sistemas centralizados de ventilação mecânica, automatismos de portas de garagem, postos de transformação e escoamento de águas no interior dos quartos e zonas de estar dos fogos.

Funcionamento contínuo:

$$Pt(L_{Ar,nT'}) = -(1/5)L_{Ar,nT'} + (34/5) ; L_{Ar,nT'} \in [19;24]$$

$$Pt(L_{Ar,nT'}) = -(1/3)L_{Ar,nT'} + 10 ; L_{Ar,nT'} \in [24;27]$$

$$Pt(L_{Ar,nT'}) = -(1/2)L_{Ar,nT'} + (29/2) ; L_{Ar,nT'} \in [27;29]$$

Funcionamento intermitente:

$$Pt(L_{Ar,nT'}) = -(1/5)L_{Ar,nT'} + (39/5) ; L_{Ar,nT'} \in [24;29]$$

$$Pt(L_{Ar,nT'}) = -(1/3)L_{Ar,nT'} + (35/3) ; L_{Ar,nT'} \in [29;32]$$

$$Pt(L_{Ar,nT'}) = -(1/2)L_{Ar,nT'} + 17 ; L_{Ar,nT'} \in [32;34]$$

Gerador de emergência:

$$Pt(L_{Ar,nT'}) = -(1/5)L_{Ar,nT'} + (47/5) ; L_{Ar,nT'} \in [32;37]$$

$$Pt(L_{Ar,nT'}) = -(1/3)L_{Ar,nT'} + (43/3) ; L_{Ar,nT'} \in [37;40]$$

$$Pt(L_{Ar,nT'}) = -(1/2)L_{Ar,nT'} + 21 ; L_{Ar,nT'} \in [40;42]$$

Elemento 8)

Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{nT,w'}$, entre compartimentos de estar e dormir do mesmo fogo.

$$Pt(D_{nT,w'}) = 1 ; D_{nT,w'} \in [35;38]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/5)D_{nT,w'} - (33/5) ; D_{nT,w'} \in [38;43]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/5)D_{nT,w'} - (33/5) ; D_{nT,w'} \in [43;48]$$

Tabela 12 - Questionário *Habitação* de NAA

4.3 Cálculo dos níveis físicos para IAA

Quando se pretende um maior detalhe na classificação do nível físico *Habituação* é possível calcular subclasses da *Classe Acústica LNEC* (Classe D, valores IAA < 1). Estas subclasses do nível físico *Habituação* são delimitadas pelo valor do *Índice de Avaliação Acústica* (IAA). Este é calculado da seguinte forma:

Índice IAA:

$$IAA = \sum(\alpha_i \cdot Pt_i) / \sum(\alpha_i) \quad (11)$$

Pt = Número médio de pontos atribuído a cada realidade física;

α = Ponderação de cada elemento.

| Elemento | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ponderação α_i | 4 | 6 | 2 | 8 | 8 | 6 | 5 | 1 |

Tabela 13 - Fatores de ponderação de elementos da realidade física *Habituação* (IAA)

4.3.1 Cálculo do nível físico *HABITAÇÃO* para IAA:

A pontuação (Pt) dos indicadores do nível físico *Habituação* no cálculo de IAA é obtida pela resposta ao seguinte questionário:

| Questões: | Pontuação (Pt) da resposta: |
|--|-----------------------------|
| <p>Elemento 1) Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{2m,nT,w}$, entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos.</p> <p>Zonas sensíveis: $Pt(D_{2m,nT,w}) = (1/5)D_{2m,nT,w} - (8/5)$; $D_{2m,nT,w} \in [13;18]$ $Pt(D_{2m,nT,w}) = (1/5)D_{2m,nT,w} - (8/5)$; $D_{2m,nT,w} \in [18;23]$ $Pt(D_{2m,nT,w}) = (1/2)D_{2m,nT,w} - (17/2)$; $D_{2m,nT,w} \in [23;25]$ $Pt(D_{2m,nT,w}) = (1/3)D_{2m,nT,w} - (13/3)$; $D_{2m,nT,w} \in [25;28]$</p> <p>Zonas mistas: $Pt(D_{2m,nT,w}) = (1/5)D_{2m,nT,w} - (13/5)$; $D_{2m,nT,w} \in [18;23]$ $Pt(D_{2m,nT,w}) = (1/5)D_{2m,nT,w} - (13/5)$; $D_{2m,nT,w} \in [23;28]$ $Pt(D_{2m,nT,w}) = (1/2)D_{2m,nT,w} - 11$; $D_{2m,nT,w} \in [28;30]$ $Pt(D_{2m,nT,w}) = (1/3)D_{2m,nT,w} - 6$; $D_{2m,nT,w} \in [30;33]$</p> | |
| <p>Elemento 2) Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{nT,w'}$, entre compartimentos de um fogo (emissão) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (receção).</p> <p>$Pt(D_{nT,w'}) = (1/5)D_{nT,w'} - 6$; $D_{nT,w'} \in [35;40]$ $Pt(D_{nT,w'}) = (1/5)D_{nT,w'} - 6$; $D_{nT,w'} \in [40;45]$ $Pt(D_{nT,w'}) = (1/2)D_{nT,w'} - (39/2)$; $D_{nT,w'} \in [45;47]$ $Pt(D_{nT,w'}) = (1/3)D_{nT,w'} - (35/3)$; $D_{nT,w'} \in [47;50]$</p> | |
| <p>Elemento 3) Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{nT,w'}$, entre locais de circulação comum do edifício (emissão) e quartos ou zonas de estar dos fogos (receção).</p> | |

Se edifício tiver ascensores:

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/5)D_{nT,w'} - (19/5) ; D_{nT,w'} \in [24;29]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/5)D_{nT,w'} - (19/5) ; D_{nT,w'} \in [29;34]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/2)D_{nT,w'} - 14 ; D_{nT,w'} \in [34;36]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/4)D_{nT,w'} - 5 ; D_{nT,w'} \in [36;40]$$

Se edifício só tiver escadas:

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/5)D_{nT,w'} - (27/5) ; D_{nT,w'} \in [32;37]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/6)D_{nT,w'} - (25/6) ; D_{nT,w'} \in [37;43]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/2)D_{nT,w'} - (37/2) ; D_{nT,w'} \in [43;45]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/3)D_{nT,w'} - 11 ; D_{nT,w'} \in [45;48]$$

Se local emissor for garagem:

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/6)D_{nT,w'} - (14/3) ; D_{nT,w'} \in [34;37]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/4)D_{nT,w'} - (31/4) ; D_{nT,w'} \in [37;39]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/6)D_{nT,w'} - (9/2) ; D_{nT,w'} \in [39;45]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/5)D_{nT,w'} - 5 ; D_{nT,w'} \in [45;50]$$

Elemento 4)

Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{nT,w'}$, entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão (emissão) e quartos ou zonas de estar dos fogos (receção).

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/5)D_{nT,w'} - (38/5) ; D_{nT,w'} \in [43;48]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/5)D_{nT,w'} - (38/5) ; D_{nT,w'} \in [48;53]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/2)D_{nT,w'} - (47/2) ; D_{nT,w'} \in [53;55]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/3)D_{nT,w'} - (43/3) ; D_{nT,w'} \in [55;58]$$

Elemento 5)

Índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT,w'}$, no interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos (receção), proveniente de uma percussão normalizada exercida sobre pavimentos de outros fogos ou de locais de circulação comum (emissão).

$$Pt(L'_{nT,w'}) = -(1/3)L'_{nT,w'} + 25 ; L'_{nT,w'} \in [60;63]$$

$$Pt(L'_{nT,w'}) = -(1/2)L'_{nT,w'} + (71/2) ; L'_{nT,w'} \in [63;65]$$

$$Pt(L'_{nT,w'}) = -(1/5)L'_{nT,w'} + 16 ; L'_{nT,w'} \in [65;70]$$

$$Pt(L'_{nT,w'}) = -(1/5)L'_{nT,w'} + 16 ; L'_{nT,w'} \in [70;75]$$

Elemento 6)

Índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado, $L'_{nT,w'}$, no interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos (receção), proveniente de uma percussão normalizada exercida sobre pavimentos de locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão (emissão).

$$Pt(L'_{nT,w'}) = -(1/3)L'_{nT,w'} + (65/3) ; L'_{nT,w'} \in [50;53]$$

$$Pt(L'_{nT,w'}) = -(1/2)L'_{nT,w'} + (61/2) ; L'_{nT,w'} \in [53;55]$$

$$Pt(L'_{nT,w'}) = -(1/5)L'_{nT,w'} + 14 ; L'_{nT,w'} \in [55;60]$$

$$Pt(L'_{nT,w'}) = -(1/5)L'_{nT,w'} + 14 ; L'_{nT,w'} \in [60;65]$$

Elemento 7)

Nível de avaliação, $L_{Ar,nT'}$, do ruído particular de equipamentos coletivos do edifício tais como ascensores, grupos hidropressores, sistemas centralizados de ventilação mecânica, automatismos de portas de garagem, postos de transformação e escoamento de águas no interior dos quartos e zonas de estar dos fogos.

Funcionamento contínuo:

$$Pt(L_{Ar,nT'}) = -(1/3)L_{Ar,nT'} + 14 ; L_{Ar,nT'} \in [27;30]$$

$$Pt(L_{Ar,nT'}) = -(1/2)L_{Ar,nT'} + 19 ; L_{Ar,nT'} \in [30;32]$$

$$Pt(L_{Ar,nT'}) = -(1/5)L_{Ar,nT'} + (47/5) ; L_{Ar,nT'} \in [32;37]$$

$$Pt(L_{Ar,nT'}) = -(1/5)L_{Ar,nT'} + (47/5) ; L_{Ar,nT'} \in [37;42]$$

Funcionamento intermitente:

$$Pt(L_{Ar,nT'}) = -(1/3)L_{Ar,nT'} + (47/3) ; L_{Ar,nT'} \in [32;35]$$

$$Pt(L_{Ar,nT'}) = -(1/2)L_{Ar,nT'} + (43/2) ; L_{Ar,nT'} \in [35;37]$$

$$Pt(L_{Ar,nT'}) = -(1/5)L_{Ar,nT'} + (52/5) ; L_{Ar,nT'} \in [37;47]$$

Gerador de emergência:

$$Pt(L_{Ar,nT'}) = -(1/3)L_{Ar,nT'} + (55/3) ; L_{Ar,nT'} \in [40;43]$$

$$Pt(L_{Ar,nT'}) = -(1/2)L_{Ar,nT'} + (51/2) ; L_{Ar,nT'} \in [43;45]$$

$$Pt(L_{Ar,nT'}) = -(1/5)L_{Ar,nT'} + 12 ; L_{Ar,nT'} \in [45;50]$$

$$Pt(L_{Ar,nT'}) = -(1/5)L_{Ar,nT'} + 12 ; L_{Ar,nT'} \in [45;55]$$

Elemento 8)

Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{nT,w'}$, entre compartimentos de estar e dormir do mesmo fogo.

$$Pt(D_{nT,w'}) = 1 ; D_{nT,w'} \in [20;25]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (2/5)D_{nT,w'} - 9 ; D_{nT,w'} \in [25;30]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/2)D_{nT,w'} - 12 ; D_{nT,w'} \in [30;32]$$

$$Pt(D_{nT,w'}) = (1/3)D_{nT,w'} - (20/3) ; D_{nT,w'} \in [32;35]$$

Tabela 14 - Questionário *Habitação* de IAA

4.4 Avaliação global

4.4.1 Cálculo de NAA

A avaliação global é efetuada através do cálculo do *Nível de Avaliação Acústica* (NAA). Este é determinado pela seguinte equação (*Equação 12*):

Nível NAA:

$$NAA = \sum(W_i \times Pt_i) / \sum W_i \quad (12)$$

W_i = Fatores de ponderação dos níveis físicos i em avaliação;

Pt_i = Número médio de pontos atribuído ao nível físico i .

| | W_i Vizinhaça | W_i Edifício | W_i Habitação |
|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Edifícios unifamiliares | 0,30 | - | 0,70 |
| Edifícios multifamiliares | 0,25 | 0,1 | 0,65 |

Tabela 15 - Fatores de ponderação dos níveis físicos no cálculo de NAA

Nota: consideram-se edifícios unifamiliares os edifícios unifamiliares ou edifícios em que não hajam acessos comuns integrados na edificação quer aspetos de disposição de arquitetura interior a considerar.

4.4.2 Classe Acústica LNEC

A cada valor de NAA e de IAA corresponde uma *Classe Acústica LNEC*. Esta representa o desempenho global do conforto sentido no fogo.

| Classe | Domínio da pontuação | Descrição do conforto correspondente |
|---------------|-----------------------------|---|
| A | $NAA \geq 2,5$ | Permite assegurar padrões de conforto acústico de alto nível exigencial (qualidade muito boa). |
| B | $1,5 \leq NAA < 2,5$ | Cumprir patamar exigencial de conforto acústico superior ao preconizado pela regulamentação aplicável (qualidade recomendável). |
| C | $1,0 \leq NAA < 1,5$ | Cumprir genericamente com o disposto na regulamentação aplicável e/ou assegurar condições mínimas de conforto acústico. |
| D | $NAA < 1,0$ | Não conforme à legislação e/ou não assegurando desempenho acústico adequado. |

Tabela 16 - Classes Acústicas LNEC

Caso haja necessidade, no nível físico *Habitação*, é possível expandir a classe D em subclasses.

| Subclasse | Domínio da pontuação | Descrição do conforto acústico |
|------------------|-----------------------------|---|
| D+ | $4,5 \leq IAA < 5,0$ | Corresponde a uma redução de 3dB em relação aos requisitos legais. |
| D- | $3,5 \leq IAA < 4,5$ | Corresponde a uma redução de 5dB em relação aos requisitos legais. |
| E | $2,5 \leq IAA < 3,5$ | Corresponde a uma redução de 10dB em relação aos requisitos legais. |
| F | $1,5 \leq IAA < 2,5$ | Corresponde a uma redução de 15dB em relação aos requisitos legais. |
| G | $IAA \leq 1,5$ | Corresponde a uma redução de 20dB em relação aos requisitos legais. |

Tabela 17 - Subclasses Acústicas LNEC (somente para nível físico *Habitação*)

5. ANÁLISE DA CONSTRUÇÃO EXISTENTE

5.1 Apresentação

Neste capítulo é feita uma análise da construção habitacional existente em Portugal continental. São identificados os tipos de construção, os métodos construtivos utilizados e apresentadas soluções de reabilitação acústica (reabilitação mais económica, reabilitação boa acusticamente e reabilitação intermédia).

Na apresentação de soluções de reabilitação são identificados os comportamentos acústicos das soluções e os seus custos (coligidos e calculados a partir de várias bases de dados como por ex. *Base de dados CYPE*, *Base de dados Orçamentos.EU*, Fabricantes, etc.).

Para cada tipo de construção é também apresentado um fogo exemplo identificando as soluções construtivas existentes. Este fogo exemplo irá ser utilizado na determinação do impacto que a reabilitação acústica provoca nos resultados do Metodo LNEC.

A construção habitacional existente em Portugal pode ser subdividida em quatro tipos:

1. Edifícios em pedra ou terra

- a. Construção de pedra:
 - i. Edifícios em cantaria de pedra;
 - ii. Edifícios em alvenaria de pedra.
- b. Construção de terra:
 - i. Edifícios em taipa;
 - ii. Edifícios em adobe.

2. Edifícios com estrutura tipo gaioleiro

- a. Edifícios pombalinos;
- b. Edifícios gaioleiros.

3. Edifícios de placa

4. Edifícios recentes

- a. Edifício com estrutura em betão armado;
- b. Edifício com estrutura metálica (não abordado devido à pouca representatividade como habitação).

Cada um destes tipos de construção exhibe características construtivas específicas de arquitetura, estrutura e também de soluções construtivas de paredes, vãos e pisos.

5.2 Edifícios em pedra ou terra

5.2.1 Edifícios em cantaria de pedra

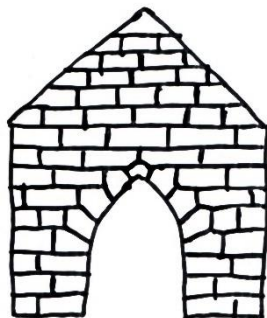


Figura 6 - Exemplo construção em cantaria de pedra

Classificam-se como edifícios em cantaria de pedra aqueles em que se recorre exclusivamente à construção de paredes em cantaria de pedra com os pisos e coberturas em estrutura de madeira ou de pedra.

Como a *Figura 6* esboça, estas edificações apresentam um aspeto mais nobre que, aliada ao superior custo, permitiu somente a construção de poucos edifícios habitacionais.

5.2.1.1 Paredes

Nas paredes de cantaria de pedra, as pedras são posicionadas sem argamassa de assentamento de modo a que a gravidade, o atrito e confinamento mantenham-nas na posição correta. As faces das pedras podem ser planas (talhadas) ou não, chamando-se assim cantaria aparelhada ou não. Se os espaços entre as pedras forem preenchidos com pedras pequenas então a cantaria é chamada com guarnição.

Neste tipo de paredes o isolamento acústico é efetuado pela inércia da parede, que é constituída somente por pedra ou também por camada de reboco (interior ou interior e exterior). Assim a diferenciação acústica deve-se somente à espessura da parede como se pode ver na *Figura 7*.

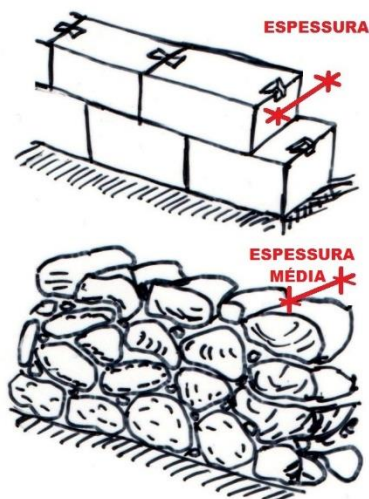


Figura 7 - Espessura paredes de cantaria de pedra

A espessura das paredes em cantaria de pedra nas habitações comuns tem em norma 0,40m, sendo usual ter sido aplicado posteriormente uma camada de reboco interior de 2cm, apresentando um isolamento sonoro a sons de condução aérea de 62dB (cf. [71] *Tabela 4.1.6*). Em relação às paredes divisórias é por vezes observada a existência de paredes em tabique. Estas têm comumente uma espessura de 0,12m e um isolamento sonoro a sons de condução aérea (R_w) de 45dB (cf. *Apêndice 1*).

Como soluções de reabilitação acústica nas paredes propõem-se as seguintes hipóteses a serem aplicadas no interior:

| Reabilitação mais económica | |
|---|--|
| <p><u>Trasdoso semidireto gesso cartonado 1x15:</u> Trasdoso semidireto de placas de gesso cartonado (placa com 15mm de espessura), fixo com suporte mecânico formado por estrutura de perfis de aço galvanizado 82mmx16mm com afastamento de 400mm, em cujo lado externo é fixa placa de gesso cartonado com acabamento básico ou acabamento habitual para paredes e tetos. Espessura total do sistema é de 31mm. Montagem segundo norma UNE 102.043:2013.</p> | <p>$\Delta R_w = 2\text{dB}$ Custo = 13,47€/m² (cf. <i>Apêndice 21</i>)</p> |
| Reabilitação boa acusticamente | |
| <p><u>Pano adicional de tijolo 15 com <i>Boltherm 509</i>:</u> Pano de alvenaria de tijolo furado 15cm de espessura, com caixa-de-ar preenchida com isolamento termo-acústico <i>Boltherm 509</i>, juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de reboco na face exterior.</p> | <p>$\Delta R_w = 25\text{dB}$ Custo = 33,68€/m² (cf. <i>Apêndice 24</i>)</p> |
| Reabilitação intermédia | |
| <p><u>Pano de parede adicional em tijolo 11 com XPS:</u> Pano de alvenaria de tijolo furado 11cm de espessura, formando com a parede existente uma caixa-de-ar totalmente preenchida com placas de XPS de 40mm de espessura, juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de reboco por face exterior.</p> | <p>$\Delta R_w = 7\text{dB}$ Custo = 17,88€/m² (cf. <i>Apêndice 23</i>)</p> |

Tabela 18 - Reabilitação de paredes em edifício de cantaria de pedra

5.2.1.2 Vãos

Os vãos (portas, envidraçados ou aberturas simples) de construções em cantaria com mais de dois séculos foram na sua maioria já substituídos. Estes na sua composição original eram em madeira maciça.

Como soluções originais apresentam-se portas interiores em madeira maciça de Casquinha com dobradiças metálicas e sem vedação no batente ($R_w = 16\text{dB}$ cf. *Apêndice 25*). Para portas de entrada a escolha de madeira recaía, além da Casquinha, na madeira de carvalho ($R_w = 30\text{dB}$ cf. [34] *Tabela 7.1*). Este tipo de portas foi já substituído, na sua maioria, por soluções mais modernas. Assim, nas portas interiores encontram-se portas de favo de cartão ($R_w = 15\text{dB}$ cf. [34] *Tabela 7.1*) e nas portas de entrada portas metálicas ($R_w = 19\text{dB}$ cf. *Apêndice 28*).

Para melhoria das condições acústicas sugere-se como solução de reabilitação a substituição das portas existentes, principalmente a porta de entrada, por uma portas com maior isolamento acústico e melhor selagem de juntas. A *Tabela 19* identifica as três escolhas e as suas características.

| Reabilitação mais económica | |
|--|--|
| <u>Porta interior:</u> Porta interior de derivados de madeira com aspeto liso e cor “cru”, abertura reversível abatível e sem puxador. Modelo tipo “CRU 65CM” com espessura 3,5cm e medidas 65cm×200cm. | $R_w = 14\text{dB}$ Custo = 24,79€/un (cf. [59]) |
| <u>Porta de entrada:</u> Porta de entrada com acabamento PVC branco modelo tipo "SEVILHA BRANCA 98CM" e preenchimento de poliuretano. De abertura abatível e com puxador. Medidas 98cm×208cm. | $R_w = 29\text{dB}$ Custo = 199,00€/un (cf. [58]) |
| Reabilitação boa acusticamente | |
| <u>Porta interior:</u> Porta interior de madeira do tipo "AC 32dB NATUR" (cf. [109]) com medidas 65cm×200cm, interior em aglomerado de madeira e revestimento de folha de madeira natural. Isolamento acústico com barra de calafetagem de acionamento automático. Classificação AC 32dB de acordo com a norma EN ISO 717-1:2013. | $R_w = 32\text{dB}$ Custo = 259€/un (cf. [53]) |
| <u>Porta de entrada:</u> Porta de entrada tipo "Archiwood XXI ref. B_AC45dB_1F" (cf. [20]) com medidas 80cm×210cm, com 1 folha, aro e face em madeira, enchimento de atenuação acústica, vedante acústico de encastrar e ferragens em inox. Inclui vedante de soleira. Espessura total da porta de 65mm. | $R_w = 45\text{dB}$ Custo = 1999€/un (cf. [57]) |
| Reabilitação intermédia | |
| <u>Porta interior:</u> Porta aligeirada corrente com núcleo oco e algumas frinchas ($m=9\text{kg/m}^2$). | $R_w = 18\text{dB}$ Custo = 106,40€/un (cf. <i>Apêndice 26</i>) |
| <u>Porta de entrada:</u> Porta de entrada em madeira maciça com batente e tratamento de frinchas em todo o seu contorno ($m=61\text{kg/m}^2$). | $R_w = 28\text{dB}$ Custo = 713,65€/un (cf. <i>Apêndice 27</i>) |

Tabela 19 - Reabilitação de portas em edifício de cantaria de pedra

Em relação aos envidraçados observa-se que em grande número deste tipo de habitações ocorre combinação de portada interior em madeira e janela. A janela apresenta-se na forma de janela de correr com vidro simples de 4mm ($R_w = 30,5\text{dB}$ cf. *Apêndice 29*) ou de janela de abrir com folhas de pinázios e vidro simples de 3mm ($R_w = 29\text{dB}$ cf. *Apêndice 33*).

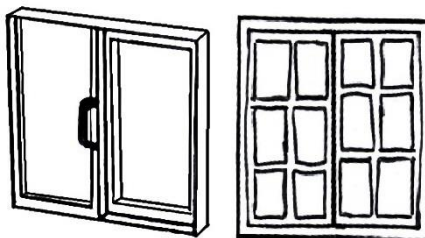


Figura 8 - Env. simples de correr e env. com folha de pinázios

Como soluções de reabilitação sugere-se a substituição das janelas existentes por janelas com vidro duplo e caixa-de-ar, com ênfase no aumento da espessura global de vidro e melhoria do vedamento de frinchas conforme apresentado na *Tabela 20*.

| Reabilitação mais económica | |
|--|---|
| <u>Janela de correr com vidro duplo 6+4mm:</u> Janela de correr com vidro duplo 6mm+4mm, caixa-de-ar de 10mm e com adequada vedação de frinchas. | $R_w = 35,1\text{dB}$ Custo = 99,99€/m ² (cf. <i>Apêndice 30</i>) |
| Reabilitação boa acusticamente | |
| <u>Janela oscilobatente tipo <i>FINSTRAL Top 90 Step-line</i>:</u> Janela oscilobatente em perfil multicamadas PVC, vidro triplo 4mm+4mm/16mm/4mm e com permeabilidade ao ar segundo EN 12207 Classe 4. | $R_w = 42\text{dB}$ Custo = 453,44€/m ² (cf. <i>Apêndice 32</i>) |
| Reabilitação intermédia | |
| <u>Janela de correr vidro duplo 8+6mm:</u> Janela de correr em perfil de alumínio, vidro duplo 8mm+6mm, caixa-de-ar de 12mm e com adequada vedação de frinchas (cf. <i>Apêndice 31</i>). | $R_w = 37\text{dB}$ Custo = 152,27€/m ² |

Tabela 20 - Reabilitação de envidraçados em edifício de cantaria de pedra

5.2.1.3 Pisos

Neste tipo de construção os pisos e coberturas são feitos em pedra, através de uma estrutura de arco (com ou sem enchimento), ou então numa estrutura de madeira. No exemplo utilizado para este tipo de habitação é apresentada uma construção com piso em arco de pedra (1º piso), forro do piso superior em madeira e cobertura de estrutura em madeira.

As estruturas em arco de pedra pode ter várias formas (tipos de arco) e várias conjugações (conjugação de vários arcos ou de arcos em direções diferentes). Quando em cima do arco há um pavimento, (como no caso de pisos intermédios), então procede-se ao enchimento das bases do arco com argamassa de entulho ou pedra compactada de modo a obter o nivelamento horizontal necessário para assentar o revestimento do piso, que normalmente é constituído por lajetas de pedra.

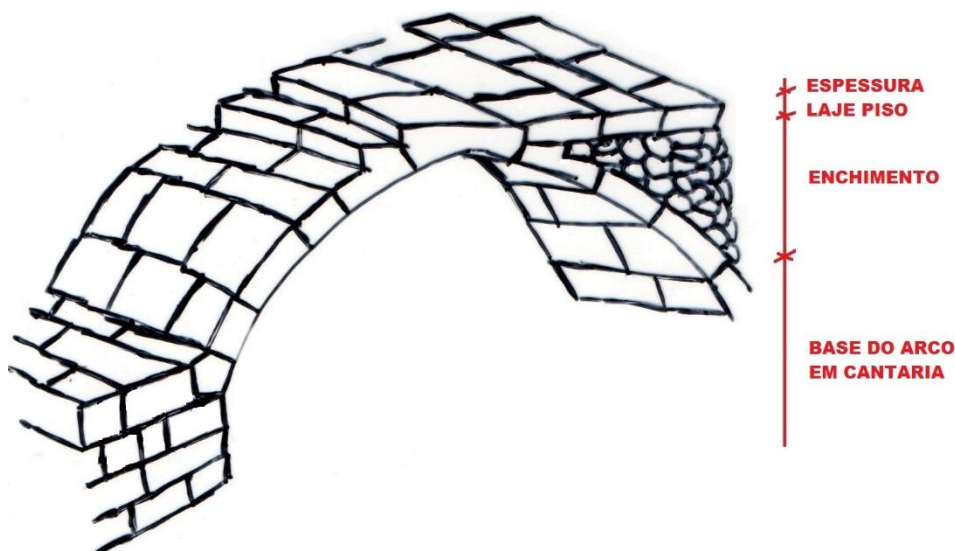


Figura 9 - Arco em cantaria aparelhada

O isolamento aos sons neste tipo de estrutura varia consoante a espessura de pedra. Para cálculo adota-se o valor do local de menor espessura, ou seja no topo do arco. O exemplo escolhido apresenta uma redução sonora a sons de percussão de 69dB (cf. *Apêndice 36*). Tendo os arcos e pisos de pedra um carácter ornamental sugere-se somente uma reabilitação nos pontos degradados estética ou estruturalmente.

5.2.1.4 Fogo exemplo

Nas figuras seguintes (*Figura 10 e Figura 11*) observa-se a planta e disposições do fogo exemplo. Esta habitação já sofreu algumas obras de modernização, nomeadamente a construção de casa de banho, reconstrução de telhado de telha e substituição de janelas e portas. Contudo é representativa deste tipo de habitações, incluindo as reabilitações que a maior parte destes edifícios sofreram neste último século.

É uma moradia de gaveto com dois pisos. No piso térreo encontram-se as “lojas” e no piso superior a parte habitacional. Tem 3 quartos, um wc e uma sala com cozinha e lareira.

| Elemento e solução existente | Desempenho acústico |
|---|--|
| Paredes: | |
| <u>Parede exterior</u> – Parede com 0,40m de cantaria de pedra e camada de reboco interior de 2cm. | $R_w = 62\text{dB}$ (cf. [71] <i>Tabela 4.1.6</i>) |
| <u>Parede interior</u> – Parede tabique de fasquiado de madeira rebocado e estucado com espessura de 0,12m. | $R_w = 45\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 1</i>) |
| Vãos: | |
| <u>Porta interior</u> – Porta em favo de cartão revestido a lâmina de madeira. | $R_w = 15\text{dB}$ (cf. [34] <i>Tabela 7.1</i>) |

| | |
|---|---|
| <u>Porta entrada</u> – Porta com construção metálica em folha reversível, lacada a branco Pirinéu (idêntico RAL 9016), constituída por dupla chapa de aço com 0,5mm de espessura, preenchida no seu interior por poliestireno expandido, proporcionando assim uma estrutura sólida com 40mm de espessura total. | $R_w = 19\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 28</i>) |
| <u>Janela</u> – Janela de correr com vidro simples corrente de espessura 4mm. | $R_w = 30,5\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 29</i>) |
| Pisos: | |
| <u>Piso intermédio</u> (teto piso 0 e pavimento piso 1) – Pavimento de lajetas de pedra granítica com espessura 3,5cm, assente com argamassa (3cm) sobre arco de pedra aparelhada com espessura de chave (topo do arco) de 9in ($\approx 23\text{cm}$) cf. [112]. | $L_{n,w,eq} = 69\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 36</i>) |
| <u>Cobertura</u> – Forro em tábuas acantiladas de Casquinha (<i>Pinus silvestris L.</i>) com 10mm espessura, largura 21,5cm e comprimento variável. Forro fixo em estrutura de barrotes e sarrafos. | $R_w = 25\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 53</i>) |

Tabela 21 - Fogo exemplo em cantaria de pedra, soluções construtivas

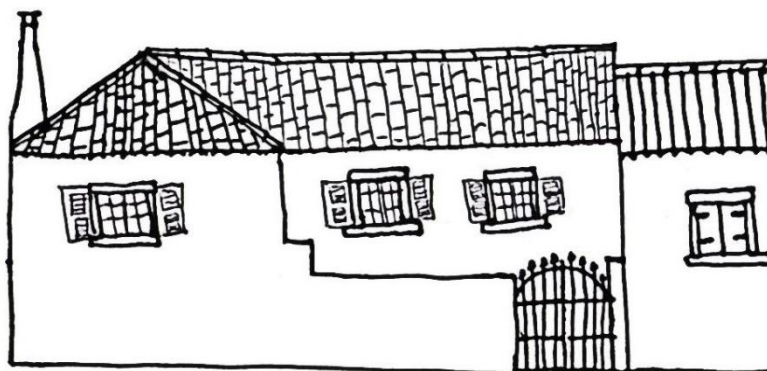


Figura 10 - Fogo exemplo em cantaria de pedra, frente

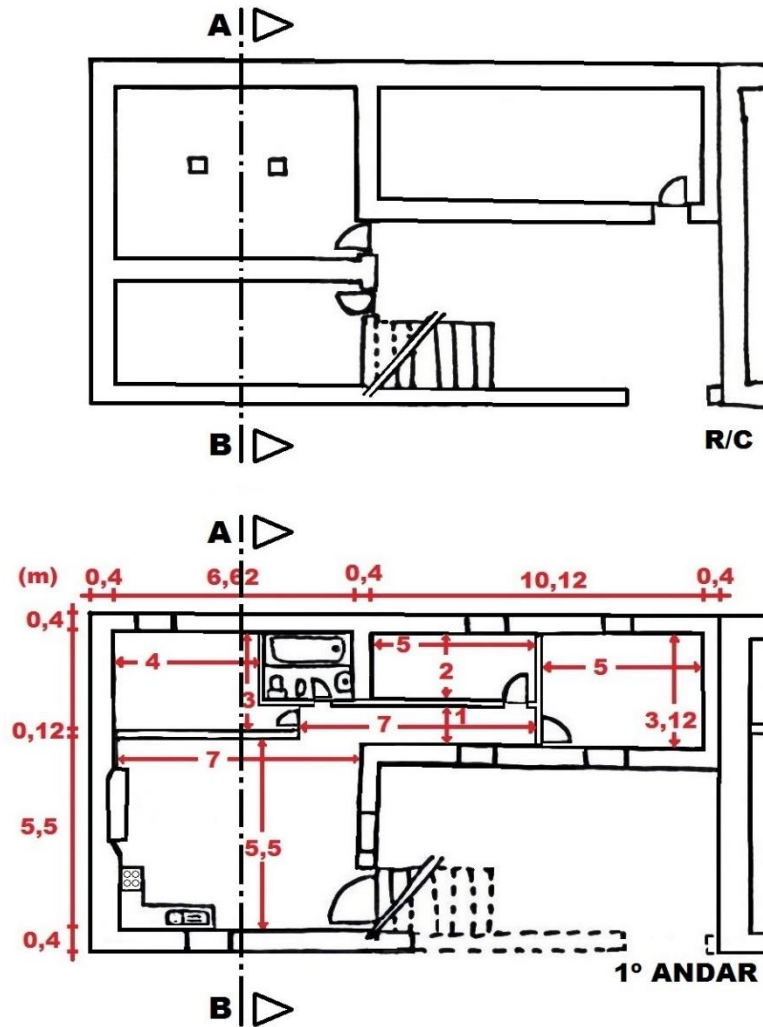


Figura 11 - Fogo exemplo em cantaria de pedra, plantas

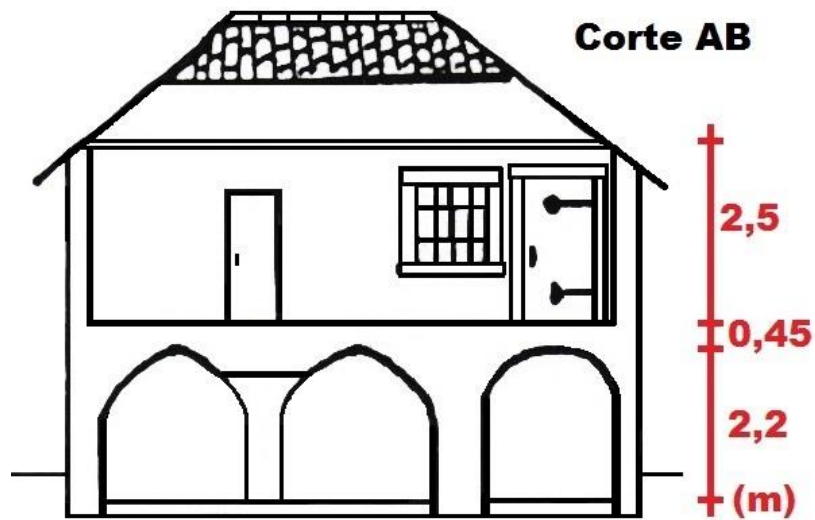


Figura 12 - Fogo exemplo em cantaria de pedra, corte

5.2.2 Edifícios em alvenaria de pedra

Na construção em alvenaria de pedra, as pedras são assentes utilizando argamassa que faz de elemento ligante entre elas. Esta construção é uma construção mais barata comparada com a de cantaria de pedra, visto não ser necessário o cinzelamento das pedras.

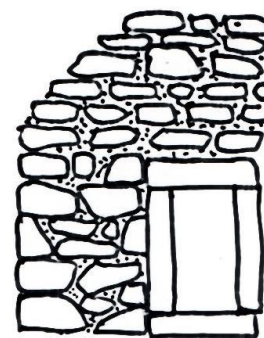


Figura 13 - Exemplo em alvenaria de pedra

5.2.2.1 Paredes

As paredes em alvenaria de pedra têm normalmente espessura constante ao longo do perímetro, mas com a altura a sua espessura tende a



Figura 14 - Variação da espessura de parede de alvenaria de pedra

diminuir, principalmente em edifícios com três ou mais pisos. Assim sendo, a análise do isolamento acústico das zonas opacas destas paredes deve ter em consideração se a espessura da parede varia.

A maioria dos edifícios habitacionais em alvenaria de pedra tem dois pisos, um reservado às “lojas” e outro à parte habitacional. Esta construção limitada em altura originou construções com espessura constante de parede de modo a tornar a construção mais simples. Estas apresentam paredes com 40cm em granito e 2cm de reboco interior, apresentado um isolamento sonoro a sons de condução aérea (R_w) de 62dB (cf. [71] *Tabela 4.1.6*).

Existe também, neste tipo de construção, paredes divisórias em madeira ou fasquiado de madeira rebocado. Ambas apresentam uma espessura de 12cm e valores de R_w de 32dB (cf. *Apêndice 2*) e 45dB (cf. *Apêndice 1*) respetivamente. Para reabilitação de paredes sugerem-se as apresentadas na *Tabela 18*.

5.2.2.2 Vãos

Em relação aos vãos, (portas e envidraçados), as soluções construtivas nos edifícios de alvenaria de pedra são semelhantes às soluções construtivas nos edifícios de cantaria de pedra. Como tal remete-se a sua apresentação e estudo para 5.2.1.2.

5.2.2.3 Pisos

Os pisos deste tipo de construção são compostos por uma estrutura de madeira em vigamento arcaico (paus rolados), madeira esquadriada (sem tarugamento) ou vigamento de cadeias/jugos onde assentam as

tábuas do soalho. Também há a possibilidade de existir um forro em madeira fixo à mesma estrutura, servindo de teto ao piso inferior.

O vigeamento arcaico, como pode ser observado na *Figura 15*, é feito com troncos ou toros de madeira (pau rolado), usualmente em carvalho, castanho ou pinho silvestre, descascados e colocados de modo a vencer o menor vão. Quando existe necessidade de vigas com maior resistência ou comprimento é utilizada madeira exótica, principalmente proveniente do Brasil, Índia ou África. Esta estrutura forma um vigeamento principal onde assenta diretamente o soalho ou o vigeamento do soalho.

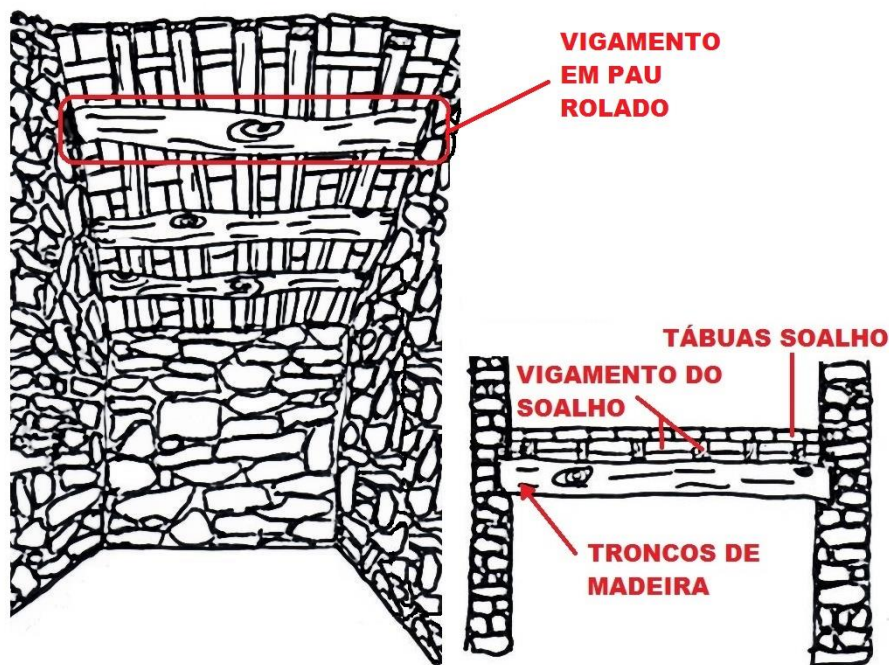


Figura 15 - Piso em madeira com vigeamento arcaico

O vigeamento em madeira esquadriado (sem tarugamento) consiste somente numa estrutura de vigeamento em madeira onde assentam diretamente as tábuas do soalho.

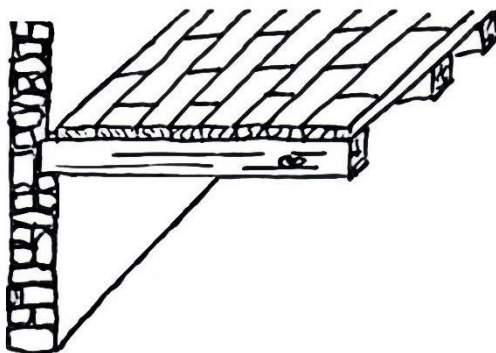


Figura 16 - Piso em madeira com vigeamento esquadriado

A estrutura de vigeamento em cadeias ou jugos difere dos outros tipos de estrutura pelo fato das vigas de suporte do soalho estarem

apoiadas indiretamente na parede. Este apoio indireto pode ser feito através de apoio em cachorros de pedra (blocos de pedra de face superior plana e horizontalmente protuberantes na alvenaria), vigas curtas ou vigas que atravessam a parede (conforme ilustrado na *Figura 17*).

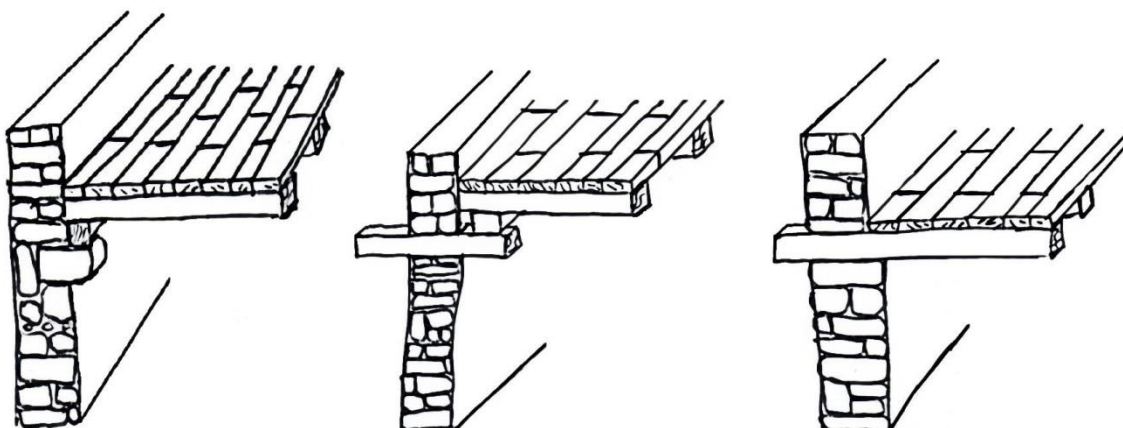


Figura 17 - Piso em madeira com vigeamento em cadeias

As tábuas de solho são pregadas ao vigeamento e têm entre 20mm e 30mm de espessura com um rebaixo nos cantos a meia-madeira (solho à portuguesa) ou com encaixe macho-fêmea (solho à inglesa) e geralmente apresentam largura de um palmo (22cm) (cf. [27]). As madeiras mais utilizadas são a Casquinha (*Pinus silvestris L.*), o Pitespaine (*Pinus palustris Miller*), o Castanho (*Castanea sativa Miller*) e o Pinho (*Pinus pinaster Ait.*), observando-se também em edifícios nobres o recurso a espécies nobres ou exóticas. Num pavimento sem forro, este soalho apresenta uma transmissão sonora ($L_{n,w,eq}$) de 128dB (cf. *Apêndice 37*). Quando existe forro no teto, este é semelhante ao soalho, mas numa posição invertida.

Quando as coberturas são em madeira, estas compõem-se de troncos de madeira ou vigas cobertas com telha cerâmica, telha de cimento ou lajetas de pedra (xistos, etc.)

Na *Tabela 22* apresentam-se melhorias de carácter acústico para os pavimentos dos pisos neste tipo de construção.

| Reabilitação mais económica | |
|--|---|
| <u>Recuperação do soalho:</u> Recuperação do soalho de madeira existente com preenchimento de juntas, afagamento de madeiras e remendo de degradados. | $L_{n,w,eq} = 128\text{dB}$ Custo = 19,38€/m ² (cf. <i>Apêndice 46</i>) |
| Reabilitação boa acusticamente | |
| <u>Pav. flutuante madeira - laje betão:</u> Substituição do piso existente por laje de betão armado com espessura 15cm, coberta com betonilha de regularização de 7cm, e com revestimento de pavimento flutuante de aglomerado de madeira assente em membrana flexível de 3mm de espessura. | $L_{n,w,eq} = 56\text{dB}$ Custo = 466,50€/m ² (cf. <i>Apêndice 45</i>) |

| Reabilitação intermédia | |
|--|--|
| <u>Pav. cerâmico sobre soalho de madeira existente:</u> Aplicação, sobre piso em soalho de madeira existente, de betonilha de regularização de 4cm e revestimento cerâmico de 5mm de espessura colado com 1cm de cola cimentícia. | $L_{n,w,eq} = 86\text{dB}$ Custo = 45,54€/m ² (cf. <i>Apêndice 47</i>) |

Tabela 22 - Reabilitação de pisos em edifício de alvenaria de pedra

5.2.2.4 Fogo exemplo

Na *Figura 18*, na *Figura 19* e na *Figura 20* podem-se observar as disposições arquitetónicas do fogo exemplo. Este apresenta construção e arquitetura típica presente nas habitações construídas em alvenaria de pedra.

É uma moradia de gaveto com pequeno quintal fechado. Tem dois pisos, em que no piso térreo localizam-se as “lojas” para arrumos e no piso superior os quartos, wc (acrescentado nos anos 70), sala e cozinha.

| Elemento e solução existente | Desempenho acústico |
|---|--|
| Paredes: | |
| <u>Parede exterior</u> – Parede com 0,40m em alvenaria de granito e 2cm de reboco interior. | $R_w =$ de 62dB (cf. [71] <i>Tabela 4.1.6</i>) |
| <u>Parede interior</u> – Parede de madeira composta por estrutura de barrotes 6cm×8cm forrado dos dois lados por tábuas em Casquinha (<i>Pinus silvestris L.</i>) com 20mm de espessura, 22cm de largura e comprimento variável. | $R_w = 32\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 2</i>) |
| Vãos: | |
| <u>Porta interior</u> – Porta em favo de cartão revestido a lâmina de madeira. | $R_w = 15\text{dB}$ (cf. [34] <i>Tabela 7.1</i>) |
| <u>Porta entrada</u> – Porta com construção metálica em folha reversível, lacada a branco Pirinéu (idêntico RAL 9016), constituída por dupla chapa de aço com 0,5mm de espessura, preenchida no seu interior por poliestireno expandido, proporcionando assim uma estrutura sólida com 40mm de espessura total. | $R_w = 19\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 28</i>) |
| <u>Janela</u> – Janela de correr com vidro simples corrente de espessura 4mm. | $R_w = 30,5\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 29</i>) |
| Pisos: | |
| <u>Piso intermédio</u> (teto piso 0 e pavimento piso 1) – Soalho em Casquinha (<i>Pinus silvestris L.</i>) com 30mm espessura, largura 22cm e comprimento variável. | $L_{n,w,eq} = 128\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 37</i>) |
| <u>Cobertura</u> – Forro em tábuas acantiladas de Casquinha (<i>Pinus silvestris L.</i>) com 10mm espessura, largura 21,5cm e comprimento variável. Forro fixo em estrutura de barrotes e sarrafos. | $R_w = 25\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 53</i>) |

Tabela 23 - Fogo exemplo em alvenaria de pedra, soluções construtivas

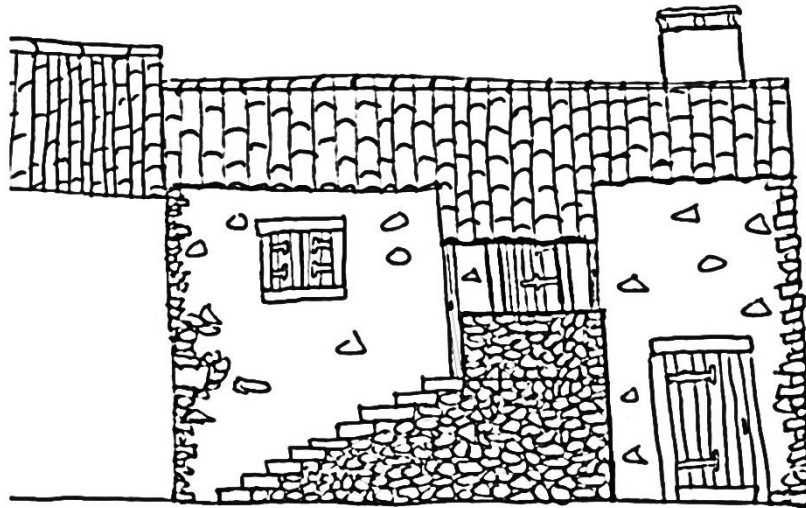


Figura 18 - Fogo exemplo em alvenaria de pedra, frente

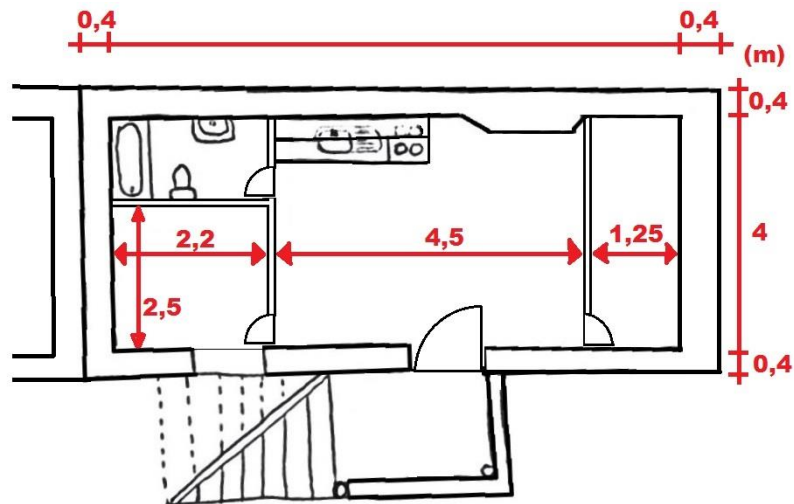


Figura 19 - Fogo exemplo em alvenaria de pedra, planta

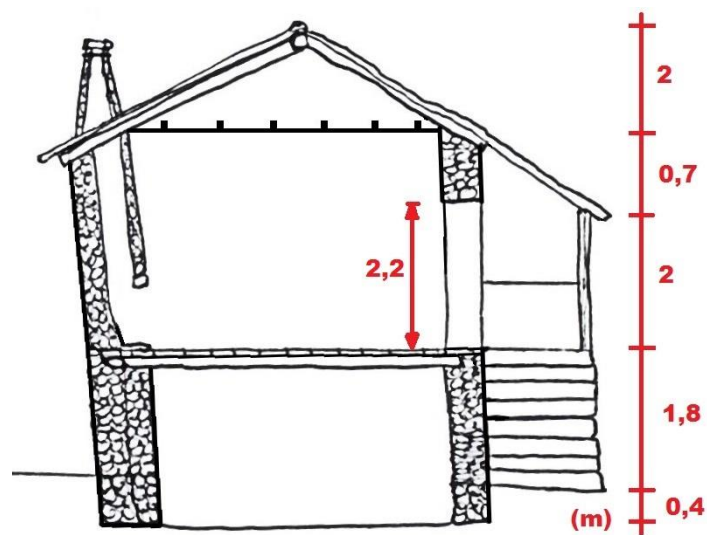


Figura 20 - Fogo exemplo em alvenaria de pedra, corte

5.2.3 Edifícios em taipa

A construção em taipa consiste na compactação de terra de modo a formar uma estrutura monolítica, utilizando para tal maços e taipais. A taipa nas habitações é usada para a construção das paredes exteriores e interiores, sendo que a estrutura da cobertura ou pisos superiores é feita em madeira. As paredes eram normalmente depois revestidas com cal (caiação) obtendo um aspeto rebocado branco.

Na região do Algarve e do Alentejo a taipa foi muito utilizada até cerca dos anos 60 do séc. XX, principalmente devido à escassez de pedra e baixo custo da taipa.

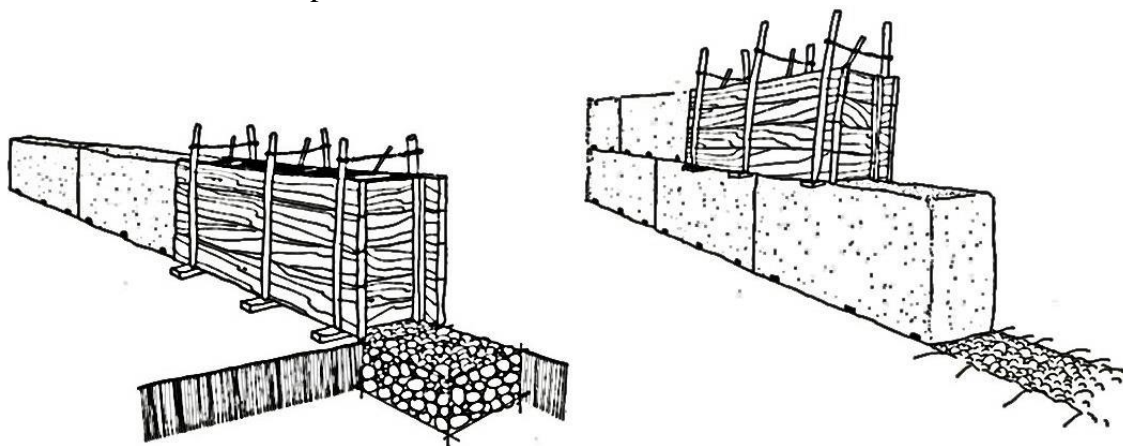


Figura 21 - Construção parede de taipa

5.2.3.1 Paredes

As paredes em taipa têm geralmente uma espessura de 0,5m (cf. [107] pág. 80), que dependendo das condições monetárias podia ser pintada (caiada) ou rebocada exterior e interiormente com uma argamassa de base em cal aérea. Nos edifícios habitacionais as paredes, na maioria dos casos, estão assentes numa fundação de alvenaria de pedra que pode atingir 0,5m de altura.

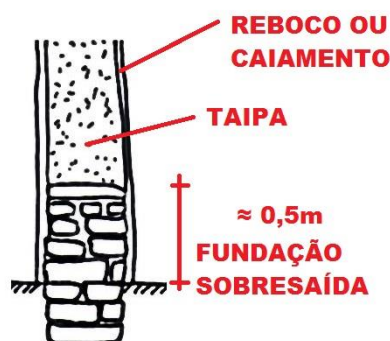


Figura 22 - Fundação de pedra sobressaída em parede taipa

As paredes deste tipo são espessas (0,5m), proporcionando bom isolamento sonoro a sons de condução aérea ($R_w = 63\text{dB}$ cf. *Apêndice 3*), não se sugere pois nenhum melhoramento acústico.

5.2.3.2 Vãos

As portas, envidraçados ou aberturas simples são semelhantes às apresentadas no subcapítulo 5.2.1.2, contudo no caso dos envidraçados, as portadas de madeira estão sempre do lado de fora. Os melhoramentos sobre os vãos são aqueles desse subcapítulo.

5.2.3.3 Pisos

Este tipo de habitações apresenta em regra um só piso, este é normalmente revestido por tijoleira cerâmica. Contudo, quando existem pisos superiores, estes são construídos em madeira e semelhantes aos apresentados no subcapítulo 5.2.1.3.

O teto é comum apresentar um isolamento sonoro a sons de condução aérea (R_w) de 25dB (cf. *Apêndice 53*). No fogo exemplo apresentado existe somente um piso térreo em tijoleira e um forro de madeira como teto. Deste modo é somente apresentada solução de reabilitação do teto.

| Reabilitação mais económica | |
|--|---|
| <u>Recuperação do forro:</u> Recuperação do forro de madeira existente com preenchimento de juntas e remendo de degradados. | $R_w = 27,5\text{dB}$ Custo = 19,38€/m ² (cf. <i>Apêndice 46</i>) |
| Reabilitação boa acusticamente | |
| <u>Teto falso gesso cartonado 2x13 + PN40:</u> Teto falso em gesso cartonado (tipo T. C. SUSPENDIDO TF/400 2xN-13 LM) com estrutura constituída por perfis de aço galvanizado, com base angular LF-32 fixas mecanicamente em torno do seu perímetro, que se encaixam através do perfil abas TF-38, com um "T" invertido 38mm de largura e 38mm de altura com afastamento de 400mm, em cujo lado externo é fixa duas placas de gesso cartonado com acabamento básico ou acabamento habitual para paredes e tetos. Isolamento acústico no tardo em placas de lã mineral de PN40 de 40mm espessura ($m = 40\text{kg/m}^3$). Montagem de acordo com norma UNE 102043:2013 e os requisitos de CTE DB-HR. | $R_w = 43,5\text{dB}$ Custo = 33,15€/m ² (cf. <i>Apêndice 55</i>) |
| Reabilitação intermédia | |
| <u>Teto falso em teto falso gesso cartonado 1x15 + PN40 (30mm):</u> Teto falso em gesso cartonado (tipo "T.C. SEMIDIRECTO M-70x30/400 1xN-15 LM") com estrutura constituída por perfis de aço galvanizado 70x30mm com afastamento de 400mm, em cujo lado externo é fixa uma placa de gesso cartonado (15mm) com acabamento básico ou acabamento habitual para paredes e tetos. Isolamento acústico no tardo em placas de lã mineral de PN40 de 30mm espessura ($m = 40\text{kg/m}^3$). Montagem de acordo com norma UNE 102043:2013 e os requisitos de CTE DB-HR. | $R_w = 33,5\text{dB}$ Custo = 17,97€/m ² (cf. <i>Apêndice 54</i>) |

Tabela 24 - Reabilitação de pisos em edifício de taipa

5.2.3.4 Fogo exemplo

Como exemplo de edifício habitacional em taipa apresenta-se uma pequena habitação térrea isolada. Esta tem dois quartos, um wc (acrescentado posteriormente) e uma sala com lareira e fogão. A arquitetura é apresentada na *Figura 23* e na *Figura 24*.

| Elemento e solução existente | Desempenho acústico |
|---|--|
| Paredes: | |
| <u>Parede exterior</u> – Parede em taipa de 0,5m de espessura e reboco exterior e interior de argamassa de cal com 2cm de espessura cada. | $R_w = 63\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 3</i>) |
| <u>Parede interior</u> – Parede em taipa de 0,5m de espessura e reboco exterior e interior de argamassa de cal com 2cm de espessura cada. | $R_w = 63\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 3</i>) |
| Vãos: | |
| <u>Porta interior</u> – Porta em favo de cartão revestido a lâmina de madeira. | $R_w = 15\text{dB}$ (cf. [34] <i>Tabela 7.1</i>) |
| <u>Porta entrada</u> – Porta com construção metálica em folha reversível, lacada a branco Pirinéu (idêntico RAL 9016), constituída por dupla chapa de aço com 0,5mm de espessura, preenchida no seu interior por poliestireno expandido, proporcionando assim uma estrutura sólida com 40mm de espessura total. | $R_w = 19\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 28</i>) |
| <u>Janela</u> – Janela de correr com vidro simples corrente de espessura 4mm. | $R_w = 30,5\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 29</i>) |
| Pisos: | |
| <u>Cobertura</u> – Forro em tábuas acantiladas de Casquinha (<i>Pinus silvestris L.</i>) com 10mm espessura, largura 21,5cm e comprimento variável. Forro fixo em estrutura de barrotes e sarrafos | $R_w = 25\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 53</i>) |

Tabela 25 - Fogo exemplo em taipa, soluções construtivas

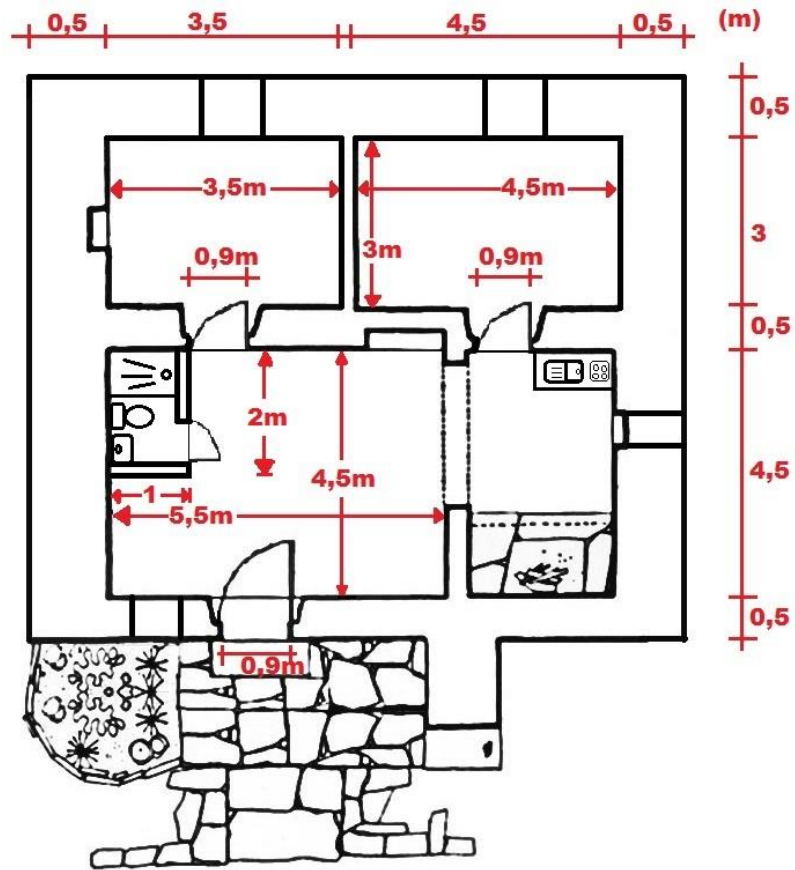


Figura 23 - Fogo exemplo em taipa, planta

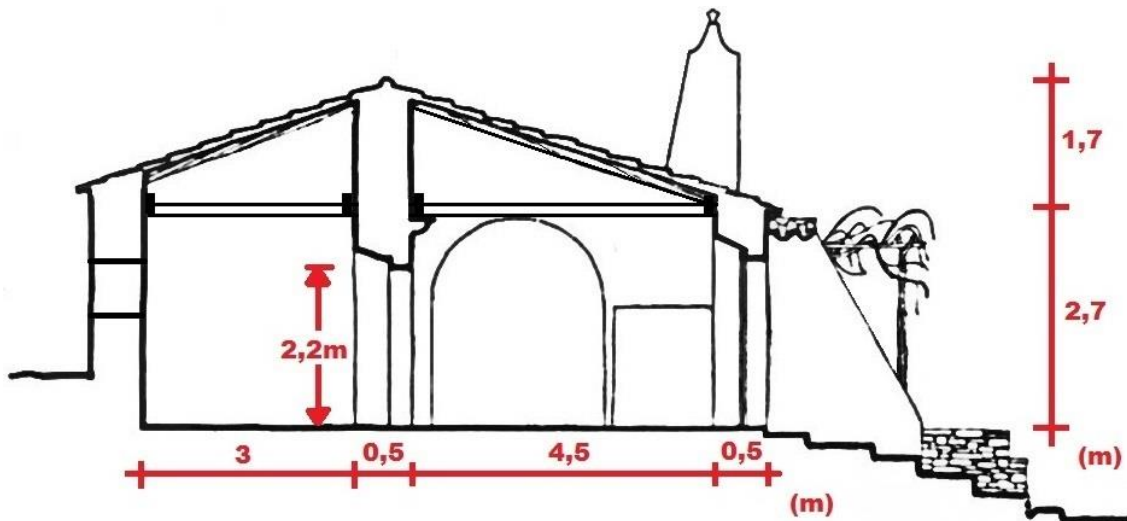


Figura 24 - Fogo exemplo em taipa, corte

5.2.4 Edifícios em adobe

A construção em adobe é feita com recurso a alvenaria de blocos de terra moldados. Estes servem na construção de paredes exteriores, interiores e por vezes também na estrutura de pisos e coberturas.

Normalmente seco ao sol, o tijolo de adobe é feito com solos plásticos e argilosos. Como tal, a construção em adobe é encontrada e feita em locais onde é possível encontrar a água necessária à formação dos tijolos de adobe. A utilização de adobe em Portugal é muito reduzida, mas pode ser encontrada em habitações do litoral algarvio, principalmente na zona da baixa da cidade de Olhão.

A utilização de blocos de adobe permitiu na cidade de Olhão, a construção em altura (por vezes com 3 ou 4 pisos) que a taipa não possibilitava. Assim, conseguiu-se fazer habitações em cubos sobrepostos onde abundam as açoteias, os mirantes, os contramirantes, torres, torrinhas, terraços e varandas ainda hoje preservadas e utilizadas nestas habitações antigas de Olhão.

5.2.4.1 Paredes

As paredes construídas em adobe têm geralmente a mesma espessura em cada piso.

É comum terem os edifícios em adobe paredes exteriores com uma espessura total de 40cm. Esta espessura em adobe proporciona um isolamento sonoro a sons de condução aérea (R_w) de 56dB (cf. *Apêndice 4*).

5.2.4.2 Vãos

Os vãos (portas e envidraçados) são semelhantes aos vãos apresentados no subcapítulo 5.2.1.2. É de reparar que o número de vãos é maior devido à complexidade da construção cubista.

5.2.4.3 Pisos

Nas habitações construídas com recurso ao adobe os pisos e coberturas são feitos com recurso a abóbodas abatidas de blocos de adobe. A base do arco é enchida com adobe e argamassa até obter uma superfície horizontal. O pavimento é então revestido com tijoleira cerâmica de barro tipo *Santa Catarina*. A face inferior da abóboda é rebocada com reboco de caiação ou apresenta o arco de adobe à vista.

Sendo uma estrutura em arco, o isolamento acústico varia ao longo da secção, deste modo o menor valor de isolamento acústico é o obtido no topo do arco. Este isolamento tem um valor $L_{n,w,eq}$ de 70dB e R_w de 56dB (cf. *Apêndice 39*).

Caso se pretenda realizar obras de reabilitação, a reabilitação do piso deve ser feita de modo a não prejudicar o bom desempenho que este já tem. Como tal caso sugerem-se como medidas de reabilitação, (que mantêm ou melhoram o desempenho acústico do piso), as medidas apresentadas na tabela seguinte.

| | |
|---|---|
| Solução mais económica | |
| <u>Pav. flutuante madeira:</u> Aplicação sobre pav. existente de revestimento de pav. flutuante de aglomerado de madeira assente em membrana flexível de 3mm de espessura. | $L_{n,w,eq} = 52\text{dB}$ Custo = 19,18€/m ² (cf. <i>Apêndice 50</i>) |
| Solução melhor acústicamente | |
| <u>Pav. flutuante madeira Boltherm 510:</u> Aplicação sobre pav. existente de revestimento de pav. flutuante de aglomerado de madeira assente em membrana termo-acústica <i>Boltherm 510</i> de 10mm de espessura. | $L_{n,w,eq} = 47\text{dB}$ Custo = 23,23€/m ² (cf. <i>Apêndice 48</i>) |
| Solução intermédia | |
| <u>Pav. cerâmico dessolidarizado 3mm:</u> Aplicação sobre pav. existente de revestimento cerâmico (5mm de espessura) colado com cola cimentícia (1cm de espessura) em lajeta flutuante de 4cm assente sobre membrana flexível de 3mm de espessura. | $L_{n,w,eq} = 51\text{dB}$ Custo = 484,96€/m ² (cf. <i>Apêndice 49</i>) |

Tabela 26 - Reabilitação de pisos em edifício de adobe

5.2.4.4 Fogo exemplo

Este tipo de edifícios apresenta forma quadrada ou retangular em planta. O fogo exemplo é uma moradia em banda localizada na baixa da cidade de Olhão. Tem vários pisos, entrada por duas ruas, dois quartos no piso térreo e um com acesso exterior pela soteia (piso 1) (cf. *Figura 25* e *Figura 26*).

| Elemento e solução existente | Desempenho acústico |
|---|--|
| Paredes: | |
| <u>Parede exterior</u> – Parede de tijolos de adobe com 35cm de espessura (cf. [51]) e reboco exterior e interior de argamassa de cal com 2cm de espessura cada. | $R_w = 56\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 4</i>) |
| <u>Parede interior</u> – Parede de tijolos de adobe com 35cm de espessura (cf. [51]) e reboco exterior e interior de argamassa de cal com 2cm de espessura cada. | $R_w = 56\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 4</i>) |
| Vãos: | |
| <u>Porta interior</u> – Porta em favo de cartão revestido a lâmina de madeira. | $R_w = 15\text{dB}$ (cf. [34] <i>Tabela 7.1</i>) |
| <u>Porta entrada</u> – Porta com construção metálica em folha reversível, lacada a branco Pirinéu (idêntico RAL 9016), constituída por dupla chapa de aço com 0,5mm de espessura, preenchida no seu interior por poliestireno expandido, proporcionando assim uma estrutura sólida com 40mm de espessura total. | $R_w = 19\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 28</i>) |
| <u>Janela</u> – Janela de correr com vidro simples corrente de espessura 4mm. | $R_w = 30,5\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 29</i>) |
| Pisos: | |
| <u>Piso intermédio</u> (teto/pavimento) – Arco abatido de adobe com espessura variável e com revestimento de pavimento em tijoleira de barro tipo <i>Santa Catarina</i> (30×15cm) de 1,7cm de espessura assente em 2cm de argamassa de cal. | $R_w = 56\text{dB}$ $L_{n,w,eq} = 70\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 39</i>) |

Tabela 27 - Fogo exemplo em adobe, soluções construtivas

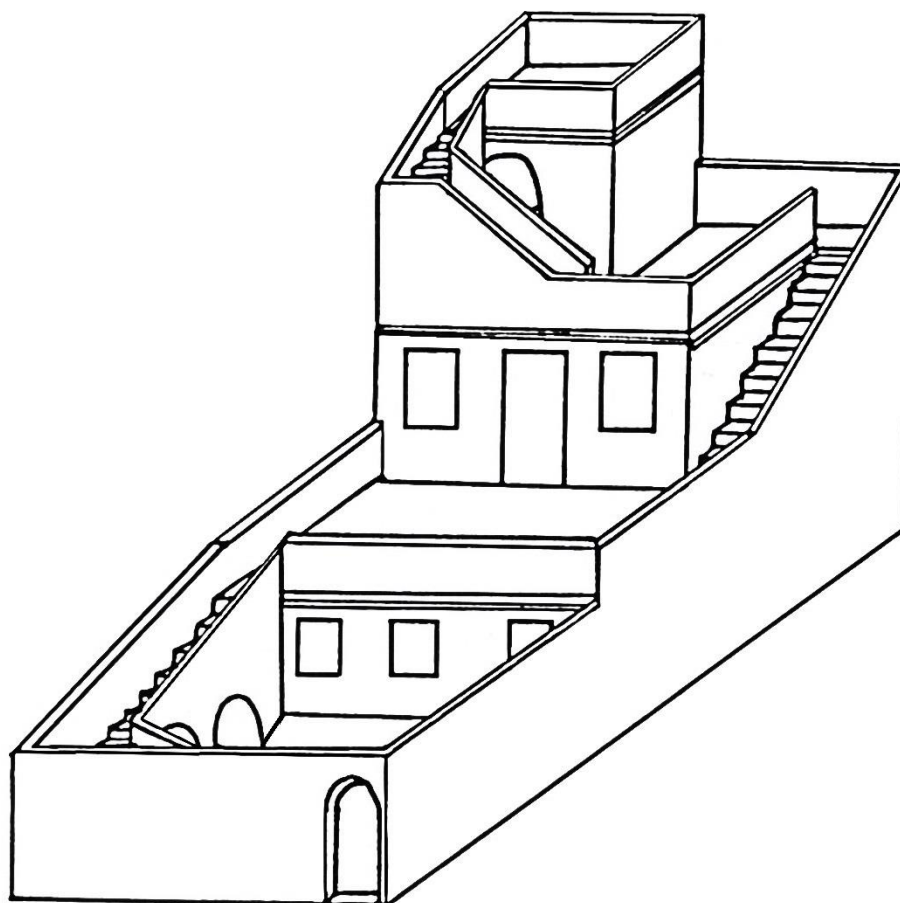


Figura 25 - Fogo exemplo em adobe, vista isométrica

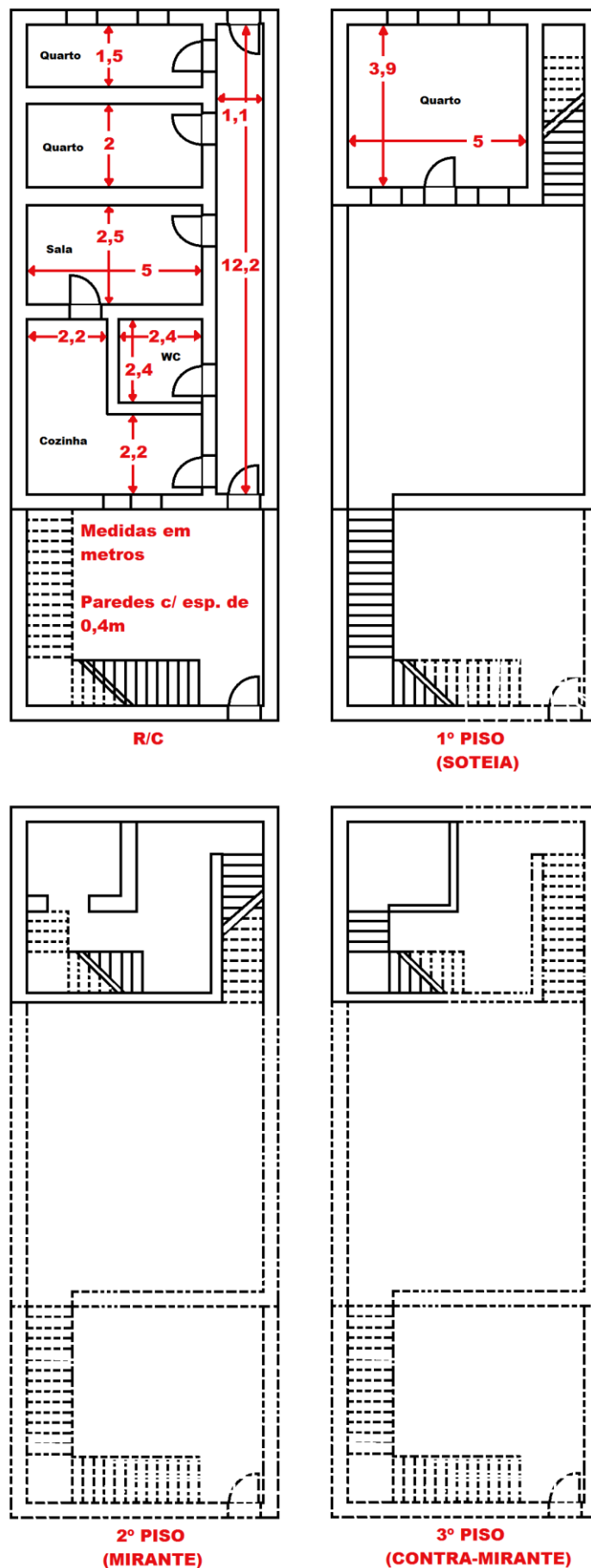


Figura 26 - Fogo exemplo em adobe, plantas

5.3 Edifícios com estrutura tipo gaioleiro

5.3.1 Edifícios pombalinos

A construção pombalina surge como resposta às necessidades da reconstrução urbana após o terremoto ocorrido em Portugal em 1755. Esta caracteriza-se pela solidez, regularidade e simplicidade. Por motivos de segurança não existem elementos de construção para além do plano da fachada, não tendo assim, argola, cobre-janelas, floreiras, etc. Como características exteriores marcantes tem-se também que as cornijas transitavam entre diferentes edifícios sem descontinuidades, as cantarias de vãos têm a mesma altura em todos os pisos, etc.

Em termos estruturais os edifícios consistem numa parede exterior em alvenaria de pedra (com cunhais revestidos a pedra) e paredes interiores de frontal ou tabique. A parede exterior de alvenaria de pedra contém no seu tardo uma malha tridimensional em madeira (vulgo gaiola pombalina) que efetua o reforço sísmico e o suporte dos pisos, estes também em madeira. O edifício tem também um saguão em que as paredes são em alvenaria de pedra.

5.3.1.1 Paredes

As paredes dos edifícios pombalinos podem ser classificadas consoante a sua localização e função estrutural, podendo assim ser:

- Paredes exteriores:
 - Parede de fachada (localiza-se na fachada do edifício);
 - Parede de empena (localiza-se na empena do edifício);
 - Parede de saguão (localiza-se no saguão do edifício).
- Paredes interiores:
 - Parede de frontal (localiza-se perpendicularmente à fachada e tem função estrutural de travamento da fachada);
 - Parede de tabique (tem função meramente divisória).

As paredes de fachada, empenas e saguões possuem a mesma construção. Estas, no rés-do-chão, são paredes de alvenaria de pedra aparelhada (pedra calcária e argamassa de cal aérea). Acima rés-do-chão uma estrutura de madeira (gaiola em cruz de Santo André) preenchida com alvenaria solidariza-se com a parede formando assim uma parede mista. As aberturas dos vãos de janela têm arcos de descarga em alvenaria de tijolo. As paredes variam de espessura com a altura, apresentando ao nível do rés-do-chão (onde é só de pedra), uma espessura de cerca de 1m, diminuindo em altura até 0,50m.

As paredes de frontal são constituídas por uma estrutura de madeira “gaiola em cruz de Santo André” preenchida com alvenaria fraca de pedras ou tijolo resultante dos desperdícios de outras atividades da construção. Estas paredes têm usualmente espessura entre os 15cm e os 22cm.

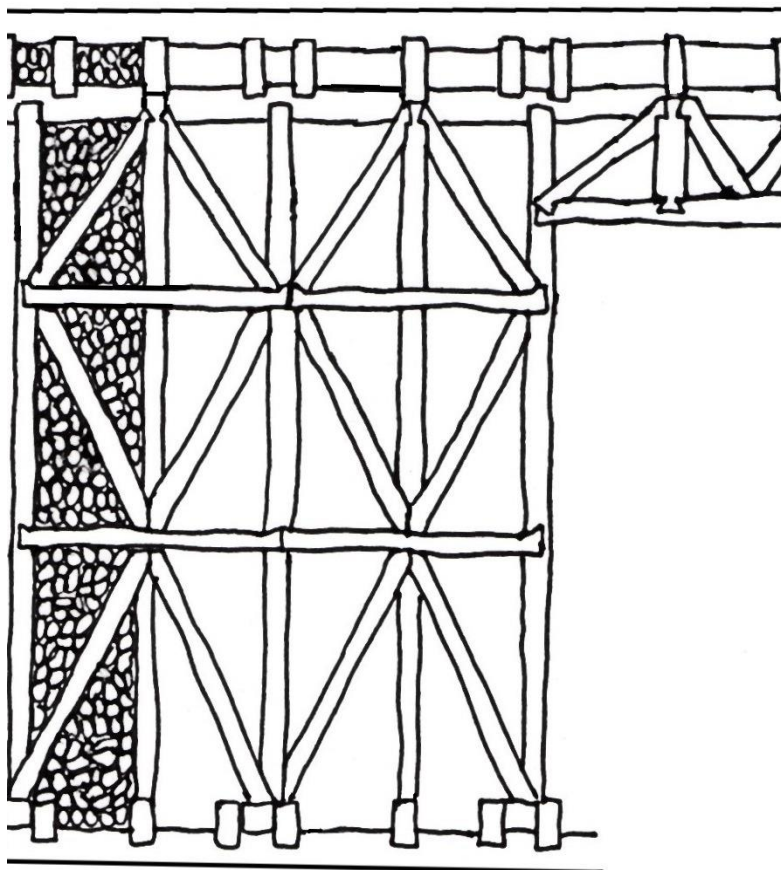


Figura 27 - Gaiola em cruz de Santo André

As paredes de tabique, com mera função divisória, são constituídas por um fasquiado em madeira nas duas direções, rebocado e estucado de ambos os lados. Apresentam em regra uma espessura de 12cm.

Em relação às medidas de melhoramento acústico, é de ter em conta as soluções existentes no mercado, mas também (para paredes de fachada) o estipulado no *Regulamento do Plano de Pormenor de Salvaguarda da Baixa Pombalina* (2011) da C.M.Lisboa que determina, medidas de redução do ruído, especialmente o Artigo 35.º, ponto 3, «Como medida de recurso para minimizar o ruído no interior das edificações, deverá proceder-se ao reforço do isolamento das fachadas dos edifícios de forma a garantir que o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ($D_{2m,nT,w}$) seja superior ou igual a 40dB.».

Considerando estas disposições, sugere como soluções de reabilitação para paredes as apresentadas na tabela seguinte.

| Reabilitação mais económica | |
|---|---|
| Reparação de fissuras e pintura de estuque: Reparação ligeira de paredes de estuque, incluindo remoção de tintas soltas, avivamento e enchimento de fissuras até 5mm de largura e barramento geral com massa de acabamento. | $\Delta R_w = 3\text{dB}$ Custo = 16,38€/m ² (cf. <i>Apêndice 20</i>) |

| Reabilitação boa acusticamente | |
|--|--|
| <p><u>Pano adicional de tijolo 15 com Boltherm 509:</u> Pano de alvenaria de tijolo furado 15cm de espessura, com caixa-de-ar preenchida com isolamento termo-acústico <i>Boltherm 509</i>, juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de reboco na face exterior.</p> | <p>$\Delta R_w = 25\text{dB}$ Custo = 33,68€/m² (cf. <i>Apêndice 24</i>)</p> |
| Reabilitação intermédia | |
| <p><u>Pano de parede adicional em tijolo 11 com XPS:</u> Pano de alvenaria de tijolo furado 11cm de espessura, formando com a parede existente uma caixa-de-ar totalmente preenchida com placas de XPS de 40mm de espessura, juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de reboco por face exterior.</p> | <p>$\Delta R_w = 7\text{dB}$ Custo = 17,88€/m² (cf. <i>Apêndice 23</i>)</p> |

Tabela 28 - Reabilitação de paredes em edifício pombalino

5.3.1.2 Vãos

Os edifícios pombalinos apresentam vários tipos de portas e janelas, mas mantêm uniformidade na sua altura e posição ao longo dos pisos.

Nos pisos térreos, onde existe comércio e restauração, as portas e envidraçados são modernos. Nos pisos superiores, as portas de entrada dos apartamentos e as portas interiores muitas vezes ainda são as originais de madeira maciça. Estas sofreram somente ao longo dos anos pintura e mudança de fechadura.

Em relação aos envidraçados dos pisos superiores observamos que estes mantêm o mesmo desenho de janela de guilhotina ou de janela de abrir. Ambas têm arco decorativo. Quando não houve substituição do envidraçado, este é de vidro simples corrente com espessura 3mm.

Para as portas destes edifícios, a sua melhoria acústica tem sempre de manter o aspeto artístico original, como tal sugerem-se soluções que o assim fazem e que apresentam os resultados acústicos da *Tabela 19*.

Como soluções de melhoramento acústico de envidraçados sugere-se a sua substituição por outros com vidro duplo conforme apresentado na *Tabela 20*.

5.3.1.3 Pisos

Em relação aos pisos, o edifício pombalino também utiliza diversas técnicas construtivas.

Pelo fato de no rés-do-chão as paredes serem de alvenaria, o piso do 1º andar (teto do R/C) é diferente do dos outros andares. Este é em arco ou arcos de alvenaria (abóbodas abatidas, de berço, de aresta ou de barrete de clérigo).

Nos restantes pisos o pavimento é em madeira e assenta num vigamento de madeira coberto superiormente por soalho e inferiormente por forro de madeira em “saia e camisa” ou fasquiado de madeira estucado.

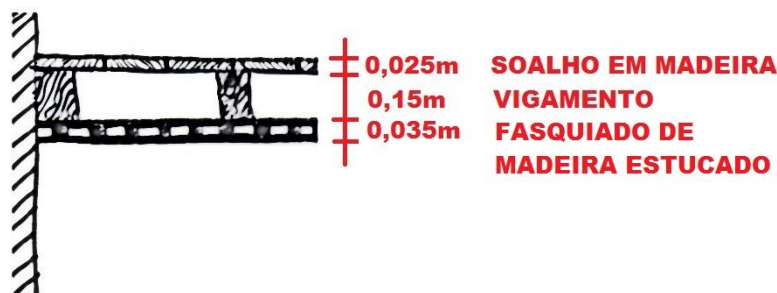


Figura 28 - Piso em madeira com teto em fasquiado de madeira estucado



Figura 29 - Piso em madeira com teto em "saia e camisa"

Em relação ao pé-direito, este foi estipulado para ser de 16 palmos, ou seja cerca de 3,70m de altura (cf. [13] Pág. 14), contudo observam-se muitos casos em que não se cumpriu a rigor esta medida.

Como reabilitação acústica, que não envolve a demolição dos pisos, sugere-se a aplicação de pavimento flutuante conforme apresentado na *Tabela 29*.

| Reabilitação mais económica | |
|--|--|
| <u>Pav. flutuante madeira sobre pavimento existente:</u> Reabilitação acústica pela aplicação de revestimento de pavimento flutuante de aglomerado de madeira assente em membrana flexível de 3mm de espessura. | $\Delta L_w = 18\text{dB}$ Custo = 19,18€/m ² (cf. <i>Apêndice 50</i>) |
| Reabilitação boa acústicamente | |
| <u>Pav. flutuante madeira com Boltherm 510 sobre pavimento existente:</u> Reabilitação acústica pela aplicação sobre o piso existente de pavimento flutuante de aglomerado de madeira assente em membrana termo-acústica <i>Boltherm 510</i> de 10mm de espessura. | $\Delta L_w = 23\text{dB}$ Custo = 23,23€/m ² (cf. <i>Apêndice 52</i>) |
| Reabilitação intermédia | |
| <u>Pav. cerâmico assente em lajeta flutuante:</u> Revestimento de reabilitação em pavimento cerâmico (5mm de espessura) colado com cola cimentícia (1cm de espessura) assente em betonilha armada de 4cm sobre camada resiliente de aglomerado de cortiça e feltro betuminoso (cf. [85] Patrício pág. 339). | $\Delta L_w = 14\text{dB}$ Custo = 43,49€/m ² (cf. <i>Apêndice 42</i>) |

Tabela 29 - Reabilitação pisos em edifício pombalino

5.3.1.4 Fogo exemplo

O fogo exemplo apresentado localiza-se num edifício multifamiliar da *Rua dos Correiros* na baixa de *Lisboa* e foi concluído por volta do ano de 1765.

É um apartamento no 2º andar direito de um prédio com 5 pisos elevados mais sótão. Equivale a um T3, está situado entre dois andares habitacionais com disposições arquitetónicas semelhantes.

| Elemento e solução existente | Desempenho acústico |
|---|---|
| Paredes: | |
| <u>Parede de fachada/empena/saguão</u> – Parede mista de alvenaria de pedra aparelhada (pedra calcária e argamassa de cal aérea) solidarizada a uma estrutura de madeira (gaiola em cruz de Santo André) preenchida com alvenaria. | $R_w = 60\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 5</i>) |
| <u>Parede de frontal</u> – Parede mista de estrutura de madeira (gaiola em cruz de Santo André) preenchida com alvenaria e rebocada com argamassa de cal aérea. | $R_w = 37\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 6</i>) |
| <u>Parede de tabique</u> – Parede tabique de fasquiado de madeira rebocado e estucado com espessura de 0,12m. | $R_w = 45\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 1</i>) |
| Vãos: | |
| <u>Porta interior/porta entrada</u> – Porta interior em madeira maciça com estrutura leve e tábuas em Casquinha de 2cm de espessura. Dobradiças metálicas e sem vedação no batente. | $R_w = 16\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 25</i>) |
| <u>Janela</u> – Janela de guilhotina ou de abrir com arco decorativo, com vidro simples corrente de espessura 3mm. | $R_w = 20\text{dB}$ (cf. [34] <i>Tabela 7.1</i>) |
| Pisos: | |
| <u>Pavimento/teto</u> – Forro em tábuas em Casquinha (<i>Pinus silvestris L.</i>) com 2,5cm espessura, largura 21,5cm e comprimento variável. Forro fixo em estrutura de barrotes de 15cm×12cm e sarrafos que está no pavimento de cima revestido por soalho de Casquinha com 2,5cm de espessura. | $R_w = 27,5\text{dB}$ $L_{n,w,eq} = 120\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 38</i>) |

Tabela 30 - Fogo exemplo pombalino, soluções construtivas



Figura 30 - Fogo exemplo pombalino, frente [72]

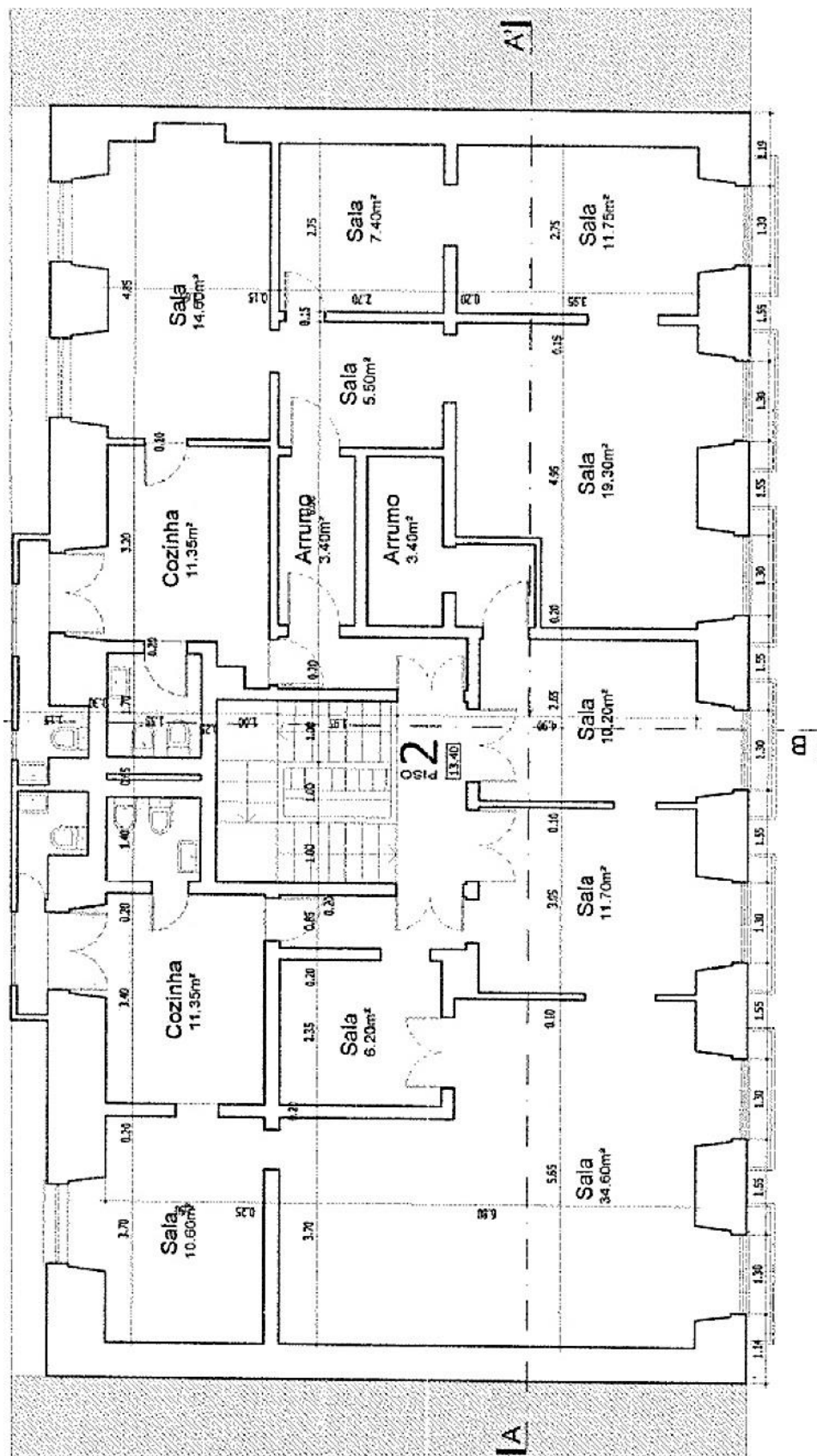


Figura 31 - Fogo exemplo pombalino, planta [72]

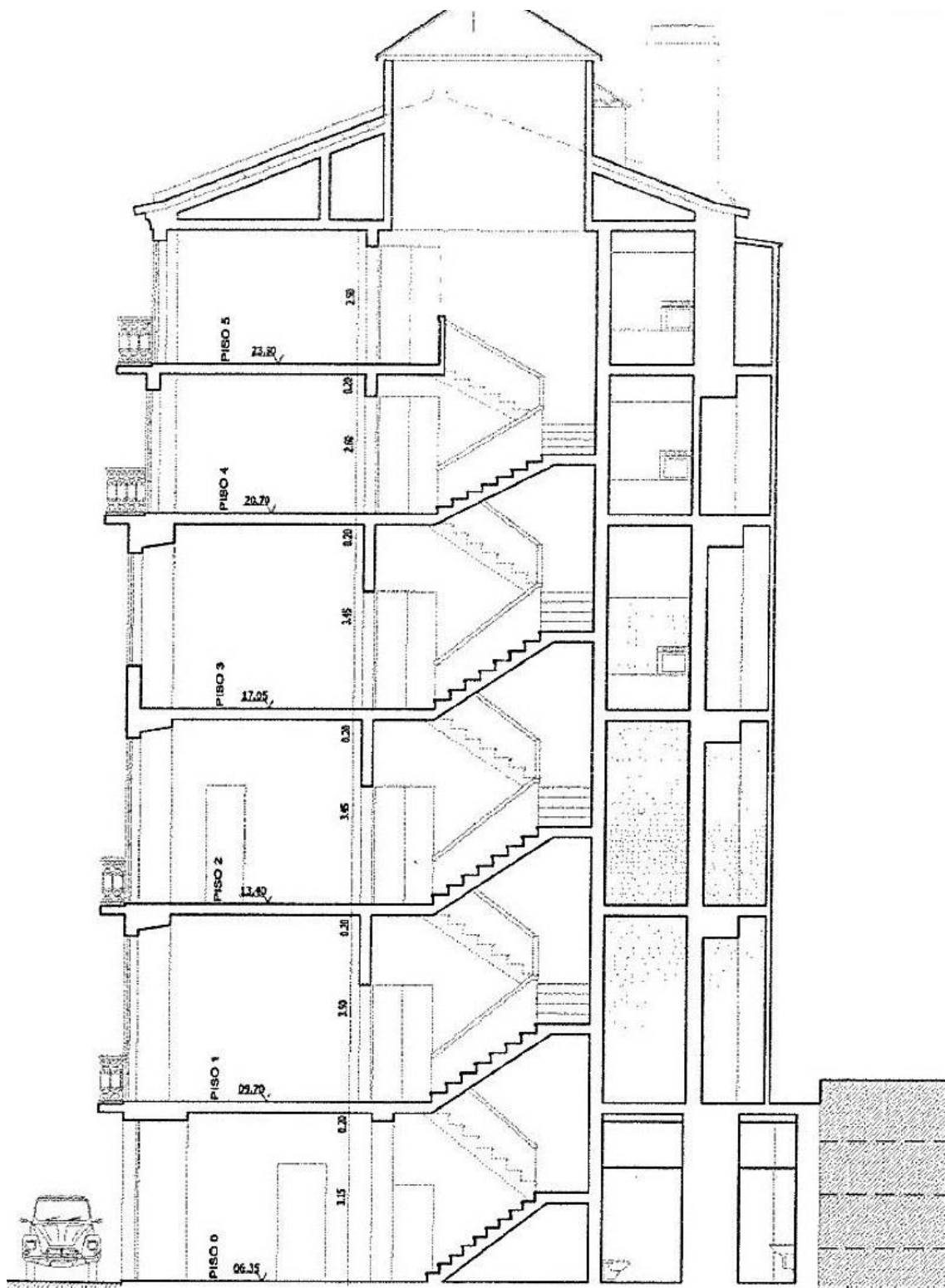


Figura 32 - Fogo exemplo pombalino, corte B-B' [72]

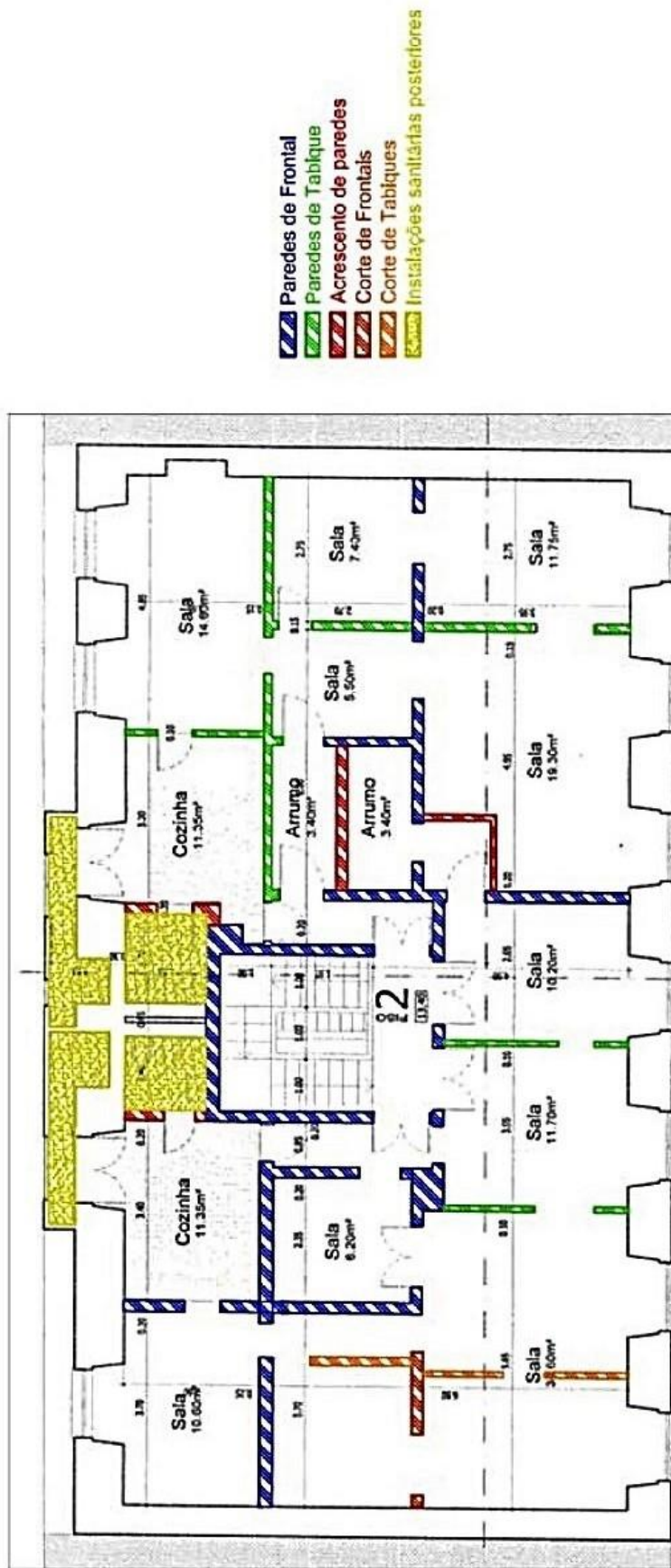


Figura 33 - Fogo exemplo pombalino, ID paredes [72]

5.3.2 Edifícios gaioleiros

Os edifícios gaioleiros são a evolução da construção pombalina, erigidos durante a expansão da cidade de Lisboa no final do séc. XIX.

Apresentam uma certa liberdade arquitetónica em relação à construção Pombalina, caracterizando-se pela utilização de vãos com dimensões diferentes entre si e maior quantidade de decorações na fachada (frisos, cimalhas, etc.). Na fachada das traseiras do edifício existem geralmente varandas e marquises em estrutura metálica ligadas a uma escada metálica de serviço.

Em termos estruturais mantêm a parede exterior em alvenaria e gaiola pombalina, contudo diferem dos edifícios Pombalinos pela existência de alvenaria de tijolo (nas paredes interiores) e pelo fato das paredes em tabique também terem função estrutural. Apresentam também elevadores colocados no vão de escadas.

Deste modo apresentam características e comportamento acústico diferente dos edifícios pombalinos, justificando a sua divisão dentro dos “Edifícios com estrutura tipo gaioleiro”.

5.3.2.1 Paredes

Nestes edifícios, as paredes podem ser classificadas nos seguintes tipos:

- Paredes exteriores:
 - Parede de fachada principal;
 - Parede de fachada de tardez do edifício;
 - Parede de empena/meeiras;
 - Parede de saguão.
- Paredes interiores:
 - Parede de frontal (localiza-se perpendicularmente à fachada e tem função estrutural de travamento da fachada);
 - Parede de tabique.

As paredes de fachada principal são constituídas por alvenaria de pedra calcária, argamassa de cal aérea e areia amarela sem argila (existem casos em que foi utilizado saibro em substituição de areia amarela). Nestas paredes é comum as juntas serem refechadas. Apresentam uma espessura de 0,70m no rés-do-chão e 0,50m no último piso com um decréscimo regular de 0,05m por piso.

As paredes de fachada de tardez são construídas com alvenaria de tijolo maciço (22×11×7cm) assentes por argamassa de areia amarela e cal aérea (traço 1:2) com juntas de 2cm.

As paredes de empena ou meeiras são geralmente de tijolo furado ou tijolo maciço. Têm espessura de 0,5m no rés-do-chão e 0,40m nos restantes pisos.

As paredes de saguão podem ser de tijolo furado ou alvenaria de pedra. Têm em geral espessura constante em toda a altura, sendo o valor comum de 0,50m.

A estrutura das paredes de frontal é constituída por uma estrutura de madeira do género da “gaiola em cruz de Santo André” sem o travamento diagonal, ou seja só com prumos verticais e traves horizontais. Os espaços desta gaiola são preenchidos com alvenaria fraca de pedras ou tijolo resultante dos desperdícios de outras atividades da construção. Tem em geral espessura de 0,16m.

As paredes de tabique podem ter, além da função divisória, uma função estrutural de suporte de pavimentos. São construídas por um fasquiado de madeira nas duas direções (rebocado e estucado de ambos os lados), ou em alvenaria de tijolo rebocado dos dois lados. Esta última solução era a mais utilizada. Apresentam em regra uma espessura de 0,12m quando em fasquiado de madeira rebocado estucado e de 0,15m quando em alvenaria de tijolo furado.

A partir de 1903 com a introdução do *Regulamento de Salubridade das Edificações Urbanas* (RSEU) é tornada obrigatória a existência de caixa-de-ar ventilada nas paredes interiores do rés-do-chão numa altura mínima de 0,60m.

Os melhoramentos apresentados na *Tabela 28* também se aplicam às paredes deste tipo de edifícios.

5.3.2.2 Vãos

Os edifícios gaioleiros, em relação aos edifícios pombalinos, apresentam uma maior liberdade arquitetónica de dimensão para as portas e envidraçados.

Em relação aos envidraçados dos pisos superiores (pisos habitacionais), observa-se que estes têm janelas de abrir com arco decorativo. Quando não houve substituição do envidraçado este é de vidro simples corrente com espessura de 3mm.

Para a portas, a sua melhoria acústica tem sempre que manter o seu aspeto artístico original, como tal sugerem-se soluções que apresentam os mesmos resultados acústicos da *Tabela 19*.

Como soluções de melhoramento acústico de envidraçados sugere-se a sua substituição por outros com vidro duplo conforme o apresentado na *Tabela 20*.

5.3.2.3 Pisos

Os edifícios gaioleiros costumam apresentar dois tipos de pisos: pisos em madeira (semelhante aos edifícios pombalinos) e pisos com estrutura metálica.

Os pisos em madeira são compostos por vigas em madeira de pinho (vulgo Casquinha) com soalho também em tábuas de Casquinha. A estrutura do piso apoia-se nas paredes exteriores e interiores do edifício. O piso tem como estrutura vigas com altura entre 14cm e 16cm e largura entre 10cm a 12cm. As vigas têm um afastamento entre si de aproximadamente 0,40m. Existem também tarugos (vigas

perpendiculares às vigas principais) que efetuavam o travamento das vigas do pavimento. Estes são normalmente de dimensão menor.

Os pisos metálicos (conforme ilustrado na *Figura 34*), quando utilizados, existem somente nas zonas húmidas (wc e cozinha). São constituídos por vigas metálicas em “I” entre as quais pequenos arcos de alvenaria apoiam. Esta disposição de laje aligeirada de abobadilhas “primitiva” era depois revestida com azulejos.



Figura 34 - Piso estrutura metálica edifício gaioleiro

Como reabilitação acústica, que não envolve a demolição dos pisos, sugere-se a aplicação de pavimento flutuante conforme apresentado na *Tabela 31*.

| Reabilitação mais económica | |
|--|--|
| <u>Pav. flutuante madeira sobre pavimento existente:</u> Reabilitação acústica pela aplicação de revestimento de pavimento flutuante de aglomerado de madeira assente em membrana flexível de 3mm de espessura. | $\Delta L_w = 18\text{dB}$ Custo = 19,18€/m ² (cf. <i>Apêndice 45</i>) |
| Reabilitação boa acústicamente | |
| <u>Pav. flutuante madeira com <i>Boltherm 510</i> sobre pavimento existente:</u> Reabilitação acústica pela aplicação sobre o piso existente de pavimento flutuante de aglomerado de madeira assente em membrana termo-acústica <i>Boltherm 510</i> de 10mm de espessura. | $\Delta L_w = 23\text{dB}$ Custo = 23,23€/m ² (cf. <i>Apêndice 52</i>) |
| Reabilitação intermédia | |
| <u>Pav. cerâmico assente em lajeta flutuante:</u> Revestimento de reabilitação em pavimento cerâmico (5mm de espessura) colado com cola cimentícia (1cm de espessura) assente em betonilha armada de 4cm sobre camada resiliente de aglomerado de cortiça e feltro betuminoso (cf. [85] Patrício pág. 339). | $\Delta L_w = 14\text{dB}$ Custo = 43,49€/m ² (cf. <i>Apêndice 42</i>) |

Tabela 31 - Reabilitação pisos em edifício gaioleiro

5.3.2.4 Fogo exemplo

O fogo exemplo apresentado consiste num apartamento inserido num edifício gaioleiro de pequena/média dimensão de cinco pisos, em lote de frente estreita com saguão, escada interior lateral e um fogo por piso. O edifício possui ascensor antigo, mas a funcionar.

O apartamento (equivalente a um T3), localiza-se no 2º andar entre dois fogos semelhantes e tem de pé-direito de 3,70m. As características das paredes, vãos e pisos são as apresentadas na *Tabela 32*.

| Elemento e solução existente | Desempenho acústico |
|---|---|
| Paredes: | |
| <u>Parede de fachada principal e de saguão</u> – Parede de alvenaria de pedra aparelhada (pedra calcária e argamassa de cal aérea) com espessura de 0,50m, com 2cm de reboco de argamassa de cal. | $R_w = 60\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 7</i>) |
| <u>Parede de fachada de tardo do edifício</u> – Parede de alvenaria de tijolo maciço (22×11×7cm) assentes por argamassa de areia amarela e cal aérea (traço 1:2) com juntas de 2cm. Reboco interior e exteriormente com camada de 2cm. | $R_w = 48\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 8</i>) |
| <u>Parede de empena/meeiras</u> – Parede de 0,40m de alvenaria de tijolo maciço (22×11×7cm) assentes por argamassa de areia amarela e cal aérea (traço 1:2) com juntas de 2cm. Reboco em cada edifício com camada de 2cm. Esta parede é partilhada pelos dois edifícios | $R_w = 60\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 9</i>) |
| <u>Parede de frontal</u> – Parede mista de estrutura de madeira (gaiola em cruz de Santo André) preenchida com alvenaria e rebocada com argamassa de cal aérea. | $R_w = 37,5\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 10</i>) |
| <u>Parede de tabique</u> – Parede de tabique de fasquiado de madeira rebocado e estucado com espessura de 0,12m. | $R_w = 45\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 1</i>) |
| Vãos: | |
| <u>Porta interior/porta entrada</u> – Porta interior em madeira maciça com estrutura leve e tábuas de em Casquinha de 2cm de espessura. Dobradiças metálicas e sem vedação no batente. | $R_w = 16\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 25</i>) |
| <u>Janela</u> – Janela de guilhotina ou de abrir com arco decorativo, com vidro simples corrente de espessura 3mm. | $R_w = 20\text{dB}$ (cf. [34] <i>Tabela 7.1</i>) |
| Pisos: | |
| <u>Pavimento/teto</u> – Forro em tábuas em Casquinha (<i>Pinus silvestris L.</i>) com 2,5cm espessura, largura 21,5cm e comprimento variável. Forro fixo em estrutura de barrotes de 15cm×12cm e sarrafos que está no pavimento de cima revestido por soalho de Casquinha com 2,5cm de espessura. | $R_w = 27,5\text{dB}$ $L_{n,w,eq} = 120\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 38</i>) |

Tabela 32 - Fogo exemplo gaioleiro, soluções construtivas



1m

Legenda:

P1 Porta de entrada

P2 Porta de entrada

Tabela 33 - Fogo exemplo gaioleiro, planta

5.4 Edifícios de placa

Os edifícios de placa caracterizam-se por possuírem pavimentos em betão que descarregam diretamente em paredes sem recurso a vigas ou pilares. Em regra são homogêneos em planta e não apresentam mais de 5 pisos elevados. As paredes podem ser de alvenaria de pedra, tijolo cerâmico ou blocos de betão. Existem por vezes algumas vigas e pilares em betão armado localizados em locais estratégicos, mas em número reduzido.

Em Portugal continental este tipo de construção foi utilizado entre 1930 e 1970 na construção de reabilitação (reconstrução de edifícios de pedra) ou na construção de raiz. Atualmente representam cerca de 40% do parque habitacional existente e mantêm as suas características estruturais iniciais.

5.4.1 Paredes

As paredes dos edifícios de placa podem ou não ter função estrutural. As paredes de perímetro do edifício e de caixa de escadas costumam ter função estrutural.

Encontram-se paredes realizadas nos mais variados tipos de material, tais como: alvenaria de pedra, tijolo cerâmico maciço, tijolo cerâmico furado e blocos de betão. Sendo que as paredes de fachada têm bom comportamento acústico, somente sugere-se melhoramento para as paredes interiores conforme apresentado na *Tabela 28*.

5.4.2 Vãos

Tendo os edifícios de placa sido construídos entre 1930 e 1970, estes podem ou não ter sofrido melhoramentos nos vãos. Em relação à porta de entrada do prédio, quase todos os edifícios têm a característica porta metálica com janela de vidro que ocupa $2/3$'s do topo da porta.

As portas de entrada dos apartamentos originalmente eram de madeira. Muitas foram conservadas, visto terem sido efetuadas com uma boa vedação mecânica de frinchas.

Em relação aos envidraçados, estes podem ser dois tipos: janela de abrir com vidro simples de 3mm com folhas de pinázios (cf. *Apêndice 33*) ou janela de correr com vidro simples de 4mm (cf. *Apêndice 29*), esta última opção foi muito utilizada principalmente nos anos 60.

Como melhoria do comportamento acústico podem-se substituir as portas pelas apresentadas na *Tabela 19* e as janelas pelas apresentadas em *Tabela 20*.

5.4.3 Pisos

Nestes edifícios a estrutura dos pisos é em betão armado ou laje aligeirada. No caso de estrutura em betão armado, a espessura é de 10cm apresentando uma transmissão sonora $L_{n,w,eq}$ de 76dB (cf. *Apêndice 40*). Caso se tenha optado por laje aligeirada com viga de beiral, esta apresenta várias espessuras consoante o vão a vencer e os materiais

disponíveis. Ambos os tipos de piso são revestidos com uma superfície de acabamento que normalmente é em ladrilhos cerâmicos.

Como solução de reabilitação dos pisos sugere-se a introdução de pisos flutuantes ou de lajeta flutuante conforme apresentado na *Tabela 34*.

| Reabilitação mais económica | |
|--|--|
| <u>Pav. flutuante madeira sobre pavimento existente:</u> Reabilitação acústica pela aplicação de revestimento de pavimento flutuante de aglomerado de madeira assente em membrana flexível de 3mm de espessura. | $\Delta L_w = 18\text{dB}$ Custo = 19,18€/m ² (cf. <i>Apêndice 51</i>) |
| Reabilitação boa acusticamente | |
| <u>Pav. flutuante madeira com <i>Boltherm 510</i> sobre pavimento existente:</u> Reabilitação acústica pela aplicação sobre o piso existente de pavimento flutuante de aglomerado de madeira assente em membrana termo-acústica <i>Boltherm 510</i> de 10mm de espessura. | $\Delta L_w = 23\text{dB}$ Custo = 23,23€/m ² (cf. <i>Apêndice 52</i>) |
| Reabilitação intermédia | |
| <u>Pav. cerâmico assente em lajeta flutuante:</u> Revestimento de reabilitação em pavimento cerâmico (5mm de espessura) colado com cola cimentícia (1cm de espessura) assente em betonilha armada de 4cm sobre camada resiliente de aglomerado de cortiça e feltro betuminoso (cf. [85] Patrício pág. 339). | $\Delta L_w = 14\text{dB}$ Custo = 43,49€/m ² (cf. <i>Apêndice 42</i>) |

Tabela 34 - Reabilitação pisos em edifício de placa

5.4.4 Fogo exemplo

Para este tipo de edifícios apresenta-se, como fogo exemplo, um apartamento de um edifício de placa do Bairro de Alvalade em Lisboa. O edifício, com geometria de “rabo-de-bacalhau”, foi construído em 1944 e encontra-se confinado entre dois edifícios semelhantes. Tem o prédio semicave, piso térreo (piso 0) e três pisos elevados (piso 1 a 3).

O apartamento (fogo exemplo) situa-se no 2º andar direito (piso 2) e tem tipologia T3.

| Elemento e solução existente | Desempenho acústico |
|---|---|
| Paredes: | |
| <u>Parede exterior</u> – Parede dupla de blocos 50×15×20, sem caixa-de-ar, com espessura de 0,30m e reboco de 2cm de espessura em cada face. | $R_w = 62\text{dB}$ (cf. [71] <i>Tabela 4.1.6</i>) |
| <u>Parede de empena/meeiras</u> – Parede dupla de blocos 50cm×15cm×20cm, sem caixa-de-ar, com espessura de 0,30m e reboco de 2cm de espessura em cada face. | $R_w = 51\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 11</i>) |
| <u>Parede da caixa de escadas/limite da fração/de suporte de pavimentos</u> – Parede de alvenaria de tijolo furado (a uma vez, ou seja deitado), com rebocos de 2cm em cada face, com espessura total de 0,25m. | $R_w = 55\text{dB}$ (cf. [71] <i>Tabela A1.3.6</i>) |

| | |
|--|--|
| <u>Parede divisória/compartimentação</u> – Parede de alvenaria de tijolo (a meia vez, ou seja em pé com rebocos de 2cm em cada face, com espessura total de 0,15m. | $R_w = 46\text{dB}$ (cf. [71] <i>Tabela A1.3.6</i>) |
| Vãos: | |
| <u>Porta interior</u> – Porta em favo de cartão revestido a lâmina de madeira. | $R_w = 15\text{dB}$ (cf. [34] <i>Tabela 7.1</i>) |
| <u>Porta entrada</u> – Porta de madeira maciça com estrutura leve e tábuas em Casquinha de 2cm de espessura. Dobradiças metálicas e sem vedação no batente. | $R_w = 16\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 25</i>) |
| <u>Janela</u> – Janela de em perfil de alumínio, com vidro simples corrente de espessura 4mm. | $R_w = 30,5\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 29</i>) |
| Pisos: | |
| <u>Piso intermédio</u> (teto piso 2/pavimento piso 3) – Laje em betão B20 (C16/20) armado com varões lisos A235, com espessura de 0,10m. | $L_{n,w,eq} = 76\text{dB}$ $R_w = 53\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 40</i>) |
| Pé-direito 3,25m. | N/A |

Tabela 35 - Fogo exemplo de placa, T3 de 1944, soluções construtivas

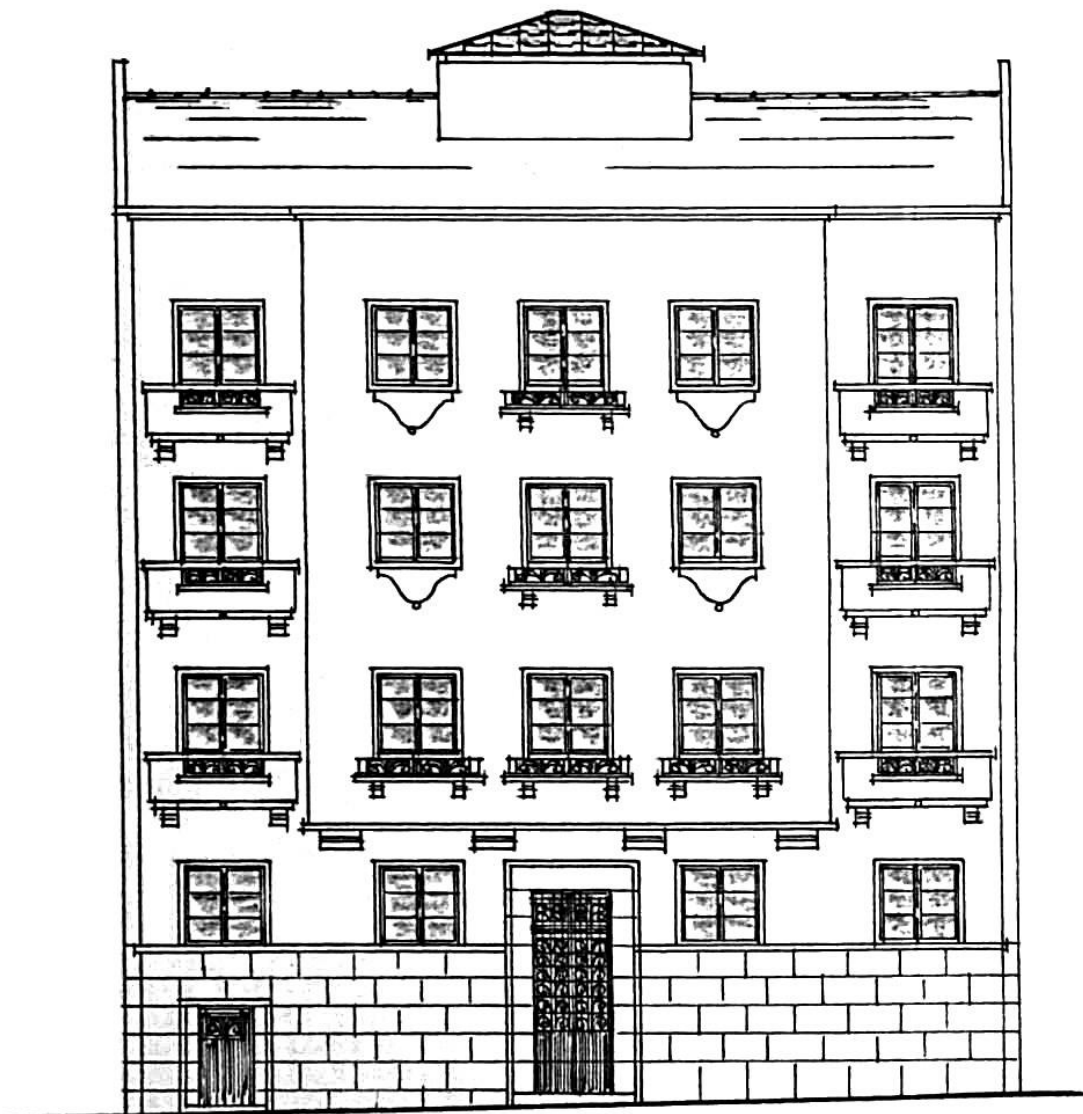


Figura 35 - Fogo exemplo de placa, frente [73]

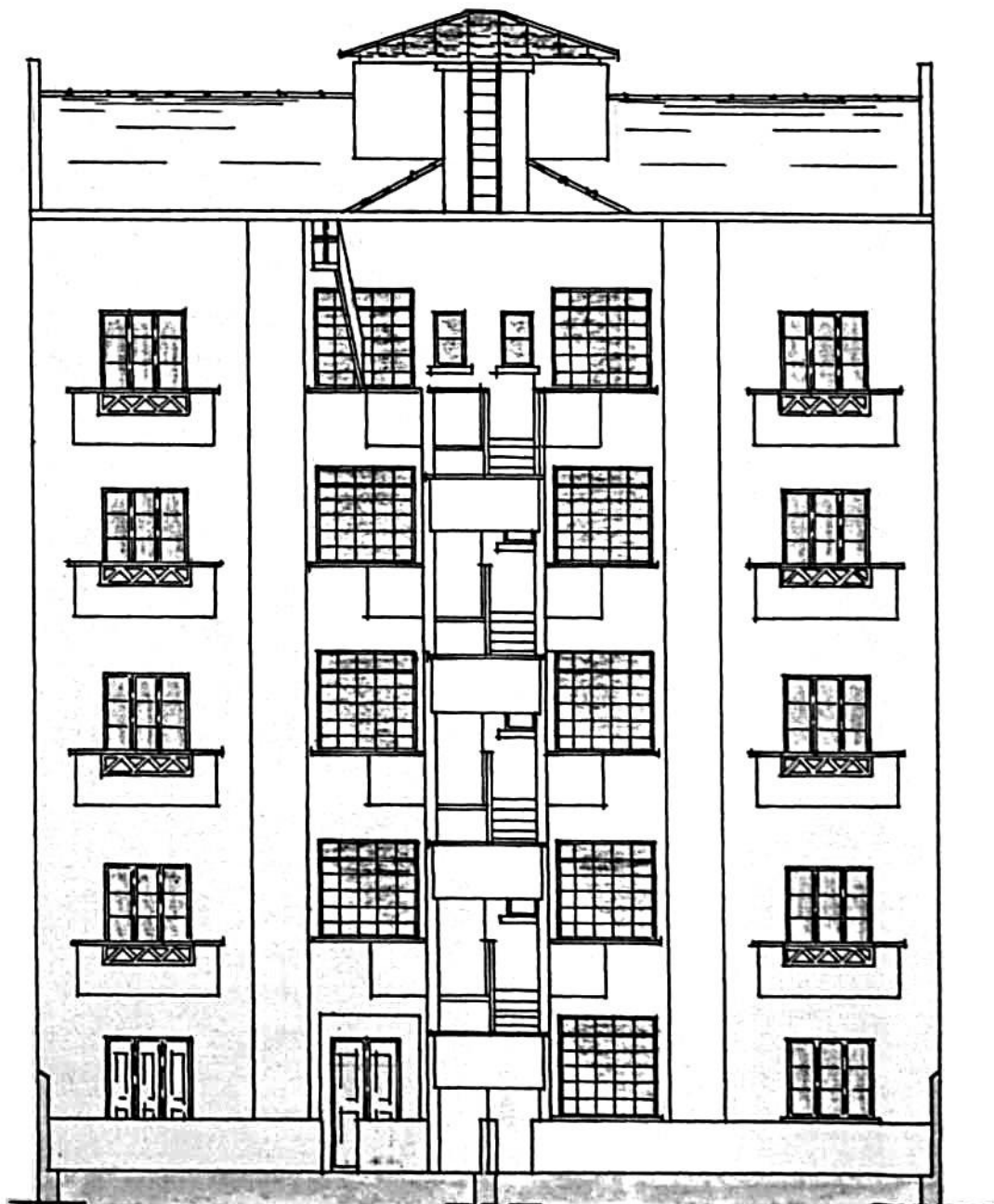


Figura 36 - Fogo exemplo de placa, fachada tardoz [73]

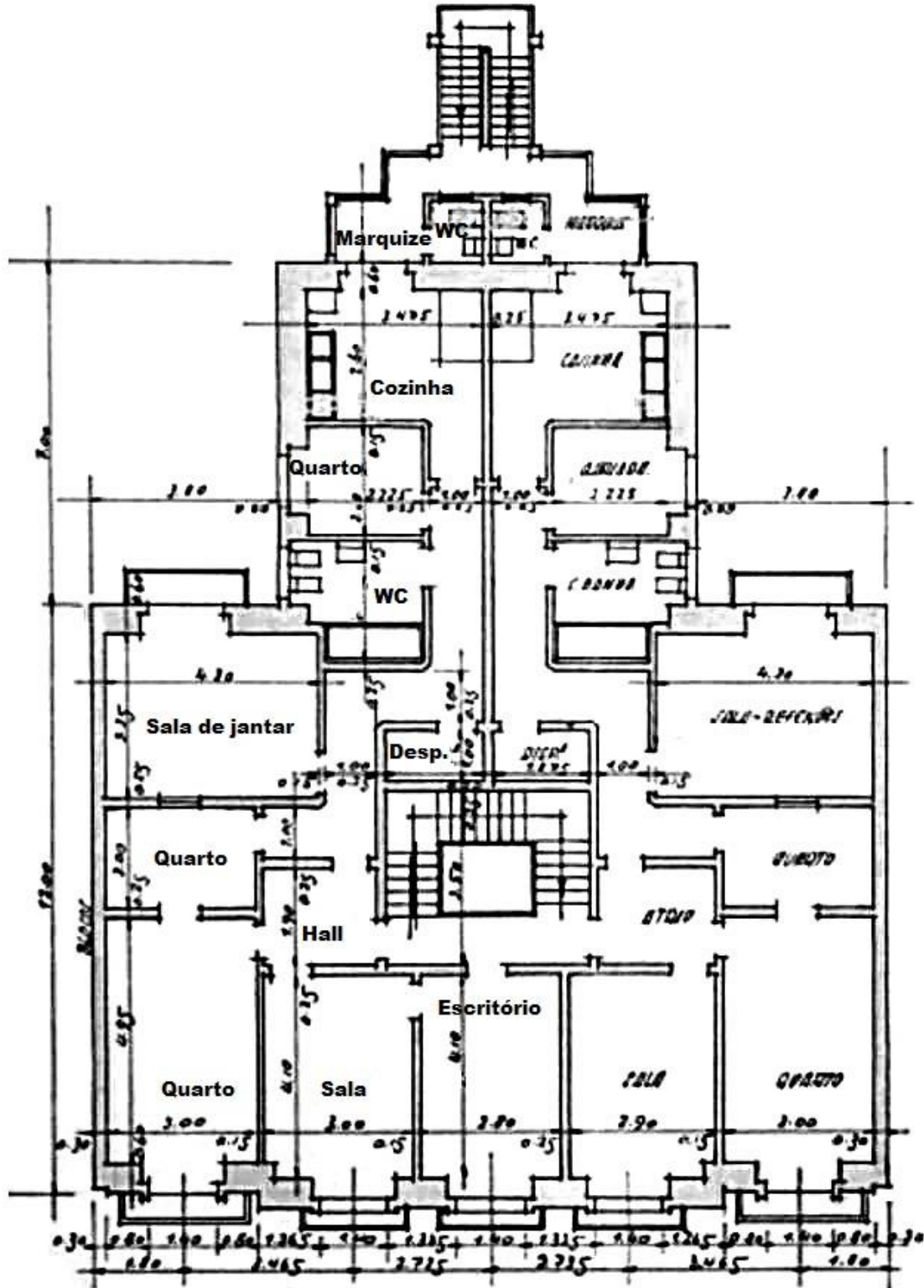


Figura 37 - Fogo exemplo de placa, planta [73]

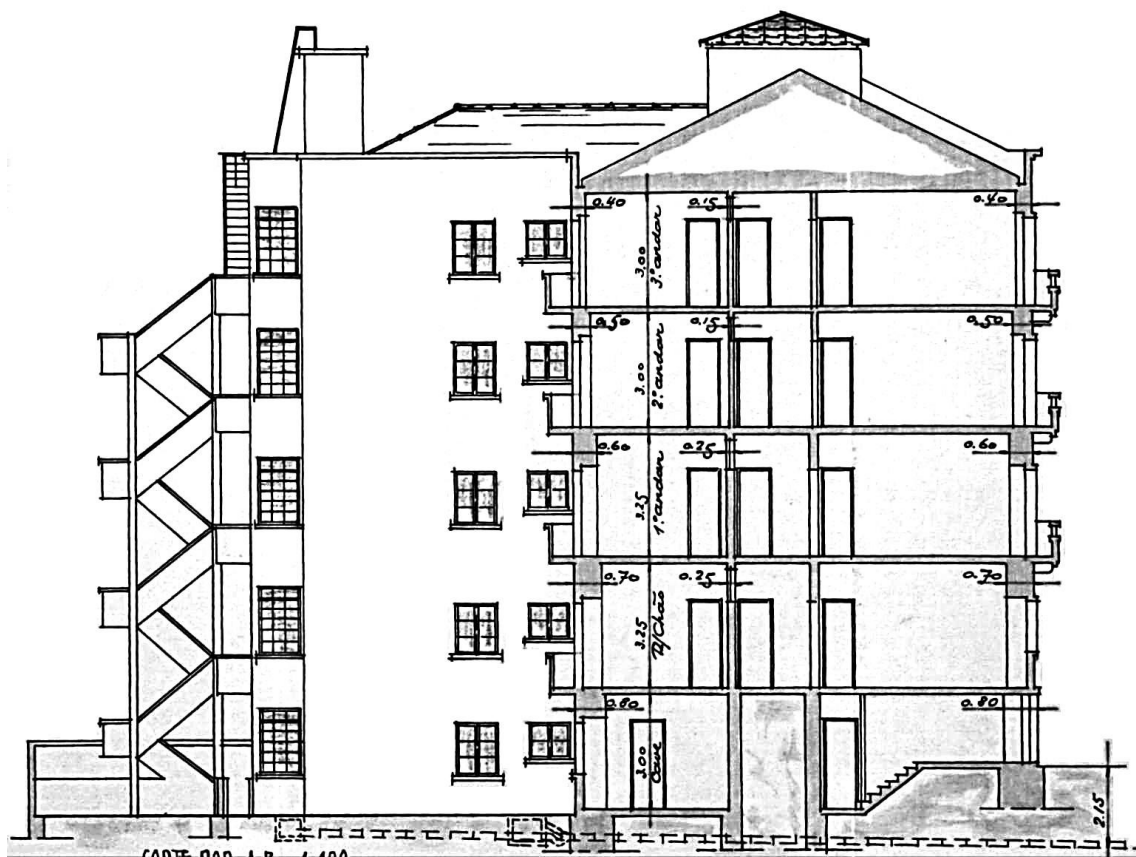


Figura 38 - Fogo exemplo de placa, corte [73]

5.5 Edifícios recentes

Classifica-se aqui os edifícios com estrutura em betão armado ou com estrutura metálica.

Os edifícios em betão armado são construídos com sapatas, pilares, vigas e lajes em betão armado. As paredes são feitas normalmente em alvenaria de tijolo furado. Num número diminuto de edifícios, com forte componente artística, as paredes também são feitas em betão armado.

Em Portugal o número de edifícios construídos inteiramente com construção metálica é muito reduzido e muito recente (e.g. Torre de São Rafael no *Parque das Nações*). Como tal a sua análise não iria influenciar muito os resultados pois são um número reduzido e apresentam construção com boa qualidade acústica, não necessitando assim de reabilitação.

5.5.1 Edifícios em estrutura de betão armado

5.5.1.1 Paredes

Os edifícios recentes com estrutura em betão armado apresentam, na sua maioria, paredes em alvenaria de tijolo. Existem também casos em que algumas paredes são em betão armado (paredes resistentes), ou em que a totalidade das paredes são feitas em betão armado (casos mais extremos encontrados na arquitetura artística).

Nos edifícios com paredes em alvenaria as paredes divisórias podem ser de alvenaria simples ou dupla. Existem também locais da parede, (pontes térmicas de zonas de pilar ou viga/laje), que apresentam melhor desempenho acústico a sons aéreos. Neste tipo de construção de alvenaria, a parede dupla é a que apresenta maior distribuição. Esta é feita com pano duplo de tijolo furado 11cm com isolamento na caixa-de-ar. Na *Tabela 36* estão apresentados os isolamentos sonoros a sons de condução aérea (R_w) deste tipo de paredes.

| Parede tijolo 11+11 – com isolamento térmico/acústico: | R_w Parede: |
|---|--|
| Parede de alvenaria dupla de tijolo furado 11+11cm de espessura, com caixa-de-ar totalmente preenchida com placas de isolamento (XPS, PN40 ou PN70) de 40mm de espessura, juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de reboco por face exterior. | XPS (cf. <i>Apêndice 13</i>) $R_w = 50\text{dB}$ |
| | PN40 (cf. <i>Apêndice 14</i>) $R_w = 50\text{dB}$ |
| | PN70 (cf. <i>Apêndice 15</i>) $R_w = 51\text{dB}$ |

Tabela 36 - R_w de paredes de tijolo furado 11+11 c/ isolamento térmico/acústico

Nos últimos anos, principalmente devido à preocupação de adição de isolamento térmico nos locais de ponte térmica, tem se estado a introduzir a utilização de parede dupla com um pano exterior em tijolo furado 15cm e um pano interior em tijolo furado 11cm (R_w conforme *Tabela 37*).

| Parede tijolo 15+11 – com isolamento: | | R_w Parede: |
|---|-----------------------------------|------------------------------|
| Parede de alvenaria dupla de tijolo furado 15+11cm de espessura, com caixa-de-ar totalmente preenchida com placas de isolamento (XPS, PN40 ou PN70) de 40mm de espessura, juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de reboco por face exterior. | XPS (cf. <i>Apêndice 17</i>) | R _w = 52dB |
| | PN40 (cf. <i>Apêndice 18</i>) | R _w = 52dB |
| | PN70 (cf. <i>Apêndice 19</i>) | R _w = 53dB |

Tabela 37 - R_w de paredes de tijolo furado 15+11 c/ isolamento térmico/acústico

Não se sugerem medidas de reabilitação acústica para as zonas opacas das paredes existentes nestes edifícios, visto já apresentarem valores aceitáveis acusticamente.

5.5.1.2 Vãos

Em relação ao tipo de portas existe uma grande variedade estética, contudo existem somente poucos tipos de portas *standard* em relação à espessura e isolamento acústico.

Para portas interiores existe a porta aligeirada corrente com núcleo oco ($m=9\text{kg/m}^2$). Estas apresentam em norma um isolamento sonoro a sons de condução aérea (R_w) de 18dB (cf. *Apêndice 26*). Para as portas de entrada existe a comum porta de madeira maciça, com batente e tratamento de frinchas em todo o seu contorno ($m=61\text{kg/m}^2$ e $R_w = 28\text{dB}$ cf. *Apêndice 27*).

O isolamento acústico proporcionado pelas portas pode ser melhorado substituindo-as por portas com melhores resultados acústicos. Estes melhores resultados acústicos devem-se principalmente à melhor vedação de frinchas e à existência de um camada interna de isolamento acústico (esta está presente em portas exteriores com alto valor de isolamento acústico).

| Reabilitação boa acusticamente | |
|--|---|
| <u>Porta interior:</u> Porta interior de madeira do tipo "AC 32dB NATUR" (cf. [109]) com medidas 65cm×200cm, interior em aglomerado de madeira e revestimento de folha de madeira natural. Isolamento acústico com barra de calafetagem de acionamento automático. Classificação AC 32dB de acordo com a norma EN ISO 717-1:2013. | R _w = 32dB Custo = 259€/un (cf. [53]) |
| <u>Porta de entrada:</u> Porta de entrada tipo "Archiwood XXI ref. B_AC45dB_1F" (cf. [20]) com medidas 80cm×210cm, com 1 folha, aro e face em madeira, enchimento de atenuação acústica, vendade acústico de encastrar e ferragens em inox. Inclui vedante de soleira. Espessura total da porta de 65mm. | R _w = 45dB Custo = 1999€/un (cf. [57]) |

Tabela 38 - Reabilitação de portas em edifício de betão armado

Em relação aos envidraçados, é comum a existência de janelas de vidro duplo com caixa-de-ar (com ou sem gás inerte). A mais comum é a janela de vidro duplo 6+4mm com caixa-de-ar de 10mm em caixilharia de alumínio.

Como soluções de melhoria acústica de envidraçados, propõe-se a substituição por envidraçados com maior espessura de vidro e melhor vedação de frinchas.

| Reabilitação boa acusticamente | |
|--|--|
| <u>Janela oscilobatente tipo <i>FINSTRAL Top 90 Step-line</i>:</u> Janela oscilobatente em perfil multicamadas PVC, vidro triplo 4+4/16/4 e com permeabilidade ao ar segundo EN 12207 Classe 4. | $R_w = 42\text{dB}$ Custo = 453,44€/m ² (cf. <i>Apêndice 32</i>) |
| Reabilitação intermédia | |
| <u>Janela de correr vidro duplo 8+6mm:</u> Janela de correr em perfil de alumínio, vidro duplo 8mm+6mm, caixa-de-ar de 12mm e com adequada vedação de frinchas (cf. <i>Apêndice 31</i>). | $R_w = 37\text{dB}$ Custo = 152,27€/m ² |

Tabela 39 - Reabilitação de envidraçados em edifício de betão armado

5.5.1.3 Pisos

Em relação aos pisos deste tipo de edifícios, a estrutura existente é quase sempre composta por uma laje de betão armado ($L_{n,w}=70\text{dB}$ cf. *Apêndice 41.c.i*), ocorrendo esporadicamente a utilização de lajes aligeiradas em habitações unifamiliares, apresentando estas últimas uma transmissão sonora $L_{n,w,eq}$ de 77dB (cf. *Apêndice 44*).

É comum observarem-se pisos com revestimento em ladrilho cerâmico ($L_{n,w,eq}=70\text{dB}$; $R_w=52\text{dB}$ cf. *Apêndice 41*), ladrilho cerâmico dessolidarizado ($L_{n,w,eq}=55\text{dB}$ cf. *Apêndice 43*) ou pavimento flutuante de aglomerado de madeira ($L_{n,w,eq}=52\text{dB}$ cf. *Apêndice 51*).

Para os casos em que não existe piso flutuante ou lajeta flutuante, sugerem-se como propostas de reabilitação, as soluções apresentadas na *Tabela 40*.

| Reabilitação mais económica | |
|--|--|
| <u>Pav. flutuante madeira sobre pavimento existente:</u> Reabilitação acústica pela aplicação de revestimento de pavimento flutuante de aglomerado de madeira assente em membrana flexível de 3mm de espessura. | $\Delta L_w = 18\text{dB}$ Custo = 19,18€/m ² (cf. <i>Apêndice 51</i>) |
| Solução boa acusticamente | |
| <u>Pav. flutuante madeira com <i>Boltherm 510</i> sobre pavimento existente:</u> Reabilitação acústica pela aplicação sobre os pisos existente de pavimento flutuante de aglomerado de madeira assente em membrana termo-acústica <i>Boltherm 510</i> de 10mm de espessura. | $\Delta L_w = 23\text{dB}$ Custo = 23,23€/m ² (cf. <i>Apêndice 52</i>) |

Tabela 40 - Reabilitação de pisos em edifício de betão armado

5.5.1.4 Fogo exemplo

Escolheu-se dois fogos exemplo para este tipo de edifícios: um apartamento em edifício multifamiliar com ascensor e uma moradia unifamiliar isolada.

Em relação à moradia unifamiliar, esta insere-se num complexo urbanístico com campo de golfe em Belas (Sintra), tem tipologia T4, dois pisos e foi construída em 2006.

O outro exemplo escolhido é um apartamento de um edifício multifamiliar, tem tipologia T3 e localiza-se no 2º andar de um prédio de 8 andares construído em 1981.

| Elemento e solução existente | Desempenho acústico |
|--|--|
| Paredes: | |
| <u>Parede exterior</u> – Parede de alvenaria dupla de tijolo furado 15+11cm de espessura, com caixa-de-ar de 4cm totalmente preenchida com placas de lã-de-rocha de 40mm de espessura e densidade 40kg/m ³ (PN40), juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de reboco por face exterior. | R _w = 52dB (cf. <i>Apêndice 18</i>) |
| <u>Parede interior</u> – Parede de alvenaria de tijolo furado 11cm de espessura, juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de estuque projetado, incluindo barramento em massa fina, reforço com rede de fibra de vidro 5mm×5mm (75g/m ²) na transição betão/alvenaria e perfis cobre-cantos em PVC reforçado com rede de fibra de vidro. | R _w = 43dB (cf. <i>Apêndice 12</i>) |
| Vãos: | |
| <u>Porta interior</u> – Porta aligeirada corrente, com núcleo oco, e algumas frinças (m=9kg/m ²). | R _w = 18dB (cf. <i>Apêndice 26</i>) |
| <u>Porta de entrada</u> – Porta de entrada em madeira maciça com batente e tratamento de frinças em todo o seu contorno (m=61kg/m ²). | R _w = 28dB (cf. <i>Apêndice 27</i>) |
| <u>Janela</u> – Janela de abrir, com vidro duplo 6mm+4mm e caixa-de-ar de 10mm, com adequada vedação de frinças. | R _w = 35,1dB (cf. <i>Apêndice 34</i>) |
| Pisos: | |
| <u>Lajes</u> (teto piso 0/pavimento piso 1) – Laje de betão armado com espessura 15cm, coberta com betonilha de regularização de 7cm, e com revestimento cerâmico de 5mm de espessura colado com 1cm de cola cimentícia. | L _{n,w,eq} = 70dB R _w = 52dB (cf. <i>Apêndice 41</i>) |

Tabela 41 - Fogo exemplo em betão armado, V4 2006, soluções construtivas

Planta Promocional PM3579

PERSONALMED
Mediação Imobiliária Personalizada

Piso 0



Figura 39 - Fogo exemplo em betão armado, V4 2006, planta piso0 [90]

Planta Promocional PM3579

PERSONALMED
Mediação Imobiliária Personalizada

Piso 1



Figura 40 - Fogo exemplo em betão armado, V4 2006, planta piso1 [80]

| Elemento e solução existente | Desempenho acústico |
|--|--|
| Paredes: | |
| <u>Parede exterior</u> – Parede de alvenaria dupla de tijolo furado 11+11cm de espessura, com caixa-de-ar totalmente preenchida com placas de XPS de 40mm de espessura, juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de reboco por face exterior. | $R_w = 50\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 13</i>) |
| <u>Parede interior</u> – Parede de alvenaria de tijolo furado 11cm de espessura, juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de estuque projetado, incluindo barramento em massa fina, reforço com rede de fibra de vidro 5mm×5mm (75g/m ²) na transição betão/alvenaria e perfis cobre-cantos em PVC reforçado com rede de fibra de vidro. | $R_w = 43\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 12</i>) |
| Vãos: | |
| <u>Porta interior</u> – Porta aligeirada corrente, com núcleo oco, e algumas frinchas (m=9kg/m ²). | $R_w = 18\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 26</i>) |
| <u>Porta de entrada</u> – Porta de entrada em madeira maciça com batente e tratamento de frinchas em todo o seu contorno (m=61kg/m ²). | $R_w = 28\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 27</i>) |
| <u>Janela</u> – Janela de correr com vidro duplo 6mm+4mm e caixa-de-ar de 10mm, com adequada vedação de frinchas. | $R_w = 35,1\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 30</i>) |
| Pisos | |
| <u>Lajes</u> (pavimento piso 2/teto piso 1) – Laje de betão armado com espessura 15cm, coberta com betonilha de regularização de 7cm, e com revestimento cerâmico de 5mm de espessura colado com 1cm de cola cimentícia. | $L_{n,w,eq} = 70\text{dB}$ $R_w = 52\text{dB}$ (cf. <i>Apêndice 41</i>) |

Tabela 42 - Fogo exemplo em betão armado, T3 1981, soluções construtivas

Planta Promocional PM3341

PERSONALMED
 Multiútilo Promocional Promovido



A.bruta privativa= 118 m²
 A.bruta coberta= 98 m²
 + A. descoberta = 7.5 m²

1 Lug. marcado

2º andar com elevador

Poente ← Nascente

Cama 0,95x2,0 m
 Cama 1,5x2,0 m
 Mobília à escala não Incluída

Figura 41 - Fogo exemplo em betão armado, T3 1981, planta



Figura 42 - Fogo exemplo em betão armado, T3 1981, corte

6. IMPACTO ECONÓMICO

6.1 Apresentação

A determinação exata do custo de reabilitação para transição entre *Classes Acústicas LNEC* só pode ser feita individualmente, ou seja, para cada habitação. Isto significa determinar as alterações nos níveis físicos *Vizinhança*, *Edifício* e *Habitação*, os seus custos e a pontuação obtida.

Neste trabalho estuda-se não o custo exato, mas o custo médio de transição. Assim é determinado o custo das alterações que maior impacto têm na alteração da pontuação do método.

O nível físico *Habitação*, conforme se pode observar na *Tabela 15*, é o que tem maior impacto no cálculo de NAA. Consequentemente tem maior impacto na transição entre classes. Além disto, é também aquele que mais facilmente pode ser melhorado, pois as obras de reabilitação da *Vizinhança* e do *Edifício* são impossíveis ou impraticáveis.

Realizando a avaliação económica dos custos de reabilitação das componentes influenciadoras dos indicadores (elementos) do nível físico *Habitação* é possível a determinação representativa do custo médio de reabilitação necessário para transitar entre *Classes Acústicas LNEC*.

6.2 Custo de reabilitação por metro quadrado

No capítulo 5 foram apresentados os tipos de edifícios existentes em Portugal, as soluções construtivas utilizadas e feitas propostas para reabilitação acústica. Foi também apresentado um fogo exemplo de cada tipo, identificando as soluções construtivas existentes e propostas três soluções de reabilitação acústica: reabilitação mais económica, reabilitação boa acústicamente e reabilitação intermédia.

Com estes dados é possível estimar custos médios de reabilitação para uma dada área (m^2), contudo é necessário verificar que o aumento do custo médio de reabilitação é proporcional ao aumento da área da habitação. Como tal, para verificar que o aumento da tipologia, e consequentemente da área da habitação, tem uma relação direta com a área de elementos a reabilitar, efetuou-se uma análise das áreas (área em planta, área de elementos opacos, etc.) da habitação. Para tal, utilizou-se as áreas determinadas pelo RGEU (Regulamento Geral das Edificações Urbanas). Neste regulamento são estabelecidas medidas mínimas para cada tipologia habitacional: áreas mínimas em planta das divisões, pé-direito mínimo, área mínima de envidraçados, etc.

Agrupando a área total de elementos susceptíveis de reabilitação (paredes, pisos/tetos, envidraçados e portas) e comparando com a área em planta observa-se uma quase-linearidade entre a área em planta e a dos elementos (como observado no gráfico da *Figura 43*).

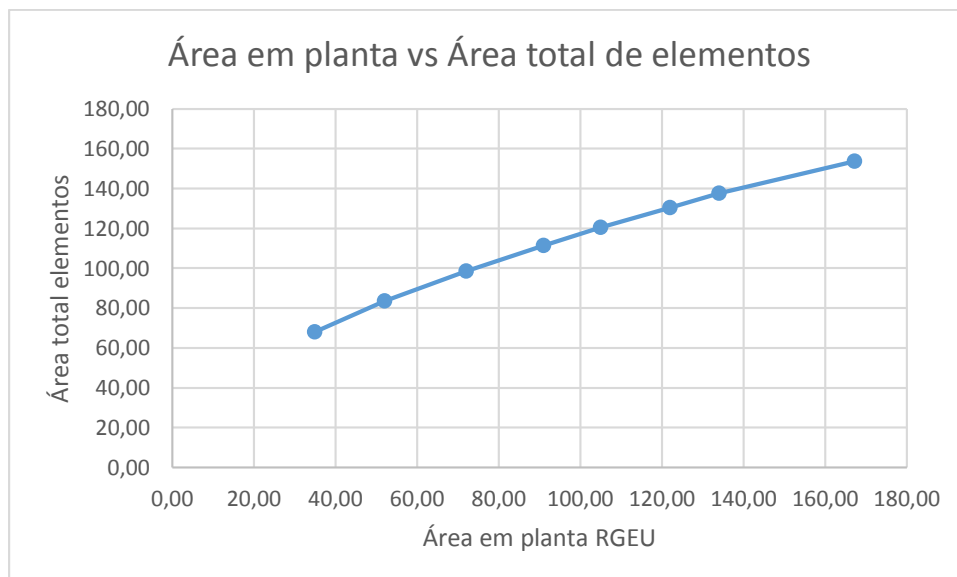


Figura 43 - Área em planta vs Área total de elementos

Esta característica permite admitir que o custo médio de reabilitação (€/m^2) de uma tipologia é proporcional ao custo médio de outra tipologia habitacional. Como tal pode-se obter um custo médio de reabilitação desde que se tenha em conta a relação entre a área em planta e área dos elementos. Pode-se assim projetar custos médios de reabilitação nas habitações.

6.3 Índices do Método LNEC

A determinação da passagem entre *Classes* LNEC, é feita com base na pontuação obtida no *Método LNEC*.

A pontuação do nível físico *Habitação* é obtida pelos valores dos índices analisados em cada um dos seus indicadores (elementos). Na *Tabela 43* são apresentados os índices analisados no nível físico *Habitação*. Destes, quatro referem-se a isolamento sonoro (para 7 locais de análise) e um é nível de avaliação do ruído de equipamentos.

| Índices no nível físico <i>Habitação</i> : |
|--|
| $D_{2m,nT,w}$ - (Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado) entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos. |
| $D_{nT,w}$ - (Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado) entre compartimentos de um fogo (emissão) e quartos ou zonas de estar de outro fogo (receção); $D_{nT,w}$ - (Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado) entre locais de circulação comum do edifício (emissão) e quartos ou zonas de estar dos fogos (receção); $D_{nT,w}$ - (Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado) entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão (emissão) e quartos ou zonas de estar dos fogos (receção). |
| $D_{nT,w}$ - (Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado) entre compartimentos de estar e dormir do fogo. |
| $L'_{nT,w}$ - (Índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado) no interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos (receção), proveniente de uma percussão normalizada exercida sobre pavimentos de outros fogos ou de locais de circulação comum (emissão); $L'_{nT,w}$ - (Índice de isolamento sonoro a sons de percussão, padronizado) no interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos (receção), proveniente de uma percussão normalizada exercida sobre pavimentos de locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão (emissão). |
| $L_{Ar,nT}$ - (Nível de avaliação) do ruído particular de equipamentos coletivos do edifício, tais como ascensores, grupos hidropressores, sistemas centralizados de ventilação mecânica, automatismos de portas de garagem, postos de transformação e escoamento de águas no interior dos quartos e zonas de estar dos fogos. |

Tabela 43 - Índices influenciadores da pontuação do nível físico *Habitação*

Para a determinação dos valores dos índices são aplicadas as seguintes equações:

Cálculo do índice $D_{2m,nT,w}$:

$$D_{2m,nT,w} = R_{w,total} - TM + 10\text{Log}\left(0,32\frac{V}{S}\right)[dB] \quad (13)$$

$$R_{w,total} = R_w + \Delta R_w$$

R_w = Redução da transmissão sonora [dB];

ΔR_w = Redução da transmissão sonora devido ao isolamento acústico [dB];

TM = Transmissão marginal [dB];

V = Volume do compartimento recetor [m^3];

S = Área da superfície divisória [m^2].

Cálculo do índice $D_{nT,w}$:

$$D_{nT,w} = R_{w,total} - TM + 10\text{Log}\left(0,32\frac{V}{S}\right)[dB] \quad (14)$$

$$R_{w,total} = R_w + \Delta R_w$$

R_w = Redução da transmissão sonora [dB];

ΔR_w = Redução da transmissão sonora devido ao isolamento acústico [dB];

TM = Transmissão marginal [dB];

V = Volume do compartimento recetor [m^3];

S = Área da superfície divisória [m^2].

Cálculo do índice $L'_{nT,w}$:

$$L'_{nT,w} = L_{n,w,eq} + TM + 10\text{Log}\left(0,32\frac{V}{S}\right)[dB] \quad (15)$$

$$L_{n,w,eq} = L_{n,w} - \Delta L_w$$

$L_{n,w}$ = Nível da transmissão sonora [dB];

ΔL_w = Nível de redução da transmissão sonora devido ao isolamento acústico [dB];

TM = Transmissão marginal [dB];

V = Volume do compartimento recetor [m^3];

S = Área da superfície divisória [m^2].

Cálculo do índice R_w de soluções heterogéneas:

$$R_w = 10\text{Log}\left(\frac{\sum S_i}{\sum (S_i \times (10^{-0,1R_{wi}}))}\right)[dB] \quad (16)$$

S_i = Área de cada elemento [m^2];

R_{wi} = Redução da transmissão sonora de cada elemento [dB].

6.4 Cálculos do Método LNEC para os fogos exemplo

Utilizando os fogos exemplo apresentados no capítulo 5, efetuou-se o cálculo dos índices NAA segundo o *Método LNEC*.

Para cada fogo exemplo é calculado o nível NAA (da construção existente e da construção após as três reabilitações sugeridas), a sua variação (Δ NAA) e os custos de reabilitação correspondentes. O cálculo completo destes dados está presente nas tabelas de cálculo do *Apêndice 56*, mas podem ser observados sucintamente na tabela abaixo.

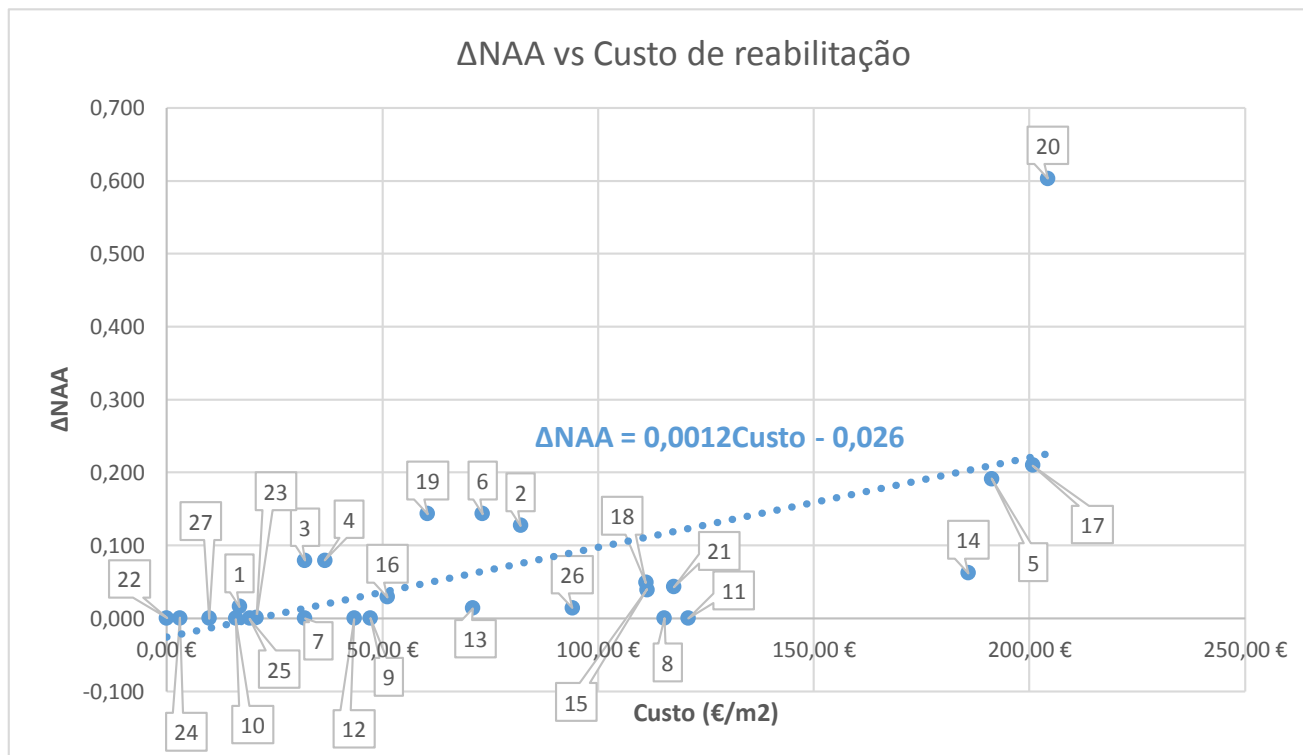
| Fogo exemplo: | | Δ NAA: | Custo reabilitação: |
|--|--------------------------------|---------------|------------------------|
| Fogo exemplo em cantaria de pedra | Reabilitação mais económica | 0,016 | 16,83€/m ² |
| | Reabilitação boa acusticamente | 0,127 | 82,04€/m ² |
| | Reabilitação intermédia | 0,079 | 32,03€/m ² |
| Fogo exemplo em alvenaria de pedra | Reabilitação mais económica | 0,079 | 36,67€/m ² |
| | Reabilitação boa acusticamente | 0,191 | 191,24€/m ² |
| | Reabilitação intermédia | 0,143 | 73,21€/m ² |
| Fogo exemplo em taipa | Reabilitação mais económica | 0,000 | 32,01€/m ² |
| | Reabilitação boa acusticamente | 0,000 | 115,35€/m ² |
| | Reabilitação intermédia | 0,000 | 47,21€/m ² |
| Fogo exemplo em adobe | Reabilitação mais económica | 0,000 | 15,99€/m ² |
| | Reabilitação boa acusticamente | 0,000 | 120,89€/m ² |
| | Reabilitação intermédia | 0,000 | 43,42€/m ² |
| Fogo exemplo pombalino | Reabilitação mais económica | 0,014 | 70,94€/m ² |
| | Reabilitação boa acusticamente | 0,062 | 185,82€/m ² |
| | Reabilitação intermédia | 0,039 | 111,38€/m ² |
| Fogo exemplo gaioleiro | Reabilitação mais económica | 0,029 | 51,13€/m ² |
| | Reabilitação boa acusticamente | 0,210 | 200,86€/m ² |
| | Reabilitação intermédia | 0,049 | 111,08€/m ² |
| Fogo exemplo de placa | Reabilitação mais económica | 0,143 | 60,48€/m ² |
| | Reabilitação boa acusticamente | 0,603 | 204,30€/m ² |
| | Reabilitação intermédia | 0,043 | 117,53€/m ² |
| Fogo exemplo em betão armado (moradia) | Reabilitação mais económica | 0,000 | 0,00€/m ² |
| | Reabilitação boa acusticamente | 0,001 | 20,72€/m ² |
| | Reabilitação intermédia | 0,000 | 3,04€/m ² |
| Fogo exemplo em betão armado (apartamento) | Reabilitação mais económica | 0,000 | 19,18€/m ² |
| | Reabilitação boa acusticamente | 0,012 | 94,01€/m ² |
| | Reabilitação intermédia | 0,000 | 9,82€/m ² |

Tabela 44 - Resumo de cálculos do Método LNEC aplicado aos fogos exemplo

Estes dados da *Tabela 44* permitem considerar a influência do custo médio de reabilitação nos resultados do *Método LNEC*.

6.5 Determinação do investimento para subir de classe

Para determinar a relação entre o investimento de reabilitação e a ascensão de classes é necessário analisar os resultados obtidos na aplicação do *Método LNEC* aos fogos exemplo. Observando a dispersão de resultados da relação ΔNAA vs *Custo de reabilitação* é possível identificar uma tendência de valores conforme observável na *Figura 44*.



| | | | | | |
|---|----------------------------------|----|----------------------------------|----|--|
| 1 | Ed. cantaria - Reab. mais eco. | 10 | Ed. adobe - Reab. mais eco. | 19 | Ed. placa - Reab. mais eco. |
| 2 | Ed. cantaria - Reab. boa acu. | 11 | Ed. adobe - Reab. boa acu. | 20 | Ed. placa - Reab. boa acu. |
| 3 | Ed. cantaria - Reab. Intermédia | 12 | Ed. adobe - Reab. Intermédia | 21 | Ed. placa - Reab. Intermédia |
| 4 | Ed. alvenaria - Reab. mais eco. | 13 | Ed. pombalino - Reab. mais eco. | 22 | Ed. recente moradia - Reab. mais eco. |
| 5 | Ed. alvenaria - Reab. boa acu. | 14 | Ed. pombalino - Reab. boa acu. | 23 | Ed. recente moradia - Reab. boa acu. |
| 6 | Ed. alvenaria - Reab. Intermédia | 15 | Ed. pombalino - Reab. Intermédia | 24 | Ed. recente moradia - Reab. Intermédia |
| 7 | Ed. taipa - Reab. mais eco. | 16 | Ed. gaioleiro - Reab. mais eco. | 25 | Ed. recente apartamento - Reab. mais eco. |
| 8 | Ed. taipa - Reab. boa acu. | 17 | Ed. gaioleiro - Reab. boa acu. | 26 | Ed. recente apartamento - Reab. boa acu. |
| 9 | Ed. taipa - Reab. Intermédia | 18 | Ed. gaioleiro - Reab. Intermédia | 27 | Ed. recente apartamento - Reab. Intermédia |

Figura 44 - ΔNAA vs Custo de reabilitação

A determinação da equação que reproduz a tendência observada é feita através de um método de regressão linear. Deste modo é possível obter a respetiva equação. A equação obtida por este método é a seguinte:

Variação do índice NAA devido ao custo de reabilitação:

$$\Delta NAA = 0,0012Custo - 0,026 \quad (17)$$

Em que:

Custo é o custo de reabilitação por metro quadrado [€/m²]

Pela inversão da *Equação 17* obtém-se o custo de reabilitação em função do aumento de NAA, conforme apresentado na *Equação 18*.

Custo de reabilitação em função de ΔNAA :

$$\text{Custo} = (\Delta NAA + 0,026) / 0,0012 \quad [€/m^2] \quad (18)$$

Sendo a variação de NAA a diferença entre o valor pretendido e o valor existente, então pode-se transformar a equação anterior na seguinte forma:

Custo de reabilitação em função do NAA pretendido:

$$\text{Custo} = ((NAA_{\text{pretendido}} - NAA_{\text{existente}}) + 0,026) / 0,0012 \quad [€/m^2] \quad (19)$$

Utilizando os valores limites das *Classes Acústicas LNEC* (cf. *Tabela 16*) e a equação do *Custo de reabilitação em função do NAA pretendido* (*Equação 19*) é possível determinar os custos necessários para ascender entre classes. Para facilitar este processo, faz-se uma simulação dos valores extremos de cada classe, analisando as hipóteses de pontuação inferior e superior do $NAA_{\text{existente}}$ e do $NAA_{\text{pretendido}}$. Esta simulação resulta no ábaco seguinte.

| | | Classe Acústica LNEC pretendida: | | | |
|---------------------------------|----------|----------------------------------|--|---|--|
| | | Classe D | Classe C | Classe B | Classe A |
| Classe Acústica LNEC existente: | Classe D | N/A | Mín.=21,67€/m ² Máx.=1271,67€/m ² | Mín.=438,33€/m ² Máx.=2105,00€/m ² | Mín.=1271,67€/m ² Máx.=2521,67€/m ² |
| | Classe C | Valor negativo | N/A | Mín.=21,67€/m ² Máx.=1271,67€/m ² | Mín.=855,00€/m ² Máx.=1688,33€/m ² |
| | Classe B | Valor negativo | Valor negativo | N/A | Mín.=21,67€/m ² Máx.=1271,67€/m ² |
| | Classe A | Valor negativo | Valor negativo | Valor negativo | N/A |

Tabela 45 - Possibilidades de variação de custos entre classes

7. CONCLUSÕES

7.1 Aspetos conclusivos

Conforme o descrito no capítulo *Introdução*, foi realizada uma análise do impacto económico associado à utilização do *Método LNEC* na reabilitação acústica de habitações. Esta análise consistiu na determinação e elaboração de dados que permitiram a criação de uma ferramenta determinadora de custos médios de reabilitação em função da transitar entre *Classes Acústicas LNEC* pretendida.

Para efetuar esta análise foram estudadas nove habitações exemplo dos tipos de construção existente em Portugal continental. Estes fogos exemplo de edifícios de cantaria de pedra, edifícios de alvenaria de pedra, edifícios de taipa, edifícios de adobe, edifícios pombalinos, edifícios gaioleiros, edifícios de placa e edifícios recentes em betão armado apresentam as características encontradas na maioria das habitações do parque habitacional.

Em cada fogo exemplo identificaram-se as soluções construtivas presentes e o seu desempenho acústico. Foram também propostas três soluções de reabilitação acústica para cada componente de paredes, vãos e pisos. Estas soluções de reabilitação (mais económica, boa acústicamente e intermédia) proporcionaram valores necessários para a determinação da variação dos parâmetros do *Método LNEC*, fornecendo também um custo real associado a esta variação.

Para as habitações exemplo calculou-se o *Nível de Avaliação Acústica* (NAA) da construção original e da construção após cada tipo de reabilitação. Na determinação de NAA optou-se pela fixação dos valores dos níveis físicos *Vizinhança* e *Edifício*, variando somente o nível físico *Habitação*. Isto deveu-se principalmente ao fato de a reabilitação acústica apresentada incidir somente na melhoria acústica dos elementos (paredes, vãos e pisos) do nível físico *Habitação*.

Para determinar o custo médio do investimento de reabilitação, foi necessário analisar a variação de NAA provocada por cada solução de reabilitação apresentada. Esta variação, (Δ NAA), conjugada com o custo de reabilitação por metro quadrado de área em planta, permitiu desenhar um gráfico de distribuição de Δ NAA vs Custo de reabilitação (ver **Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Com este gráfico foi possível identificar a tendência linear existente na variação de Δ NAA vs Custo de reabilitação. Tendência matematicamente definida pela *Equação 17*.

Pela inversão e expansão da *Equação 17*, foi possível obter a equação que fornece o custo de reabilitação em função do NAA_{pretendido} (*Equação 19*).

Analisando as várias hipóteses de NAA_{existente} e NAA_{pretendido} e respetivas classes acústicas, obteve-se os custos mínimos e máximos de reabilitação necessários para transitar entre classes do *Método LNEC*.

Estes limites são apresentados na forma de um ábaco (*Tabela 46*), permitindo assim uma fácil e rápida utilização.

| | | <i>Classe Acústica LNEC pretendida:</i> | | | |
|--|-----------------|---|--|---|--|
| | | Classe D | Classe C | Classe B | Classe A |
| <i>Classe Acústica LNEC existente:</i> | Classe D | – | Mín. = 21,67€/m ² Máx. = 1271,67€/m ² | Mín. = 438,42€/m ² Máx. = 2105,08€/m ² | Mín. = 1271,67€/m ² Máx. = 2521,67€/m ² |
| | Classe C | – | – | Mín. = 21,67€/m ² Máx. = 1271,67€/m ² | Mín. = 855,00€/m ² Máx. = 1688,33€/m ² |
| | Classe B | – | – | – | Mín. = 21,67€/m ² Máx. = 1271,67€/m ² |
| | Classe A | – | – | – | – |

Tabela 46 - Custos de transição entre Classes Acústicas LNEC

Pela escolha de uma *Classe Acústica LNEC existente* (linhas) e de uma *Classe Acústica LNEC pretendida* (colunas), obtém-se na sua intersecção os custos mínimos e máximos necessários para efetuar uma reabilitação com o fim de atingir uma classe específica. É de notar que os custos são por metro quadrado, ou seja o custo médio total da reabilitação (€) resulta da multiplicação do valor obtido no ábaco (€/m²) pela área bruta em planta (m²).

Tendo alcançado o objetivo proposto na *Introdução*, não significa que não possa haver trabalhos futuros que estudam este mesmo tema. Podem e devem haver, nem que seja a sua atualização com novos métodos de reabilitação e custos respetivos.

7.2 Propostas de trabalhos futuros

Nesta dissertação foram fornecidos custos médios de reabilitação, (do nível físico *Habituação*), para transição entre as *Classes D* a *A*. Deste modo está ausente a análise dos níveis físicos *Vizinhança* e *Edifício* e a análise para as subclasses da Classe *D*.

Em relação à análise do nível físico *Vizinhança*, sugere-se a identificação das variações dos elementos de avaliação deste nível físico. Especialmente o estudo da existência de mapas de ruído, da localização em zonas ruidosas e do nível de ruído ambiente.

Para o nível físico *Edifício* propõe-se a análise da qualidade acústica dos espaços e acessos comuns dos edifícios multifamiliares. Esta deve especialmente focar-se na identificação da existência de espaços comerciais ou diversão no edifício e da análise do tempo de reverberação nos espaços e acessos comuns, não esquecendo a análise de todos os elementos de avaliação deste nível físico. É proposta assim a análise dos custos de reabilitação desta componente e a sua influência na variação de NAA.

Em relação às subclasses da *Classe D*, sugere-se um trabalho semelhante ao efetuado ao longo da dissertação, de modo a apresentar uma projecção da variação de IAA consoante exemplos de reabilitação propostos. Deste modo seria possível obter um ábaco de estimação do custo de reabilitação consoante a subclasse existente e subclasse ou classe pretendida.

Por fim, para ajustar o ábaco obtido sugere-se um estudo mais aprofundado das arquiteturas existentes, da sua representatividade estatística e de outros materiais de reabilitação. Isto permitiria determinar custos de transição entre *Classes Acústicas LNEC* com valores mais precisos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ADENE – **Certificação Energética: Quanto custa?** [Em linha]. Lisboa: ADENE, 2013- [Consult. 23 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.adene.pt/quanto-custa>;
- [2] ADENE – **Estatísticas SCE (Março 2013)** [Em linha]. Lisboa: ADENE, 2013 [Consult. 24 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www2.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Informacao/Publicoemgeral/Paginas/Relatoriosintese.aspx>;
- [3] ADENE – **Pesquisa de Peritos Qualificados** [Base de dados em linha]. Lisboa: ADENE, 2007. [Consult. 23 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.adene.pt/sce/micro/peritos-qualificados?regiao=All&concelho=all&distrito=all&perito=&nome_completo=&op=Pesquisar&form_build_id=form-dWkCUr6msKZLfazwusp5VHNKrsZXk76gEOtX3rFc8zk&form_id=peritos_webservice_form>;
- [4] ADENE – **Relatório Síntese: Dezembro 2010** [Em linha]. Lisboa: ADENE, 2010 [Consult. 24 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www2.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Informacao/Publicoemgeral/Paginas/Relatoriosintese.aspx>;
- [5] ADENE – **Relatório Síntese: Dezembro 2012** [Em linha]. Lisboa: ADENE, 2012 [Consult. 24 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www2.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Informacao/Publicoemgeral/Paginas/Relatoriosintese.aspx>;
- [6] ADENE – **Relatório Síntese: Janeiro - Fevereiro (2009)** [Em linha]. Lisboa: ADENE, 2008 [Consult. 24 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www2.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Informacao/Publicoemgeral/Paginas/Relatoriosintese.aspx>;
- [7] ADENE – **Relatório Síntese: Janeiro 2012** [Em linha]. Lisboa: ADENE, 2012 [Consult. 24 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www2.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Informacao/Publicoemgeral/Paginas/Relatoriosintese.aspx>;
- [8] ADENE – **Relatório Síntese: Julho 2012** [Em linha]. Lisboa: ADENE, 2012 [Consult. 24 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www2.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Informacao/Publicoemgeral/Paginas/Relatoriosintese.aspx>;
- [9] ADENE – **Relatório Síntese: Junho 2008** [Em linha]. Lisboa: ADENE, 2008 [Consult. 24 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www2.adene.pt/pt-

- pt/SubPortais/SCE/Informacao/Publicoemgeral/Paginas/Relatoriosintese.aspx>;
- [10] ADENE – **Relatório Síntese: Setembro – Dezembro 2008** [Em linha]. Lisboa: ADENE, 2008 [Consult. 24 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www2.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Informacao/Publicoemgeral/Paginas/Relatoriosintese.aspx>;
- [11] ADENE – **Reporting do SCE: Distritos de Janeiro-Junho 2013** [Em linha]. Lisboa: ADENE, 2013 [Consult. 24 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www2.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/EdificiosCertificados/Documents/SCE_Distritos_%201%20semestre%202013.pdf>;
- [12] AGÊNCIA PARA O DESENVOLVIMENTO E COESÃO, I.P. - **A Avaliação do Desenvolvimento Socioeconómico, MANUAL TÉCNICO II: Métodos e Técnicas. Instrumentos de Enquadramento das Conclusões da Avaliação: Avaliação do Impacto Económico.** [Em linha]. Lisboa: ADEC. [Consult. 20 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB8QFjAAahUKEwj6tLq_2urGAhWHvBQKHxqEAQM&url=http%3A%2F%2Fwww.observatorio.pt%2Fdownload.php%3Fid%3D221&ei=U2-tVbq_CYf5UvqIhhg&usg=AFQjCNHWZSNbNSZGNSrq3yjC43qzXHJqig&bvm=bv.98197061,d.d24>;
- [13] ANDRADE, Hugo Miguel Castro – **Caracterização de edifícios antigos. "Edifícios Gaioleiros"** [Em linha]. Lisboa: FCT, 2011. Dissertação de Mestrado. Disponível em WWW:<URL:http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwi34rnP7rnJAhXDTBQKHeTNBMUQFggyMAM&url=http%3A%2F%2Frun.unl.pt%2Fbitstream%2F10362%2F6043%2F1%2FAndrade_2011.pdf&usg=AFQjCNGKBXsroG--kJNx Dz3N4RbKnZZ9Q>.
- [14] ANDRÉ, António – **Tecnologia de Edifícios: Acústica de Edifícios** ed. 2011 [Em linha]. Acessível em aandre@ualg.pt, Faro, Portugal.
- [15] APEMIP – **Catálogo Estudos de Mercado do I Trimestre de 2014** [Em linha]. Lisboa: APEMIP, 2014 [Consult. 24 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.apemip.pt/NL/GabDireccao/CatalogoEstudos28.pdf>;
- [16] ASSIMCONSTROI, Construções Lda. – **Custos de Construção - Circular.** 2009-04-03. Acessível na empresa Assimconstroi Construções Lda., Albufeira, Portugal;
- [17] BARKER, Andrew – **Greek Musical Writings: II, Harmonic and Acoustic Theory** [Em linha]. Cambridge: PRESS SYNDICATE OF THE UNIVERSITY OF CAMBRIDGE 2004. Disponível em WWW:<URL:https://books.google.pt/books?id=8xS_ky1OhqAC&pg

- =PA28&lpg=PA28&dq=acoustic+discoveries+of+Pythagoras+writings&source=bl&ots=wxYjONqUPn&sig=LAO_hi_qzA-TTYGgGc9ZaaN_MqE&hl=pt-PT&sa=X&ved=0CCwQ6AEwAWoVChMIw4DY37zWxwIVRlQUCh16wwU1#v=onepage&q=acoustic%20discoveries%20of%20Pythagoras%20writings&f=false>;
- [18] BARROCA, Mário Jorge – **Medidas-padrão medievais portuguesas**: Revista da Faculdade de Letras [Em linha]. Porto: UPORTO, (?). [Consult. 3 Dez. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://ler.letras.up.pt/uploads/ficheiros/2182.pdf>.
- [19] BORGES, Pedro – **Certificação Energética de Edifícios Existentes**: Estudo sobre a melhoria do desempenho térmico das paredes exteriores e respectiva análise técnico-económica [Em linha]. Porto: FEUP, Fev. 2009. [Consult. 20 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/57743/2/Texto%20integral.pdf>;
- [20] CARPINCASAIS – **Portas Acústicas ArchiwoodXXI®**: Folheto IMPCP.526.1. Braga: CARPINCASAIS, 2012. Consult. 03 Dez. 2015. Disponível em WWW:<URL:http://www.carpincasais.pt/documentos/201208241745551345826755_625.pdf>.
- [21] CARRAPA, Daniel – **Certificar é preciso** [Em linha]. Évora: A Barriga de Um Arquitecto, 4 Dez. 2013. [Consult. 23 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://abarrigadeumarquitecto.blogspot.pt/2013/12/certificar-e-preciso_4.html>;
- [22] CASA EM PORTUGAL – **Tendências do Mercado Imobiliário Português** [Em linha]. Lisboa: Policity - Mediação Imobiliária, S.A., 2014. [Consult. 24 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.casa-em-portugal.pt/conteudo/414605/29/tendencias-do-mercado-imobiliario-portugues>;
- [23] CASA NATURAL – **Produtos: Adobe de Barro - tijolo ecológico Classe 1B - refª 07.002 NF**. Descrição [Base de dados em linha]. Portugal, CASA NATURAL, 2015. Disponível em WWW:<URL:http://www.casa-natural.com/pt/adobe-barro-tijolo-ecologico-classe-1b-ref-07002-nf>;
- [24] CASA NATURAL – **Produtos: TERRA BATIDA - TAIPA DE PILÃO**. Descrição [Base de dados em linha]. Portugal, CASA NATURAL, 2015. Disponível em WWW:<URL:http://www.casa-natural.com/pt/terra-batida-taipa-pilao>;
- [25] CEHIMOSA – **Embalaje del terracota**: Base 20x20x1,5, características. [Base de dados em linha]. Espanha. [Consult. 22 Dez. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.cehimosa.com/terracota/embalaje.php>;

- [26] CERÂMICA TORREENSE – **Pesos específicos de Materiais** [Em linha]. Ramalhal: CERAMICATORREENSE.PT, 2006. Disponível em WWW:<URL: <http://www.ceramicatorreense.pt/media/uploads/cms/359/Etiqueta%20CE%20Tijolos.pdf>>.
- [27] COLIN, Sílvio – **Técnicas construtivas do período colonial** – I [Em linha]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.ceap.br/material/MAT02092011153107.pdf>>.
- [28] CONTRERAS, Andres Porta; FORGACH, Catalina E. Stern – **Fundamentals of Physics**, Vol. I Principles of Acoustics. [Em linha]. [Consult. 02 Ago. 2015]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.eolss.net/sample-chapters/c05/e6-06b-01-05.pdf>>;
- [29] COSTA, J. Almeida; MELO, A. Sampaio e – **Dicionário da Língua Portuguesa: Dicionários Editora**. 8ª ed. Porto: Porto Editora, 1999. ISBN 972-0-05001-2;
- [30] CYPE Ingenieros, S.A. – **Gerador de preços para construção civil: Portugal** [Em linha]. Espanha: CYPE, 2015. Disponível em WWW:<URL:<http://www.geradordeprecos.info/>>;
- [31] DGEG – **Boletim de Minas: Vol. 41 nº2** [Em linha]. Lisboa: DGEG, 2006 [Consult. 23 Dez. 2015]. Disponível em WWW:<URL:https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwip-6q2nPLJAhXHOB0KHQ0_CFgQFggkMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.dgeg.pt%2F%3Fcf1%3D4431&usg=AFQjCNFjZYPuNUsI8MSVgHd3Y3O4_JbQ7w>;
- [32] DOLABELLA, Ricardo – **Pesos específicos de Materiais** [Em linha]. Belo Horizonte (Brasil): RICARDODOLABELLA.COM, ?. Disponível em WWW:<URL:<http://www.ricardodolabella.com/downloads/pesospecificos.doc>>.
- [33] F. MARQUES DA SILVA S.A. – **Chapa de Aço Inox: Tabela de pesos teóricos** [Em linha]. Porto: FMS, 2015. Disponível em WWW:<URL:<http://www.fms.pt/Tabela10.html>>.
- [34] FERNANDES, João – **Acústica e Ruídos, Capítulo 7: A Acústica no Interior de Ambientes** [Em linha]. São Paulo, Brasil: FEB UNESP, 2007. Apostila disciplina de Acústica. Disponível em WWW:<URL:<http://wwwp.feb.unesp.br/jcandido/acustica/Apostila/Capitulo%2007.pdf>>.
- [35] FERRAGSIL - [01096] **Preço Tapits Elematic cx 100 unidades**. [Base de dados em linha]. Cantanhede: FERRAGSIL [Consult. 17 Ago. 2015]. Disponível em WWW:<URL: http://www.ferragsil.pt/contact_us.php>;
- [36] FERREIRA, Ana Rafaela Penedones Caixeiro – **Soluções Técnicas para Isolamento Sonoro de Edifícios de Habitação** [Em linha].

- Lisboa: IST, 2007. Dissertação de Mestrado. Disponível em WWW:<URL:https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137461900/dissertacao.pdf>.
- [37] FERREIRA, Anthony – [Apontamentos] **Conversa com Assimconstroi** [Manuscrito]. 2015. Acessível em anthonyferreira@outlook.com, Albufeira, Portugal;
- [38] FINSTRAL – **Catálogos e folhetos: Janelas** [Base de dados em linha]. Braga [Consult. Nov. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.finstral.com/web/pt/Contacto/Folhetos/Folhetos-principais-U1257436056959U.html>.
- [39] FREIRE, Pedro – **ANÁLISE EXPERIMENTAL DE UM MURETE DE ALVENARIA DE PEDRA TRADICIONAL REFORÇADO COM CONFINAMENTO TRANSVERSAL ANELAR POR FITAS METÁLICAS** [Em linha]. Lisboa: UNOVA, 2011. Dissertação de Mestrado. Disponível em WWW:<URL:http://run.unl.pt/bitstream/10362/6867/1/Freire_2011.pdf>.
- [40] GIL, Catarina - **O Sector da Construção em Portugal 2014, 1º semestre** [Em linha]. Lisboa: INCI, Nov. 2014. [Consult. 07 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.inci.pt/Portugues/inci/EstudosRelatoriosSectoriais/EstudosRelatorios%20Sectoriais/RelConst_2014_S1.pdf>;
- [41] GIL, Catarina – **Relatório Anual do Sector da Construção em Portugal - 2013** [Em linha]. Lisboa: INCI, Ago. 2014. [Consult. 21 Mai. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.base.gov.pt/mediaRep/inci/files/oop_docs/Rel_Anual_Constr_2013.pdf>;
- [42] INCI – **Certificado Energético não é obrigatório para a compra de casa: 09-01-2009 / Diário Económico** [Em linha]. Portugal: INCI, 2009. Disponível em WWW:<URL:http://www.inci.pt/Portugues/Noticias/Paginas/109012009062016.aspx>;
- [43] INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA – **Estatísticas da Construção e Habitação – 2013: Texto Integral da Publicação**, ed. 2014. Lisboa: INE, 2014. (Estatísticas Oficiais). Disponível em WWW:<URL:https://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=218940853&att_display=n&att_download=y>. ISSN 0377-2225.
- [44] INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA – **Estatísticas da Construção e Habitação – 2013: Quadros da Publicação**, ed. 2014. Lisboa: INE, 2014. (Estatísticas Oficiais). Disponível em WWW:<URL:https://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=218940853&att_display=n&att_download=y>. ISSN 0377-2225.

- [45] INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO, Grupo de Betão Armado e Pré-Esforçado – **Betão Armado e Pré-Esforçado II: Tabelas de Cálculo** ed. Fev. 1993. Lisboa: IST, 1993.
- [46] INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO, Grupo de Betão Armado e Pré-Esforçado – **Betão Armado e Pré-Esforçado I: Tabelas de Cálculo** ed. Fev. 1993. Lisboa: IST, 1993.
- [47] IPQ – **NP 405-1** Norma Portuguesa de Informação e Documentação. Referências Bibliográficas. Parte 1: Documentos Electrónicos [Em linha]. ed. Jan. 1995. Portugal: IPQ, 1995. Disponível em WWW:<URL:<http://www.fcsh.unl.pt/bibliotecas/normas/norma-portuguesa-de-informacao-e-documentacao.-referencias-bibliograficas.-parte-1/view>>;
- [48] IPQ – **NP 405-2** Norma Portuguesa de Informação e Documentação. Referências Bibliográficas. Parte 2: Materiais não livro [Em linha]. ed. Jan. 1998. Portugal: IPQ, 1998. Disponível em WWW:<URL:<http://www.fcsh.unl.pt/bibliotecas/normas/norma-portuguesa-de-informacao-e-documentacao.-referencias-bibliograficas.-parte-2/view>>;
- [49] IPQ – **NP 405-3** Norma Portuguesa de Informação e Documentação. Referências Bibliográficas. Parte 3: Documentos não publicados [Em linha]. ed. Fev. 2002. Portugal: IPQ, 2002. Disponível em WWW:<URL:<http://www.fcsh.unl.pt/bibliotecas/normas/norma-portuguesa-de-informacao-e-documentacao.-referencias-bibliograficas.-parte-3/view>>;
- [50] IPQ – **NP 405-4** Norma Portuguesa de Informação e Documentação. Referências Bibliográficas. Parte 4: Documentos Electrónicos [Em linha]. ed. Março 2003. Portugal: IPQ, 2003. Disponível em WWW:<URL:<http://www.fcsh.unl.pt/bibliotecas/normas/norma-portuguesa-de-informacao-e-documentacao.-referencias-bibliograficas.-parte-4-documentos-electronicos/view>>;
- [51] JONES, Paulo – **Paredes de Adobe: Técnicas** [Em linha]. Palmela: PAULO JONES, 2002. Disponível em WWW:<URL:<http://paulojones.com/tecnicas/adobe.htm>>.
- [52] JOSEPH, Ron – **Ask the Expert Question-and-Answer Archive: What is a paint density for interior latex paint?** [Em linha]. USA: PCRC, 2012. Disponível em WWW:<URL:<http://www.paintcenter.org/rj/sep06d.cfm>>;
- [53] LEROY MERLIN – **Bloco de porta BELGRADO AFIZÉLIA 65CM Ref.16654876**. Descrição [Base de dados em linha]. Portugal. [Consult. 23 Dez. 2015]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.leroymerlin.pt/Site/Produtos/Madeiras/Portas/Portas-de-interior/16654876.aspx>>;
- [54] LEROY MERLIN – **Janela de parede ALUMÍNIO 100X100CM Ref.15774241**. Descrição [Base de dados em linha]. Portugal. [Consult. 23 Dez. 2015]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.leroymerlin.pt/Site/Produtos/Madeiras/Jan>>

- elas/Janelas-de-parede/15774241_JANELA-ALU-100X100-CORRER-BR-M.aspx>;
- [55] LEROY MERLIN – **Pavimento laminado BASIC CARVALHO AC4. Ref.17357795.** Descrição [Base de dados em linha]. Portugal. [Consult. 27 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.leroymerlin.pt/Site/Produtos/Madeiras/Pavimento/Pavimento/17357795.aspx>;
- [56] LEROY MERLIN – **Placa isolamento XPS WALL 40MM. Ref.15776551.** Descrição [Base de dados em linha]. Portugal. [Consult. 08 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.leroymerlin.pt/Site/Produtos/Construcao/Isolamento-da-casa/Paredes-e-fachadas/15776551_PLACA-XPS-FIBRAN-WALL-2600X600X40MM.aspx>;
- [57] LEROY MERLIN – **Porta de entrada HITECH MOGNO 85CM Ref.16538186.** Descrição [Base de dados em linha]. Portugal. [Consult. 23 Dez. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.leroymerlin.pt/Site/Produtos/Madeiras/Portas/Portas-de-entrada/16538186.aspx>;
- [58] LEROY MERLIN – **Porta de entrada SEVILHA BRANCA 98CM Ref.16777201.** [Base de dados em linha]. Portugal. [Consult. 03 Dez. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.leroymerlin.pt/Site/Produtos/Madeiras/Portas/Portas-de-entrada/16777201.aspx>;
- [59] LEROY MERLIN – **Porta lisa CRU 65CM Ref.16511026.** [Base de dados em linha]. Portugal. [Consult. 03 Dez. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.leroymerlin.pt/Site/Produtos/Madeiras/Portas/Portas-de-interior/16511026.aspx>;
- [60] LEROY MERLIN – **Produtos: catálogo** [Base de dados em linha]. Portugal, LEROY MERLIN, 2015. Disponível em WWW:<URL:http://www.leroymerlin.pt/Site/Produtos.aspx>;
- [61] LNEC – **A gaiola como génese da construção anti-sísmica: INFORMAÇÕES DE INTERESSE GERAL** [Em linha]. Lisboa: NESDE, 2005. Disponível em WWW:<URL:http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/gaiol_const_sism.html>.
- [62] LOPES, Nuno – **Reabilitação de Caixilharias de Madeira em Edifícios do Século XIX e Início do Século XX: Do Restauro à Selecção Exigencial de uma Nova Caixilharia: o Estudo do Caso da Habitação Corrente Portuense** [Em linha]. Porto: FEUP, 2006. Dissertação de Mestrado. Disponível em WWW:<URL:https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12178/2/Texto%20integral.pdf>.
- [63] MAOTDR – **DECRETO-LEI n° 9/2007. Regulamento Geral do Ruído D.R. I Série. 12 (2007-01-17) 389-398** [Em linha]. Disponível em WWW:<URL:http://dre.pt/pdf1sdip/2007/01/01200/03890398.pdf>;

- [64] MAOTDR – **DECRETO-LEI nº 96/2008. Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios** D.R. I Série. 110 (2008-06-09) 3359-3372 [Em linha]. Disponível em WWW:<URL:http://dre.pt/pdf1sdir/2008/06/11000/0335903372.pdf>;
- [65] MARTINS, Bernardo Fino de Matos – **Avaliação de incomodidade provocada por ruído e vibração de baixa frequência em edifícios de habitação**. Lisboa: IST, 2009. 121f. Dissertação de mestrado. Disponível em WWW:<URL:https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/299718/1/Dissertacao.pdf>;
- [66] MARTINS, Pedro – **Reabilitação de Edifícios na Baixa do Porto: Análise de casos de obra** [Em linha]. Porto: ISEP, 2013. Disponível em WWW:<URL:http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCsQFjABahUKEwiF56PEh7XHAhXEKdsKHdV9DIM&url=http%3A%2F%2Frecipp.ipp.pt%2Fbitstream%2F10400.22%2F6316%2F1%2FDM_PedroMartins_2013_MEC.pdf&ei=qWrUVcXuHsTT7AbV-7mYBQ&usq=AFQjCNGaoNh-oEVSq3qxY78Gom_LwOlbiQ&bvm=bv.99804247,d.bGQ>;
- [67] MASCARENHAS, Jorge – **Sistemas de Construção - II Paredes: Descrição ilustrada e detalhada de processos construtivos utilizados correntemente em Portugal**. Lisboa: Livros Horizonte, Lda, 2002. ISBN 972-24-1221-3.
- [68] MATEUS, Diogo – **Acústica de Edifícios e Controlo de Ruído** [Em linha]. Coimbra: FCTUC, 2008. Dissertação de Mestrado. Disponível em WWW:<URL:http://paginas.fe.up.pt/~earpe/conteudos/ARE/Apontamentosdadisciplina.pdf>;
- [69] MELO, A. – **DESENVOLVIMENTOS RECENTES EM BLOCOS DE BETÃO LEVE**: Seminário sobre Paredes de Alvenaria, P.B. Lourenço & H. Sousa (Eds.), Porto, 2002. [Em linha]. Aveiro: PRAVILECA, 2002. Disponível em WWW:<URL:http://www.hms.civil.uminho.pt/events/alvenaria2002/Artigo%20Pag%20149-168.pdf>.
- [70] MENDES, Nuno, LOURENÇO, Paulo – **Redução da vulnerabilidade sísmica de edifícios antigos de alvenaria: Relatório de actividades** [Em linha]. Lisboa: FCT, 2008. Disponível em WWW:<URL:http://www.hms.civil.uminho.pt/arq/fich/2008_mendes_lourenco.pdf>;
- [71] MENDONÇA, Paulo – **Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados** [Em linha]. Guimarães: UMINHO, 2005. Tese de Doutoramento. Disponível em WWW:<URL:http://hdl.handle.net/1822/4250>.

- [72] MIRANDA, Frederico – **Caracterização dos edifícios Pombalinos da baixa de Lisboa** [Em linha]. Lisboa: FCT, 2011. Dissertação de Mestrado. Disponível em WWW:<URL:http://run.unl.pt/bitstream/10362/5964/1/Miranda_2011.pdf>;
- [73] MIRANDA, Lisandra – Definição e Avaliação de uma Calda para Consolidação de Alvenarias Antigas. Estudo Numérico da Vulnerabilidade Sísmica de um Edifício “Placa” [Em linha]. Lisboa: IST, 2014. Dissertação de Mestrado. Disponível em WWW:<URL:https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/563345090412648/Dissertacao_LM_EntregaFinal.pdf>;
- [74] NECA – **History of Sound** [Em linha]. [Consult. 2 Ago. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.electricalfacts.com/Neca/Science/sound/history.shtml>;
- [75] ORÇAMENTOS E ORÇAMENTAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL – **Ficha de rendimento - Laje aligeirada P3-38X16-21** [Em linha]. Portugal. [Consult. 27 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://orcamentos.eu/project/ficha-de-rendimento-laje-aligeirada-p3-38x16-21/>;
- [76] ORÇAMENTOS E ORÇAMENTAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL – **Ficha de rendimento - Mosaico com 30×30cm em pavimentos interiores** [Em linha]. Portugal. [Consult. 27 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://orcamentos.eu/project/mosaico-com-30x30cm-em-pavimentos-interiores/>;
- [77] ORÇAMENTOS E ORÇAMENTAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL – **Ficha de rendimento - Alvenaria dupla 30×20×11 + 30×20×11** [Em linha]. Portugal. [Consult. 27 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://orcamentos.eu/project/ficha-de-rendimento-de-alvenaria-dupla-30x20x11-30x20x11/>;
- [78] ORÇAMENTOS E ORÇAMENTAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL – **Ficha de rendimento - Alvenaria dupla 30×20×15 + 30×20×11** [Em linha]. Portugal. [Consult. 27 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://orcamentos.eu/project/ficha-de-rendimento-de-alvenaria-dupla-30x20x15-30x20x11/>;
- [79] ORÇAMENTOS E ORÇAMENTAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL – **Ficha de rendimento - Mosaico com 30×30cm em pavimentos interiores** [Em linha]. Portugal. [Consult. 27 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://orcamentos.eu/project/mosaico-com-30x30cm-em-pavimentos-interiores//>;
- [80] ORÇAMENTOS E ORÇAMENTAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL – **Ficha de rendimento - Lajes maciças em betão armado com 15cm** [Em linha]. Portugal. [Consult. 27 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://orcamentos.eu/project/ficha-de-rendimento-lajes-macicas-em-betao-armado-com-15cm/>;

- [81] ORÇAMENTOS E ORÇAMENTAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL – **Ficha de rendimento: Betonilha armada sarrafada interior com 8cm** [Em linha]. Portugal. [Consult. 27 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://orcamentos.eu/project/ficha-de-rendimento-betonilha-armada-sarrafada-interior-com-8cm/>;
- [82] ORÇAMENTOS E ORÇAMENTAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL – **Fichas de rendimento de demolições: Carpintarias: Pavimento 03.22.01.01** [Em linha]. Portugal. Disponível em WWW:<URL:http://orcamentos.eu/fichas-de-rendimento-de-demolicoes/>;
- [83] ORÇAMENTOS E ORÇAMENTAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL – **Tabela de preços Laserbuild e Bobrick** [Em linha]. Portugal. [Consult. 08 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://orcamentos.eu/project/tabela-de-precos-laderocha/>;
- [84] ORÇAMENTOS E ORÇAMENTAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL [Em linha]. Portugal. [Consult. 27 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://orcamentos.eu>;
- [85] PATRÍCIO, Jorge – **Acústica nos Edifícios** 6^a ed. LISBOA: Verlag Dashofer, 2010. 414 p. ISBN 978-972-890-655-9;
- [86] PATRÍCIO, Jorge – **Isolamento sonoro a sons aéreos e de percussão: Metodologias de caracterização**. Ed. 1999. Lisboa: LNEC, 1999. (ITE 45). ISBN 972-49-1823-8;
- [87] PATRÍCIO, Jorge – **Método LNEC para avaliação e classificação da qualidade acústica de edifícios habitacionais** 1^a ed. LISBOA: LNEC, 2013. (NS 125). ISBN 978-972-49-2253-9;
- [88] PENA, André – **Análise do comportamento sísmico de um edifício pombalino**. Lisboa: IST, 2008. Disponível em WWW:<URL:https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137770469/Dissertacao.pdf>;
- [89] PENAS, Filipa – **Argamassas de Cal Hidráulica para Revestimentos de Paredes** [Em linha]. Lisboa: IST, 2008. Dissertação de Mestrado. Disponível em WWW:<URL:https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137852444/dissertacao.pdf>.
- [90] PERSONALMED – **Pesquisa avançada [de imóveis]: Planta Promocional; Esquema de Prédio**. [Base de dados em linha]. Lisboa. [Consult. Dez. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.personalmed.pt/pt/default.htm>;
- [91] PIERCE, Allan D. – **The Wave Theory of Sound**, Exerpts from Chapter 1 of *Acoustics: An Introduction to Its Physical Principles and Applications* [Em linha]. USA: ASA [?]. Disponível em WWW:<URL:http://asa.aip.org/pierce.html>;
- [92] PINE FOREST – **Menu de espécies: Características** [Base de dados em linha]. Disponível em WWW:<URL:http://www.pineforest.pt/materia.swf>;

- [93] PLADUR – **Selector de Sistemas: Trasdoados Pladur** [Base de dados em linha]. Madrid: PLADUR. Disponível em WWW:<URL:http://www.yesosibericos.com/selectorsistemas/SolucionesConstructivas.aspx>;
- [94] PÚBLICO IMOBILIÁRIO – **ADENE tem 3.000 registos de certificação energética iniciados** [Em linha]. Lisboa: Público Comunicação Social S.A. ed. Quarta-feira 18 Junho 2008, pág. 8. [Consult. 23 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://static.publico.pt/Homepage/Includes/Imobiliario/imob/web20080618Imobiliario_Lisboa.pdf>;
- [95] REIS, Maria João Monteiro – **Inspecção e Proposta de Reabilitação de um Edifício de Alvenaria de Pedra** [Em linha]. Porto: FEUP, 2011. Dissertação de Mestrado. Disponível em WWW:<URL:https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/65327/1/000149554.pdf>.
- [96] REPÚBLICA PORTUGUESA, Ministério da Administração Interna; Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações; Ministério do Ambiente; Ministério do Desenvolvimento do Território e do Desenvolvimento Regional; Ministério da Economia e da Inovação - **Portaria n.º 461/2007, de 5 de Junho**. Diário da República, 2ª série — N.º 108 – 5 de Junho de 2007, Pág. 15378. [Em linha]. Lisboa: Diário da República, 2007. Disponível em WWW:<URL:http://dre.tretas.org/dre/213530/>;
- [97] REPÚBLICA PORTUGUESA, Ministério da Economia e da Inovação - **Decreto Lei 78/2006, de 4 de Abril**. Diário da República, 1ª série A — N.º 67 – 4 de Abril de 2006, Pág. 2411. [Em linha]. Lisboa: Diário da República, 2006. Disponível em WWW:<URL:http://dre.tretas.org/dre/196703/>;
- [98] ROBBIALAC – **Esmalte aquoso 100% acrílico para paredes ACRILSMALTE MATE 068- : Ficha técnica** [Em linha]. São João da Talha: ROBBIALAC, 2013. Disponível em WWW:<URL:http://www.robbialac.pt/media/100732/068-__13-1-Acrilsmalte-Mate.pdf>;
- [99] ROBBIALAC – **Primário Aquoso de Hydro Pliolite® para Interior e Exterior HydroViplite V20-0005: Ficha técnica** [Em linha]. São João da Talha: ROBBIALAC, 2011. Disponível em WWW:<URL:http://www.robbialac.pt/media/100870/V20-0005__11-4-Hydroviplite.pdf>;
- [100] ROCTERM – **PN70 PK70 PA70. Ficha Técnica** [Em linha]. Portugal. [Consult. 08 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://portal.termolan.pt/termolan/UserFiles/Downloads/fichas_tecnicas/PN70_pt.pdf>;
- [101] ROPRE S.A. – **Certificados Boltherm: Isolamento Acústico, certificados e características técnicas**, ed. 2009-2009 [Em linha]. Covilhã: ROPRE, 2009 [Consult. 17 Ago. 2015]. Disponível em

- WWW:<URL:http://www.boltherm.com/En/catalogos/cert_acustico/cert_acustico.html>;
- [102] SANTOS, Diogo André de Oliveira Martins – **Processos de construção na reabilitação estrutural de edifícios antigos** [Em linha]. Lisboa: ISEL, 2013. Dissertação de Mestrado. Disponível em WWW:<http://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/2381/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>.
- [103] SIPER – **Tabelas de preços, Painéis e membranas para isolamento acústico** [Em linha]. Portugal: SIPER, Fev. 2012. [Consult. 08 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.siper.pt/tabelas/danosaacu.pdf>;
- [104] SOARES, Elisabete – **Certificado energético não é obrigatório para compra de casa**, Diário Económico [Em linha]. Lisboa: INCI, Jan. 2009. [Consult. 22 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.inci.pt/Portugues/Noticias/Paginas/109012009062016.aspx>;
- [105] SOTECNISOL – **Preços de venda Boltherm**, ed. 13 Fe. 2014. [Em linha]. Camarate: SOTECNISOL, 2014 [Consult. 17 Ago. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://www.sotecnisol.pt/resources/777f40511b178afb7f9e2c1a7a9e55af/tabelas_de_preco/isolamento_termico_e_acustico_-_boltherm1.pdf>;
- [106] SPA – **Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos** [Em linha]. Lisboa: SPA, 2008. [Consult. 11 Dez. 2015]. Disponível em WWW:<URL:https://www.spautores.pt/assets_live/165/codigododireitodeautorcdadclei162008.pdf>;
- [107] TRINDADE, Vanda – **Construção tradicional do Algarve, caracterização construtiva, análise de anomalias e proposta de intervenção** [Em linha]. Lisboa: FCT, 2008. Dissertação de Mestrado. Disponível em WWW:<URL:http://run.unl.pt/bitstream/10362/5080/1/Trindade_2008.pdf >.
- [108] UEEP; EUROGYPSUM – **Clasificación de los diferentes niveles de calidad en el acabado de superficies: Sistemas de Entramado Autoportante con Placa de Yeso Laminado** [Em linha]. Espanha: UEEP et EUROGYPSUM, ?. [Consult. 05 Jan. 2016]. Disponível em WWW:<URL:http://www.eurogypsum.org/wp-content/uploads/2015/04/EUROGYPSUMFINSHINGES.pdf >.
- [109] VICAIMA – **Porta Acústica 32dB: Características** [Em linha]. Disponível em WWW:<URL:http://www.vicaima.com/pt/portas-acusticas/20-acustico-32db>;
- [110] WALLMATE – **Preços Wallmate, Roofmate e Floormate** [Em linha]. Portugal. [Consult. 08 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:http://wallmate.materiaisdeconstrucao.org/precowallmate.php>;

- [111] WIKIPÉDIA – **Lista de mortes incomuns** [Em linha]. [Consult. 2 Ago. 2015]. Disponível em WWW:<URL:https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_mortes_incomuns>;
- [112] WILLIAMS, Keller – **Emissão de certificados energéticos a subir**. kw Business [Em linha]. Grupo Business. Portugal: Grupo Business, 24 Nov. 2014. [Consult. 07 Jul. 2015]. Disponível em WWW:<URL:https://mediacaoimobiliaria.wordpress.com/tag/certificado-energetico/>;
- [113] WILLIS, Robert – **On the construction of the vaults of the Middle Ages**. [Em linha]. Londres: The Royal Institute of British Architects, 1910. Disponível em WWW:<URL:https://archive.org/details/cu31924015335445>.

APÊNDICES

Como apêndices, são apresentados elementos auxiliares, como cálculos pormenorizados e dados complementares. Os custos apresentados não incluem o impacto da vida útil das reabilitações. Estes custos, na sua maioria foram coligidos e calculados a partir de várias bases de dados (*Base de dados CYPE, Base de dados Orçamentos.EU, Fabricantes, etc.*) para os anos 2014 e 2015. Estes valores apresentam a fiabilidade das respetivas bases de dados. Como tal cada valor pode sofrer alterações consoante o mercado.

Apêndice 1. Parede de tabique

a. Parede de tabique de espessura 0,12cm:

i. Tábuas em Casquinha (*Pinus silvestris L.*) com 20mm espessura, largura 22cm e comprimento variável colocadas na vertical e com espaçamento de 6cm:

1. Densidade de 500 a 540kg/m³ cf. [92]).

ii. Ripas de Casquinha com 24×24mm colocadas na horizontal:

1. Densidade de 500 a 540kg/m³ cf.[92]).

iii. Taipa composta por mistura de argila de construção com cascalho de tamanho misto de 0 a 16 milímetros (tamanho de cascalho da terra é no máximo de 22mm) (cf. [24]):

1. Densidade a seco = 2300kg/m³ ($\lambda=1,5\text{W/mK}$, $\mu=5/10$);

2. Resistência à compressão 2,0N/mm²;

3. Encolhimento natural 0,5%.

iv. Reboco de argamassa de cal hidráulica com 2cm espessura:

1. Densidade endurecida = 1720kg/m³ (cf. [89], pág 53)

b. Massa superficial da parede:

i. Parede sem reboco:

1. Tábuas verticais de Casquinha; $m = (4,5 \times 0,02 \times 0,22 \times 1) \times 500\text{kg/m}^3 = 9,9\text{kg}$;

2. Ripas horizontais de Casquinha; $m = (20 \times 0,024 \times 0,024 \times 1) \times 500\text{kg/m}^3 = 5,76\text{kg}$;

3. Taipa; $m = [0,08 \times 1 \times 1 - (4,5 \times 0,02 \times 0,22 \times 1) - (20 \times 0,024 \times 0,024 \times 1)] \times 2300\text{kg/m}^3 = 111,96\text{kg}$;

4. Densidade = $(9,9 + 5,76 + 111,96) / (0,08 \times 1 \times 1) = 1595,25 \approx 1595\text{kg/m}^3$;

5. $m = 0,08 \times 1595 = 127,6\text{kg/m}^2$.

ii. Reboco:

1. $m = 2 \times 0,02 \times 1720 = 68,8\text{kg/m}^2$;

iii. Massa total = $127,6 + 68,8 = 196,4 \approx 196\text{kg/m}^2$.

c. Redução da transmissão sonora:

i. Redução da transmissão sonora do pano de parede (196kg/m²), $R_w = 45\text{dB}$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]).

Apêndice 2. Parede de madeira

- a.** Parede de madeira composta por estrutura de barrotes 6×8cm forrada de ambos os lados por tábuas em Casquinha (*Pinus silvestris* L.) com 20mm espessura, largura 22cm e comprimento variável.
- b.** Massa dos elementos onde se transmite a percussão:
 - i. Casquinha branca; densidade 500 a 540kg/m³ (cf. [92]):
 - 1. $m = 0,03m \times 500\text{kg/m}^3 = 15\text{kg/m}^2$;
 - 2. Nota: é considerada a parte mais esbelta do soalho, ou seja secções sem barrotes.
- c.** Massa superficial da parede:
 - i. Casquinha branca; densidade 500 a 540kg/m³ (cf. [92]);
 - ii. Tábuas em Casquinha; $m = 0,02m \times 500\text{kg/m}^3 = 10\text{kg/m}^2$;
 - iii. Massa superficial do primeiro pano = 10kg/m²;
 - iv. Massa superficial do segundo pano = 10kg/m²;
 - v. Nota: é considerada a parte mais esbelta, ou seja secções sem barrotes.
- d.** Redução da transmissão sonora:
 - i. Redução da transmissão sonora do primeiro pano (10kg/m²), $R_w = 25\text{dB}$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]);
 - ii. Redução da transmissão sonora do pano adicional imaginário (10kg/m²), $\Delta R_w = 7\text{dB}$ (cf. Fig. 2.8 de Patrício [86]);
 - iii. $R_w \text{ total} = 25 + 7 = 32\text{dB}$.

Apêndice 3. Parede de taipa

a. Parede em taipa de 0,5m de espessura e reboco exterior e interior de argamassa de cal com 2cm de espessura cada.

i. Taipa composta por: mistura de argila de construção com cascalho de tamanho misto de 0 a 16 milímetros (tamanho de cascalho da terra é no máximo de 22mm) (cf. [24]):

1. Densidade a seco = 2300kg/m^3 ($\lambda=1,5\text{W/mK}$, $\mu=5/10$);
2. Resistência à compressão $2,0\text{N/mm}^2$;
3. Encolhimento natural 0,5%.

ii. Reboco de argamassa de cal hidráulica com 2cm espessura:

1. Densidade endurecida = 1720kg/m^3 (cf. [89], pág 53).

b. Massa superficial do pano de parede:

- i. Taipa; $m = 0,50\text{m} \times 2300\text{kg/m}^3 = 1150\text{kg/m}^2$;
- ii. Reboco de argamassa de cal hidráulica; $m = 0,02\text{m} \times 1720\text{kg/m}^3 = 34,4\text{kg/m}^2$;
- iii. Massa superficial total = $34,4 + 1150 + 34,4 = 1218,8 \approx 1219\text{kg/m}^2$.

c. Redução da transmissão sonora:

- i. Nota: de modo a poder utilizar a amplitude de massas do método simplificado é dividida a parede em dois panos imaginários, o primeiro com 800kg/m^2 e o outro com 419kg/m^2 ;
- ii. Redução da transmissão sonora do primeiro pano imaginário (800kg/m^2), $R_w = 57,5\text{dB}$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]);
- iii. Redução da transmissão sonora do pano adicional imaginário (419kg/m^2), $\Delta R_w = 5,3\text{dB}$ (cf. Fig. 2.8 de Patrício [86]);
- iv. R_w total = $57,5 + 5,3 = 62,8 \approx 63\text{dB}$.

Apêndice 4. Parede de adobe

a. Parede de tijolos de adobe com 35cm de espessura (cf. [51]) e reboco exterior e interior de argamassa de cal com 2cm de espessura cada:

i. Adobe: tijolos de barro cru (formato normal: espessura 11,5cm, largura 11,5cm e comprimento 24cm) dispostos alternadamente com juntas horizontais de 1,5cm em argamassa de cal hidráulica:

1. Tijolo de barro cru, 50 un/m²; $m = 1800\text{kg/m}^3$ (cf. [23]);
2. Argamassa de cal hidráulica, 20 juntas de 1,5cm por 1m de comprimento; $m = 1720\text{kg/m}^3$ (cf. [89], pág 53).

ii. Reboco de argamassa de cal hidráulica com 2cm espessura:

1. Densidade endurecida = 1720kg/m^3 (cf. [89], pág 53).

b. Massa superficial do pano de parede:

i. Parede de adobe:

1. Tijolos adobe; $m = 0,35\text{m} \times 1800\text{kg/m}^3 = 630\text{kg/m}^2$;
2. Percentagem de adobe por metro quadrado de parede = $100 \times (0,115 \times 1 \times 7) / 1 = 80,5\%$;
3. Juntas de argamassa de cal hidráulica; $m = 0,35\text{m} \times 1720\text{kg/m}^3 = 602\text{kg/m}^2$;
4. Percentagem de juntas por metro quadrado de parede = $100 \times (0,015 \times 1 \times 13) / 1 = 19,5\%$.

ii. Reboco de argamassa de cal hidráulica; $m = 0,02\text{m} \times 1720\text{kg/m}^3 = 34,4\text{kg/m}^2$ (cf. [89], pág 53);

iii. Massa superficial total = $(0,805 \times 630 + 0,115 \times 602) + 34,4 = 576,38 + 34,4 = 610,78 \approx 611\text{kg/m}^2$.

c. Redução da transmissão sonora:

i. Redução da transmissão sonora do pano de parede (611kg/m^2), $R_w = 56\text{dB}$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]).

Apêndice 5. Parede de fachada/empena/saguão edifício pombalino

a. Parede mista de alvenaria de pedra aparelhada (pedra calcária e argamassa de cal aérea) solidarizada a uma estrutura de madeira (gaiola em cruz de Santo André) preenchida com alvenaria. A parede está rebocada e pintada.

i. Alvenaria de pedra calcária espessura 0,50m:

1. Densidade = 1758kg/m^3 (cf. [39] Pág. 137).

ii. Gaiola em cruz de Santo André:

1. Barrotes em Casquinha (*Pinus silvestris* L.) com secção $0,15 \times 0,10\text{m}$ (cf. [61]); .); densidade 500 a 540kg/m^3 (cf. [92]);

2. Quantidade = $0,01\text{m}^3$ por m^2 de parede (cf. Pag. 4-23 [71]).

iii. Enchimento da cruz de Santo André:

1. Entulho; densidade = 1700kg/m^3 (cf. [32]).

iv. Reboco de argamassa de cal hidráulica com 2cm espessura:

1. Densidade endurecida = 1720kg/m^3 (cf. [89], pág 53).

b. Massa superficial da parede:

i. Alvenaria de pedra calcária; $m = 0,50\text{m} \times 1758\text{kg/m}^3 = 879\text{kg/m}^2$;

ii. Gaiola de madeira; $m = 0,01 \times 500\text{kg/m}^3 = 5\text{kg/m}^2$;

iii. Enchimento da cruz de Santo André; $m = ((0,015 \times 1) - 0,01) \times 1700\text{kg/m}^3 = 8,5\text{kg/m}^2$;

iv. Reboco (total do interior e exterior); $m = 2 \times 0,02 \times 1720\text{kg/m}^3 = 68,8\text{kg/m}^2$;

v. Massa total = $879 + 5 + 8,5 + 68,8 = 961,3 \approx 961\text{kg/m}^2$.

c. Redução da transmissão sonora:

i. Redução da transmissão sonora do pano de parede (800kg/m^2), $R_w = 60\text{dB}$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]).

Apêndice 6. Parede de frontal edifício pombalino

a. Parede mista de estrutura de madeira (gaiola em cruz de Santo André) preenchida com alvenaria e rebocada com argamassa de cal aérea:

i. Gaiola em cruz de Santo André:

1. Barrotes em Casquinha (*Pinus silvestris* L.) com secção $0,15 \times 0,10$ m (cf. [61]); .); densidade 500 a 540 kg/m^3 (cf. [92]);
2. Quantidade = $0,01 \text{ m}^3$ por m^2 de parede (cf. Pag. 4-23 [71]).

ii. Enchimento da cruz de Santo André:

1. Entulho; densidade = 1700 kg/m^3 (cf. [32]).

iii. Reboco de argamassa de cal hidráulica com 2cm espessura:

1. Densidade endurecida = 1720 kg/m^3 (cf. [89], pág 53).

b. Massa superficial da parede:

- i. Gaiola de madeira; $m = 0,01 \times 500 \text{ kg/m}^3 = 5 \text{ kg/m}^2$;
- ii. Enchimento da cruz de Santo André; $m = ((0,015 \times 1) - 0,01) \times 1700 \text{ kg/m}^3 = 8,5 \text{ kg/m}^2$;
- iii. Reboco (total do interior e exterior); $m = 2 \times 0,02 \times 1720 \text{ kg/m}^3 = 68,8 \text{ kg/m}^2$;
- iv. Massa total = $5 + 8,5 + 68,8 = 82,3 \approx 82 \text{ kg/m}^2$.

c. Redução da transmissão sonora:

- i. Redução da transmissão sonora do pano de parede (82 kg/m^2), $R_w = 37 \text{ dB}$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]).

Apêndice 7. Parede de fachada principal de edifício gaioleiro

a. Parede de alvenaria de pedra aparelhada (pedra calcária e argamassa de cal aérea) com espessura de 0,50m, com 2cm de reboco de argamassa de cal:

i. Alvenaria de pedra calcária espessura 0,50m:

1. Densidade = 1758kg/m^3 (cf. [39] Pág. 137);

ii. Reboco de argamassa de cal hidráulica:

1. Densidade endurecida = 1720kg/m^3 (cf. [89], pág 53)

b. Massa superficial da parede:

i. Alvenaria de pedra calcária; $m = 0,50\text{m} \times 1758\text{kg/m}^3 = 879\text{kg/m}^2$;

ii. Reboco (total do interior e exterior); $m = 2 \times 0,02 \times 1720\text{kg/m}^3 = 68,8\text{kg/m}^2$;

iii. Massa total = $879 + 68,8 = 947,8 \approx 961\text{kg/m}^2$.

c. Redução da transmissão sonora:

i. Redução da transmissão sonora do pano de parede (800kg/m^2), $R_w = 60\text{dB}$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]).

Apêndice 8. Parede de fachada de tardez de edifício gaioleiro

a. Parede de alvenaria de tijolo maciço ($22 \times 11 \times 7\text{cm}$) assentes por argamassa de areia amarela e cal aérea (traço 1:2) com juntas de 2cm. Reboco interior e exteriormente com camada de 2cm:

i. Tijolo maciço:

1. Densidade = 2030kg/m^3 (cf. [26]).

ii. Argamassa de assentamento de cal hidráulica:

1. Densidade endurecida = 1720kg/m^3 (cf. [89], pág 53).

iii. Reboco de argamassa de cal aérea:

1. Densidade endurecida = 1700kg/m^3 (cf. [32]).

b. Massa superficial da parede:

i. Alvenaria de tijolo; densidade equivalente = $((0,22 \times 0,11 \times 0,07 \times 2030) + (0,22 \times 0,11 \times 0,02 \times 1720)) / (0,22 \times 0,11 \times 0,09) = 1961,1(1)\text{kg/m}^3 \approx 1961\text{kg/m}^3$; $m = 0,11 \times 1961 = 215,71\text{kg/m}^2$;

ii. Reboco (total do interior e exterior); $m = 2 \times 0,02 \times 1720\text{kg/m}^3 = 68,8\text{kg/m}^2$;

iii. Massa total = $215,71 + 68,8 = 284,61 \approx 285\text{kg/m}^2$.

c. Redução da transmissão sonora:

i. Redução da transmissão sonora do pano de parede (285kg/m^2), $R_w = 48\text{dB}$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]).

Apêndice 9. Parede de empena/meeira de edifício gaioleiro

a. Parede de 0,40m de alvenaria de tijolo maciço (22×11×7cm) assentes por argamassa de areia amarela e cal aérea (traço 1:2) com juntas de 2cm. Reboco em cada edifício com camada de 2cm. Esta parede é partilhada pelos dois edifícios

i. Tijolo maciço:

1. Densidade = 2030kg/m³ (cf. [26]).

ii. Argamassa de assentamento de cal hidráulica:

1. Densidade endurecida = 1720kg/m³ (cf. [89], pág 53).

iii. Reboco de argamassa de cal aérea:

1. Densidade endurecida = 1700kg/m³ (cf. [32]);

b. Massa superficial da parede:

i. Alvenaria de tijolo; densidade equivalente = $((0,22 \times 0,11 \times 0,07 \times 2030) + (0,22 \times 0,11 \times 0,02 \times 1720)) / (0,22 \times 0,11 \times 0,09) = 1961,1(1)\text{kg/m}^3 \approx 1961\text{kg/m}^3$; $m = 0,40 \times 1961 = 784,4\text{kg/m}^2$;

ii. Reboco (total, um em cada edifício); $m = 2 \times 0,02 \times 1720\text{kg/m}^3 = 68,8\text{kg/m}^2$;

iii. Massa total = $784,4 + 68,8 = 853,2 \approx 853\text{kg/m}^2$.

c. Redução da transmissão sonora:

i. Redução da transmissão sonora do pano de parede (800kg/m²), $R_w = 60\text{dB}$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]).

Apêndice 10. Parede de frontal de edifício gaioleiro

a. Parede mista de estrutura de madeira (gaiola em cruz de Santo André) preenchida com alvenaria e rebocada com argamassa de cal aérea.

i. Gaiola em cruz de Santo André:

1. Barrotes em Casquinha (*Pinus silvestris* L.) com secção $0,15 \times 0,10\text{m}$ (cf. [61]); .); densidade 500 a 540kg/m^3 (cf. [92]);
2. Quantidade = $0,01\text{m}^3$ por m^2 de parede (cf. Pag. 4-23 [71]).
3. Devido a não haverem os elementos diagonais utiliza-se somente $0,60$ da quantidade; $P = \text{Elementos que ficam} / \text{Elementos totais} = 4 \times 1 / (4 \times 1 + 2\sqrt{2}) \approx 0,59 \approx 0,60$;
4. Quantidade (ed. Gaioleiros) = $0,60 \times 0,01 = 0,006\text{m}^3$ por m^2 de parede;

ii. Enchimento da cruz de Santo André:

1. Entulho; densidade = 1700kg/m^3 (cf. [32]).

iii. Reboco de argamassa de cal hidráulica com 2cm espessura:

1. Densidade endurecida = 1720kg/m^3 (cf. [89], pág 53).

b. Massa superficial da parede:

- i. Gaiola de madeira; $m = 0,006 \times 500\text{kg/m}^3 = 0,03\text{kg/m}^2$;
- ii. Enchimento da gaiola; $m = ((0,015 \times 1) - 0,006) \times 1700\text{kg/m}^3 = 15,3\text{kg/m}^2$;
- iii. Reboco (total do interior e exterior); $m = 2 \times 0,02 \times 1720\text{kg/m}^3 = 68,8\text{kg/m}^2$;
- iv. Massa total = $0,03 + 15,3 + 68,8 = 84,13 \approx 84\text{kg/m}^2$.

c. Redução da transmissão sonora:

- i. Redução da transmissão sonora do pano de parede (84kg/m^2), $R_w = 37,5\text{dB}$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]).

Apêndice 11. Parede de blocos ed. de placa

a. Parede dupla de blocos $50 \times 15 \times 20\text{cm}$, sem caixa-de-ar, com espessura de $0,30\text{m}$ e reboco de 2cm de espessura em cada face.

b. Redução da transmissão sonora:

- i. Pano único de bloco $50 \times 15 \times 20\text{cm}$; $R_w = 44\text{dB}$ (cf. Quadro 4 [69]);
- ii. Duplicação da massa da parede; $\Delta R_w = 7\text{dB}$; (cf. Fig. 2.8 de Patrício [86]);
- iii. R_w total = $44 + 7 = 51\text{dB}$.

Apêndice 12. Parede tijolo 11

a. Parede de alvenaria de tijolo furado 11cm de espessura, juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de estuque projetado, incluindo barramento em massa fina, reforço com rede de fibra de vidro 5×5mm (75g/m²) na transição betão/alvenaria e perfis cobrecantos em PVC reforçado com rede de fibra de vidro.

i. Tijolo furado 11; m = 1200kg/m³;

ii. Estuque interior com gesso projetado; m = 750kg/m³.

b. Massa superficial do pano:

i. Estuque projetado = 15kg/m²;

ii. Tijolo furado 11; m = 0,11m × 1200kg/m² = 132kg/m²;

iii. Massa superficial total = 15 + 132 = 147kg/m².

c. Redução da transmissão sonora:

i. Redução da transmissão sonora do primeiro pano (147kg/m²),
Rw = 42,5 dB (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]);

ii. Rw total = 42,5 ≈ 43dB.

d. Custo do elemento construtivo:

i. Preços e rendimentos obtidos em [77]:

| Parede tijolo 11+11 - XPS | | | | |
|--|----------------|--------|----------|-----------------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Servente (fabrico argamassas) | h | 0,044 | 7,240€ | 0,320€ |
| Pedreiro | h | 0,709 | 10,180€ | 14,915€ |
| Servente | h | 0,178 | 7,240€ | 1,286€ |
| Água | m ³ | 0,003 | 1,500€ | 0,004€ |
| Tijolo cerâmico furado 30×20×11cm | un | 17,850 | 0,150€ | 2,678€ |
| Cimento Portland Cinzento II 32,5MPa | kg | 3,787 | 0,100€ | 0,379€ |
| Areia do rio | m ³ | 0,016 | 20,000€ | 0,312€ |
| Betoneira elétrica | h | 0,037 | 0,710€ | 0,026€ |
| Estucador | h | 0,480 | 10,180€ | 4,886€ |
| Servente de estucador | h | 0,096 | 7,240€ | 0,695€ |
| Sival – Project 2000 P | kg | 12,000 | 0,120€ | 1,440€ |
| Sival – Massa de acabamento | kg | 3,000 | 0,180€ | 0,540€ |
| Baguete estuque 2,60m | m | 0,200 | 0,520€ | 0,104€ |
| Redes fibra vidro para estuque 5×5mm (75g/m ²) | m ² | 0,100 | 0,640€ | 0,064€ |
| Subtotal: | | | | 27,649€ |
| Margem (condições de execução normal) | | | 24% | |
| Total: | | | | 34,28€/m ² |

Tabela 47 - Custos e rendimentos parede tijolo 11

Apêndice 13. Parede tijolo 11+11 c/ XPS

a. Parede de alvenaria dupla de tijolo furado 11+11cm de espessura, com caixa-de-ar totalmente preenchida com placas de XPS de 40mm de espessura, juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de reboco por face exterior:

- i. Tijolo furado 11; $m = 1200\text{kg/m}^3$;
- ii. Placa XPS 40mm espessura; $m \approx 0\text{kg/m}^3$;
- iii. Reboco de argamassa de cimento 2cm espessura; $m = 2100\text{kg/m}^3$.

b. Massa superficial do primeiro pano (pano exterior):

- i. Reboco de argamassa de cimento; $m = 0,02\text{m} \times 2100\text{kg/m}^3 = 42\text{kg/m}^2$;
- ii. Tijolo furado 11; $m = 0,11\text{m} \times 1200\text{kg/m}^3 = 132\text{kg/m}^2$;
- iii. Massa superficial total = $42 + 132 = 174\text{kg/m}^2$.

c. Massa superficial do pano adicional (pano interior):

- i. Placa XPS 40mm espessura; $m = 0,04\text{m} \times 0\text{kg/m}^3 = 0\text{kg/m}^2$;
- ii. Tijolo furado 11; $m = 0,11\text{m} \times 1200\text{kg/m}^3 = 132\text{kg/m}^2$;
- iii. Reboco de argamassa de cimento; $m = 0,02\text{m} \times 2100\text{kg/m}^3 = 42\text{kg/m}^2$;
- iv. Massa superficial total = $0 + 132 + 42 = 174\text{kg/m}^2$.

d. Redução da transmissão sonora:

- i. Redução da transmissão sonora do primeiro pano (174kg/m^2), $R_w = 43\text{ dB}$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]);
- ii. Redução da transmissão sonora do pano adicional (pano interior) (174kg/m^2), $\Delta R_w = 7\text{dB}$ (cf. Fig. 2.8 de Patrício [86]);
- iii. $R_w\text{ total} = 43 + 7 = 50\text{dB}$.

e. Custo do elemento construtivo:

- i. Preços e rendimentos obtidos em [77]:

| Parede tijolo 11+11 c/ XPS | | | | |
|---------------------------------------|----------------|--------|----------|-----------------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Pedreiro | h | 1,632 | 9,14€ | 14,915€ |
| Servente | h | 0,408 | 6,52€ | 2,658€ |
| Argamassa cimento + areia 1:5 | m ³ | 0,028 | 67,978€ | 1,910€ |
| Tijolo cerâmico furado 30×20×11cm | un | 35,700 | 0,150€ | 5,355€ |
| XPS DOW – Wallmate CW 40mm | m ² | 1,100 | 4,000€ | 4,400€ |
| Subtotal: | | | | 29,238€ |
| Margem (condições de execução normal) | 24% | | | |
| Total: | | | | 36,26€/m ² |

Tabela 48 - Custos e rendimentos parede tijolo 11+11 c/ XPS

Apêndice 14. Parede tijolo 11+11 c/ PN40

a. Parede de alvenaria dupla de tijolo furado 11+11cm de espessura, com caixa-de-ar de 4cm totalmente preenchida com placas de lâ-de-rocha de 40mm de espessura e densidade 40kg/m^3 (PN40), juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de reboco por face exterior:

i. Tijolo furado 11; $m = 1200\text{kg/m}^3$;

ii. Placa de lâ-de-rocha (PN40) de 40mm espessura; $m = 40\text{kg/m}^3$;

iii. Reboco de argamassa de cimento 2cm espessura; $m = 2100\text{kg/m}^3$.

b. Massa superficial do primeiro pano (pano exterior):

i. Reboco de argamassa de cimento; $m = 0,02\text{m} \times 2100\text{kg/m}^3 = 42\text{kg/m}^2$;

ii. Tijolo furado 11; $m = 0,11\text{m} \times 1200\text{kg/m}^3 = 132\text{kg/m}^2$;

iii. Massa superficial total = $42 + 132 = 174\text{kg/m}^2$.

c. Massa superficial do pano adicional (pano interior):

i. Placa de lâ-de-rocha (PN40) de 40mm espessura; $m = 0,04\text{m} \times 40\text{kg/m}^3 = 1,6\text{kg/m}^2$;

ii. Tijolo furado 11; $m = 0,11\text{m} \times 1200\text{kg/m}^3 = 132\text{kg/m}^2$;

iii. Reboco de argamassa de cimento; $m = 0,02\text{m} \times 2100\text{kg/m}^3 = 42\text{kg/m}^2$;

iv. Massa superficial total = $1,6 + 132 + 42 = 175,6\text{kg/m}^2$.

d. Redução da transmissão sonora:

i. Redução da transmissão sonora do primeiro pano (174kg/m^2), $R_w = 43\text{dB}$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]);

ii. Redução da transmissão sonora do pano adicional (pano interior) (174kg/m^2), $\Delta R_w = 7\text{dB}$ (cf. Fig. 2.8 de Patrício [86]);

iii. R_w total = $43 + 7 = 50\text{dB}$.

e. Custo do elemento construtivo:

i. Preços e rendimentos obtidos em [77] e [83]:

| Parede tijolo 11+11 c/ PN40 | | | | |
|---------------------------------------|--------------|--------|----------|-----------------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Pedreiro | h | 1,632 | 9,14€ | 14,915€ |
| Servente | h | 0,408 | 6,52€ | 2,658€ |
| Argamassa cimento + areia 1:5 | m^3 | 0,028 | 67,978€ | 1,910€ |
| Tijolo cerâmico furado 30×20×11cm | un | 35,700 | 0,150€ | 5,355€ |
| Placa de lâ-de-rocha (PN40) 40mm | m^2 | 1,100 | 2,75€ | 3,025€ |
| Subtotal: | | | | 27,863€ |
| Margem (condições de execução normal) | 24% | | | |
| Total: | | | | 34,55€/m ² |

Tabela 49 - Custos e rendimentos parede tijolo 11+11 c/ PN40

Apêndice 15. Parede tijolo 11+11 c/ PN70

a. Parede de alvenaria dupla de tijolo furado 11+11cm de espessura, com caixa-de-ar de 4cm totalmente preenchida com placas de lâ-de-rocha de 40mm de espessura e densidade 70kg/m^3 (PN70), juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de reboco por face exterior (cf. Mateus [68] pág. 75).

b. Redução de transmissão sonora:

i. $R_w = 51\text{dB}$ (cf. Mateus [68] pág. 75);

c. Custo do elemento construtivo:

i. Preços e rendimentos obtidos em [77] e [83]:

| Parede tijolo 11+11 c/ PN70 | | | | |
|---------------------------------------|--------------|------------|-----------------|-----------------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Pedreiro | h | 1,632 | 9,14€ | 14,915€ |
| Servente | h | 0,408 | 6,52€ | 2,658€ |
| Argamassa cimento + areia 1:5 | m^3 | 0,028 | 67,978€ | 1,910€ |
| Tijolo cerâmico furado 30×20×11cm | un | 35,700 | 0,150€ | 5,355€ |
| Placa de lâ-de-rocha (PN70) 40mm | m^2 | 1,100 | 4,77€ | 5,247€ |
| Subtotal: | | | | 30,085€ |
| Margem (condições de execução normal) | 24% | | | |
| Total: | | | | 37,31€/m ² |

Tabela 50 - Custos e rendimentos parede tijolo 11+11 c/ PN70

Apêndice 16. Parede tijolo 11+11 c/ Boltherm 509

a. Parede de alvenaria dupla de tijolo furado 11+11cm de espessura, com caixa-de-ar de 4cm preenchida com manta termo-acústica *Boltherm 509* (5mm espessura), juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de reboco por face exterior.

i. Tijolo furado 11; $m = 1200\text{kg/m}^3$;

ii. Manta termo-acústica *Boltherm 509* (5mm); $\Delta R_w = 18\text{dB}$ (cf. pg. 5 [101]);

iii. Reboco de argamassa de cimento 2cm espessura; $m = 2100\text{kg/m}^3$.

b. Massa superficial do primeiro pano (pano exterior):

i. Reboco de argamassa de cimento; $m = 0,02\text{m} \times 2100\text{kg/m}^3 = 42\text{kg/m}^2$;

ii. Tijolo furado 11; $m = 0,11\text{m} \times 1200\text{kg/m}^3 = 132\text{kg/m}^2$;

iii. Massa superficial total = $42 + 132 = 174\text{kg/m}^2$.

c. Massa superficial do pano adicional (pano interior):

i. Tijolo furado 11; $m = 0,11\text{m} \times 1200\text{kg/m}^3 = 132\text{kg/m}^2$;

ii. Reboco de argamassa de cimento; $m = 0,02\text{m} \times 2100\text{kg/m}^3 = 42\text{kg/m}^2$;

iii. Massa superficial total = $132 + 42 = 174\text{kg/m}^2$;

d. Redução da transmissão sonora:

i. Redução da transmissão sonora do primeiro pano (174kg/m^2), $R_w = 43\text{dB}$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]);

ii. Redução da transmissão sonora do pano adicional (pano interior) (174kg/m^2), $\Delta R_w = 7\text{dB}$ (cf. Fig. 2.8 de Patrício [86]);

iii. Redução da transmissão sonora do isolamento termo-acústico *Boltherm 509*, $\Delta R_w = 18\text{dB}$ (cf. pg. 5 [101]);

iv. $R_w\text{ total} = 43 + 7 + 18 = 68\text{dB}$.

e. Custo do elemento construtivo:

i. Preços e rendimentos obtidos em [35], [77], [83] e [105]:

| Parede tijolo 11+11 c/ Boltherm 509 | | | | |
|--|----------------|--------|----------|-----------------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Pedreiro | h | 1,732 | 9,14€ | 15,830€ |
| Servente | h | 0,508 | 6,52€ | 3,312€ |
| Argamassa cimento + areia 1:5 | m ³ | 0,028 | 67,978€ | 1,910€ |
| Tijolo cerâmico furado 30×20×11cm | un | 35,700 | 0,150€ | 5,355€ |
| Manta termo-acústica <i>Boltherm 509</i> | m ² | 1,100 | 4,43€ | 4,873€ |
| Tapits 6×80mm | un | 0,250 | 0,089€ | 0,022€ |
| Subtotal: | | | | 31,302€ |
| Margem (condições de execução normal) | 24% | | | |
| Total: | | | | 38,81€/m ² |

Tabela 51 - Custos e rendimentos parede tijolo 11+11 c/ Boltherm 509

ii. Preço *Boltherm 509* com IVA de 23% = $3,60 \times 1,23 \approx 4,43\text{€/m}^2$ (cf. Sotecnisol [105]);

iii. Preço unitário tapits 6×80mm = $8,86 / 100 = 0,886\text{€}$ (cf. Ferrasil [35]).

Apêndice 17. Parede tijolo 15+11 c/ XPS

a. Parede de alvenaria dupla de tijolo furado 15+11cm de espessura, com caixa-de-ar de 4cm totalmente preenchida com placas de XPS de 40mm de espessura, juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de reboco por face exterior:

- i. Tijolo furado 15; $m = 1200\text{kg/m}^3$;
- ii. Tijolo furado 11; $m = 1200\text{kg/m}^3$;
- iii. Placa XPS de 40mm espessura; $m \approx 0\text{kg/m}^3$;
- iv. Reboco de argamassa de cimento 2cm espessura; $m = 2100\text{kg/m}^3$.

b. Massa superficial do primeiro pano (pano exterior):

- i. Reboco de argamassa de cimento; $m = 0,02\text{m} \times 2100\text{kg/m}^3 = 42\text{kg/m}^2$;
- ii. Tijolo furado 15; $m = 0,15\text{m} \times 1200\text{kg/m}^3 = 180\text{kg/m}^2$;
- iii. Massa superficial total = $42 + 180 = 222\text{kg/m}^2$;

c. Massa superficial do pano adicional (pano interior):

- i. Placa de XPS de 40mm espessura; $m = 0,04\text{m} \times 0\text{kg/m}^3 = 0\text{kg/m}^2$;
- ii. Tijolo furado 11; $m = 0,11\text{m} \times 1200\text{kg/m}^3 = 132\text{kg/m}^2$;
- iii. Reboco de argamassa de cimento; $m = 0,02\text{m} \times 2100\text{kg/m}^3 = 42\text{kg/m}^2$;
- iv. Massa superficial total = $0 + 132 + 42 = 174\text{kg/m}^2$.

d. Redução da transmissão sonora:

- i. Redução da transmissão sonora do primeiro pano (222kg/m^2), $R_w = 46\text{dB}$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]);
- ii. Redução da transmissão sonora do pano adicional (pano interior) (174kg/m^2), $\Delta R_w = 6\text{dB}$ (cf. Fig. 2.8 de Patrício [86]);
- iii. R_w total = $46 + 6 = 52\text{dB}$.

e. Custo do elemento construtivo:

- i. Preços e rendimentos obtidos em [78]:

| Parede tijolo 15+11 c/ XPS | | | | |
|---------------------------------------|----------------|--------|----------|-----------------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Pedreiro | h | 1,673 | 9,14€ | 15,294€ |
| Servente | h | 0,418 | 6,52€ | 2,724€ |
| Argamassa cimento + areia 1:5 | m ³ | 0,033 | 67,978€ | 2,257€ |
| Tijolo cerâmico furado 30×20×11cm | un | 17,850 | 0,150€ | 2,678€ |
| Tijolo cerâmico furado 30×20×15cm | un | 17,850 | 0,210€ | 3,749€ |
| XPS DOW – Wallmate CW 40mm | m ² | 1,100 | 4,000€ | 4,400€ |
| Subtotal: | | | | 31,102€ |
| Margem (condições de execução normal) | 24% | | | |
| Total: | | | | 38,57€/m ² |

Tabela 52 - Custos e rendimentos parede tijolo 15+11 c/ XPS

Apêndice 18. Parede tijolo 15+11 c/ PN40

a. Parede de alvenaria dupla de tijolo furado 15+11cm de espessura, com caixa-de-ar de 4cm totalmente preenchida com placas de lâ-de-rocha de 40mm de espessura e densidade 40kg/m^3 (PN40), juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de reboco por face exterior.

- i. Tijolo furado 15; $m = 1200\text{kg/m}^3$;
- ii. Tijolo furado 11; $m = 1200\text{kg/m}^3$;
- iii. Placa de lâ-de-rocha (PN40) de 40mm espessura; $m = 40\text{kg/m}^3$;
- iv. Reboco de argamassa de cimento 2cm espessura; $m = 2100\text{kg/m}^3$.

b. Massa superficial do primeiro pano (pano exterior):

- i. Reboco de argamassa de cimento; $m = 0,02\text{m} \times 2100\text{kg/m}^3 = 42\text{kg/m}^2$;
- ii. Tijolo furado 15; $m = 0,15\text{m} \times 1200\text{kg/m}^3 = 180\text{kg/m}^2$;
- iii. Massa superficial total = $42 + 180 = 222\text{kg/m}^2$.

c. Massa superficial do pano adicional (pano interior):

- i. Placa de lâ-de-rocha (PN40) de 40mm espessura; $m = 0,04\text{m} \times 4\text{kg/m}^3 = 1,6\text{kg/m}^2$;
- ii. Tijolo furado 11; $m = 0,11\text{m} \times 1200\text{kg/m}^3 = 132\text{kg/m}^2$;
- iii. Reboco de argamassa de cimento; $m = 0,02\text{m} \times 2100\text{kg/m}^3 = 42\text{kg/m}^2$;
- iv. Massa superficial total = $1,6 + 132 + 42 = 175,6\text{kg/m}^2$.

d. Redução da transmissão sonora:

- i. Redução da transmissão sonora do primeiro pano (222kg/m^2), $R_w = 46\text{dB}$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]);
- ii. Redução da transmissão sonora do pano adicional (pano interior) (174kg/m^2), $\Delta R_w = 6\text{dB}$ (cf. Fig. 2.8 de Patrício [86]);
- iii. R_w total = $46 + 6 = 52\text{dB}$.

e. Custo do elemento construtivo:

- i. Preços e rendimentos obtidos em [78] e [83]:

| Parede tijolo 15+11 c/ PN40 | | | | |
|---------------------------------------|--------------|--------|----------|-----------------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Pedreiro | h | 1,673 | 9,14€ | 15,294€ |
| Servente | h | 0,418 | 6,52€ | 2,724€ |
| Argamassa cimento + areia 1:5 | m^3 | 0,033 | 67,978€ | 2,257€ |
| Tijolo cerâmico furado 30×20×11cm | un | 17,850 | 0,150€ | 2,678€ |
| Tijolo cerâmico furado 30×20×15cm | un | 17,850 | 0,210€ | 3,749€ |
| Placa de lâ-de-rocha (PN40) 40mm | m^2 | 1,100 | 2,75€ | 3,025€ |
| Subtotal | | | | 29,727€ |
| Margem (condições de execução normal) | 24% | | | |
| Total: | | | | 36,86€/m ² |

Tabela 53 - Custos e rendimentos parede tijolo 15+11 c/ PN40

Apêndice 19. Parede tijolo 15+11 c/ PN70

a. Parede de alvenaria dupla de tijolos furados 15+11cm de espessura, com caixa-de-ar de 4cm totalmente preenchida com placas de lâ-de-rocha de 40mm de espessura e densidade 70kg/m^3 (PN70), juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de reboco por face exterior (cf. Mateus [68] pág. 75);

b. Redução de transmissão sonora:

i. $R_w = 53\text{dB}$ (cf. Mateus [68] pág. 75).

c. Custo do elemento construtivo:

i. Preços e rendimentos obtidos em [78] e [83]:

| Parede tijolo 15+11 c/ PN70 | | | | |
|---------------------------------------|--------------|------------|-----------------|-----------------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Pedreiro | h | 1,673 | 9,14€ | 15,294€ |
| Servente | h | 0,418 | 6,52€ | 2,724€ |
| Argamassa cimento + areia 1:5 | m^3 | 0,033 | 67,978€ | 2,257€ |
| Tijolo cerâmico furado 30×20×11cm | un | 17,850 | 0,150€ | 2,678€ |
| Tijolo cerâmico furado 30×20×15cm | un | 17,850 | 0,210€ | 3,749€ |
| Placa de lâ-de-rocha (PN70) 40mm | m^2 | 1,100 | 4,77€ | 5,247€ |
| Subtotal: | | | | 31,949€ |
| Margem (condições de execução normal) | 24% | | | |
| Total: | | | | 39,62€/m ² |

Tabela 54 - Custos e rendimentos parede tijolo 15+11 c/ PN70

Apêndice 20. Reparação de fissuras e pintura de estuque em parede de ed. pombalino

a. Reparação ligeira de paredes de estuque, incluindo remoção de tintas soltas, avivamento e enchimento de fissuras até 5mm de largura, barramento geral com massa de acabamento e pintura com tinta aquosa na cor branca com acabamento mate, formulada à base de dispersão vinílica do tipo Vinylmatt ref^a 10-250 ou equivalente, incluindo primário Cinolite ref^a 54-850 ou equivalente:

b. Massa superficial da reparação:

i. Estuque tradicional (1700kg/m³ cf. [32]); $m = 0,003 \times 1700 = 5,1\text{kg/m}^2$;

ii. Primário (1,42g/L); $m = 1,42\text{kg/m}^3$ cf. [98]); $m = 0,002 \times 1,42 = 0,00284 \approx 0\text{kg/m}^2$;

iii. Pintura (1,33g/L); $m = 1,33\text{kg/m}^3$ cf. [98]); $m = 0,002 \times 1,33 = 0,00266 \approx 0\text{kg/m}^2$;

iv. Massa total = $5,1 + 0 + 0 = 5,1 \approx 5\text{kg/m}^2$.

c. Redução da transmissão sonora:

i. $R_w \leq 25\text{dB}$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]) $\rightarrow 3\text{dB}$.

d. Custo de elementos construtivos:

i. Preços e rendimentos retirados de [84]:

| Reparação de fissuras e pintura de estuque | | | | |
|--|----------------|-------|----------|---------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Reparação ligeira de paredes de estuque, incluindo remoção de tintas soltas, avivamento e enchimento de fissuras até 5mm de largura e barramento geral com massa de acabamento | m ² | 1,000 | 6,221€ | 6,221€ |
| Pintura de paredes interiores em estuque tradicional com tinta aquosa na cor branca com acabamento mate, formulada à base de dispersão vinílica do tipo Vinylmatt ref ^a 10-250 ou equivalente, incluindo primário Cinolite ref ^a 54-850 ou equivalente | m ² | 1,000 | 6,986€ | 6,986€ |
| Subtotal: | | | | 13,207€ |
| Margem (condições de execução normal) | | | 24% | |
| Total: | | | | 16,38€ |

Tabela 55 - Custos e rendimentos reparação de fissuras e pintura de estuque

Apêndice 21. Trasdoso semidireto gesso cartonado 1×15

a. Trasdoso semidireto de placas de gesso cartonado (placa com 15mm de espessura), fixo com suporte mecânico formado por estrutura de perfis de aço galvanizado 82×16mm com afastamento de 400mm, em cujo lado externo é fixa placa de gesso cartonado com acabamento básico (Q1) ou acabamento habitual para paredes e tetos (Q2). Espessura total do sistema é de 31mm. Montagem segundo norma UNE 102.043:2013;

b. Redução da transmissão sonora:

i. Redução da transmissão sonora do sistema, $\Delta R_w = 2$ dB (cf. [93]).

c. Custo do elemento construtivo:

i. Preços e rendimentos obtidos em [35], [77], [83], [105] e [93]:

| Trasdoso semidireto 1×15 | | | | |
|--|----------------|------------|-----------------|-----------------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Oficial 1ª montador | h | 0,187 | 9,14€ | 1,709€ |
| Ajudante montador | h | 0,187 | 6,52€ | 1,219€ |
| Placa gesso cartonado N15 1×3m | m ² | 1,05 | 4,24€ | 4,452€ |
| Perfil metálico 82×16mm | m | 3,40 | 0,79€ | 2,686€ |
| Gesso para juntas secas normal (saco 18kg) | kg | 0,36 | 0,85€ | 0,306€ |
| Fita de juntas (rolo 150m) | m | 1,30 | 0,03€ | 0,039€ |
| Fita guarda vivos PVC (rolo 30m) | m | 0,15 | 0,37€ | 0,056€ |
| Tapits 6×80mm | un | 2 | 0,089€ | 0,178€ |
| Parafuso PM 3,5×25mm | un | 21 | 0,007€ | 0,147€ |
| Parafusadora com fio AEG S4000E | h | 0,098 | 0,700€ | 0,069€ |
| Subtotal: | | | | 10,861€ |
| Margem (condições de execução normal) | 24% | | | |
| Total: | | | | 13,47€/m ² |

Tabela 56 - Custos e rendimentos trasdosado semidireto 1×15

Apêndice 22. Trasdosoado semidireto gesso cartonado 1×15 c/Boltherm 509

a. Trasdosoado semidireto de placas de gesso cartonado (placa com 15mm de espessura) e manta termo-acústica *Boltherm 509* (5mm espessura) fixo com suporte mecânico formado por estrutura de perfis de aço galvanizado 82×16mm com afastamento de 400mm, em cujo lado externo é fixa placa de gesso cartonado com acabamento básico (Q1) ou acabamento habitual para paredes e tetos (Q2). Espessura total do sistema é de 31mm. Montagem segundo norma UNE 102.043:2013;

b. Redução da transmissão sonora:

i. Trasdosoado semidireto N15, $\Delta R_w = 2\text{dB}$ (cf. [93]);

ii. Redução da transmissão sonora do isolamento termo-acústico *Boltherm 509*, $\Delta R_w = 18\text{dB}$ (cf. pg. 5 [101]);

iii. $\Delta R_w \text{ total} = 2 + 18 = 20\text{dB}$.

c. Custo do elemento construtivo:

i. Preços e rendimentos obtidos em [35], [77], [83], [105] e [93]

| Trasdosoado semidireto 1×15 c/Boltherm 509 | | | | |
|---|----------------|------------|-----------------|-----------------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Oficial 1ª montador | h | 0,287 | 9,14€ | 2,623€ |
| Ajudante montador | h | 0,287 | 6,52€ | 1,871€ |
| Manta termo-acústica <i>Boltherm 509</i> | m ² | 1,100 | 4,43€ | 4,873€ |
| Placa gesso cartonado N15 1×3m | m ² | 1,05 | 4,24€ | 4,452€ |
| Perfil metálico 82×16mm | m | 3,40 | 0,79€ | 2,686€ |
| Gesso para juntas secas normal (saco 18kg) | kg | 0,36 | 0,85€ | 0,306€ |
| Fita de juntas (rolo 150m) | m | 1,30 | 0,03€ | 0,039€ |
| Fita guarda vivos PVC (rolo 30 m) | m | 0,15 | 0,37€ | 0,056€ |
| Tapits 6×80mm | un | 2 | 0,089€ | 0,178€ |
| Parafuso PM 3,5×25mm | un | 21 | 0,007€ | 0,147€ |
| Parafusadora com fio AEG S4000E | h | 0,098 | 0,700€ | 0,069€ |
| Subtotal: | | | | 17,300€ |
| Margem (condições de execução normal) | 24% | | | |
| Total: | | | | 21,45€/m ² |

Tabela 57 - Custos e rendimentos trasdosoado semidireto 1×15 c/Boltherm 509

i. Preço *Boltherm 509* com IVA de 23% = $3,60 \times 1,23 \approx 4,43\text{€/m}^2$ (cf. Sotecnisol [105]);

ii. Preço unitário tapits 6×80mm = $8,86 / 100 = 0,886\text{€}$ (cf. Ferrasil [35]).

Apêndice 23. Pano de parede adicional em tijolo 11 com XPS

a. Pano de alvenaria de tijolo furado 11 cm de espessura, formando com a parede existente uma caixa-de-ar totalmente preenchida com placas de XPS de 40mm de espessura, juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de reboco por face exterior:

i. Tijolo furado 11; $m = 1200\text{kg/m}^3$;

ii. Placa XPS 40mm espessura; $m \approx 0\text{kg/m}^3$;

iii. Reboco de argamassa de cimento 2cm espessura; $m = 2100\text{kg/m}^3$.

b. Massa superficial do pano adicional (pano interior):

i. Placa XPS 40mm espessura; $m = 0,04\text{m} \times 0\text{kg/m}^3 = 0\text{kg/m}^2$;

ii. Tijolo furado 11; $m = 0,11\text{m} \times 1200\text{kg/m}^3 = 132\text{kg/m}^2$;

iii. Reboco de argamassa de cimento; $m = 0,02\text{m} \times 2100\text{kg/m}^3 = 42\text{kg/m}^2$;

iv. Massa superficial total = $0 + 132 + 42 = 174\text{kg/m}^2$.

c. Redução da transmissão sonora:

i. Redução da transmissão sonora do pano adicional (pano interior) (174kg/m^2), $\Delta R_w = 7\text{dB}$ (cf. Fig. 2.8 de Patrício [86]).

d. Custo do elemento construtivo:

i. Preços e rendimentos obtidos em [77]:

| Pano adicional tijolo 11 c/ XPS | | | | |
|---------------------------------------|--------------|--------|----------|-----------------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Pedreiro | h | 0,816 | 9,14€ | 7,458€ |
| Servente | h | 0,204 | 6,52€ | 1,330€ |
| Argamassa cimento + areia 1:5 | m^3 | 0,014 | 67,978€ | 0,952€ |
| Tijolo cerâmico furado 30×20×11cm | un | 17,850 | 0,150€ | 2,678€ |
| XPS DOW – Wallmate CW 40mm | m^2 | 0,550 | 4,000€ | 2,000€ |
| Subtotal: | | | | 14,418€ |
| Margem (condições de execução normal) | 24% | | | |
| Total: | | | | 17,88€/m ² |

Tabela 58 - Custos e rendimentos pano adicional tijolo 11 c/ XPS

Apêndice 24. Pano adicional de tijolo 15 com Boltherm 509

a. Pano de alvenaria de tijolo furado 15cm de espessura, com caixa-de-ar preenchida com isolamento termo-acústico *Boltherm 509*, juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de reboco na face exterior:

i. Tijolo furado 15; $m = 1200\text{kg/m}^3$;

ii. Manta termo-acústica *Boltherm 509* (5mm); $\Delta R_w = 18\text{dB}$ (cf. pg. 5 [101]);

iii. Reboco de argamassa de cimento 2cm espessura; $m = 2100\text{kg/m}^3$.

b. Massa superficial do pano adicional (pano interior):

i. Reboco de argamassa de cimento; $m = 0,02\text{m} \times 2100\text{kg/m}^3 = 42\text{kg/m}^2$;

ii. Tijolo furado 15; $m = 0,15\text{m} \times 1200\text{kg/m}^3 = 180\text{kg/m}^2$;

iii. Massa superficial total = $42 + 180 = 222\text{kg/m}^2$.

c. Redução da transmissão sonora:

i. Redução da transmissão sonora do pano adicional (pano interior) (174kg/m^2), $\Delta R_w = 7\text{ dB}$ (cf. Fig. 2.8 de Patrício [86]);

ii. Redução da transmissão sonora do isolamento termo-acústico *Boltherm 509*, $\Delta R_w = 18\text{ dB}$ (cf. pg. 5 [101]);

iii. ΔR_w total = $7 + 18 = 25\text{ dB}$.

d. Custo do elemento construtivo:

i. Preços e rendimentos obtidos em [35], [77], [83] e [105]:

| Parede tijolo 15+15 c/ Boltherm 509 | | | | |
|--|----------------|--------|----------|-----------------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Pedreiro | h | 0,907 | 9,14€ | 8,290€ |
| Servente | h | 0,264 | 6,52€ | 10,011€ |
| Argamassa cimento + areia 1:5 | m ³ | 0,017 | 67,978€ | 1,156€ |
| Tijolo cerâmico furado 30×20×15cm | un | 18,750 | 0,150€ | 2,813€ |
| Manta termo-acústica <i>Boltherm 509</i> | m ² | 1,100 | 4,43€ | 4,873€ |
| Tapits 6×80mm | un | 0,250 | 0,089€ | 0,022€ |
| Subtotal: | | | | 27,165€ |
| Margem (condições de execução normal) | 24% | | | |
| Total: | | | | 33,68€/m ² |

Tabela 59 - Custos e rendimentos pano adicional tijolo 15 c/Boltherm 509

ii. Preço *Boltherm 509* com IVA de 23% = $3,60 \times 1,23 \approx 4,43\text{€/m}^2$ (cf. Sotecnisol [105]);

iii. Preço unitário tapits 6×80mm = $8,86 / 100 = 0,886\text{€}$ (cf. Ferragsil [35]).

Apêndice 25. Porta interior em madeira maciça

- a. Porta interior em madeira maciça com estrutura leve e tábuas de em Casquinha de 2cm de espessura. Dobradiças metálicas e sem vedação no batente.
- b. Massa superficial do pano da porta:
- i. Casquinha branca densidade 500 a 540kg/m³ (cf. [92]); $m = 0,02m \times 500kg/m^3 = 10kg/m^2$;
- c. Redução da transmissão sonora:
- i. Redução da transmissão sonora do superfície da porta (10kg/m²), $R_w = 26dB$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]);
- ii. Transmissão sonora devido à falta de vedação de frinchas = 10dB;
- iii. $R_w \text{ total} = 26 - 10 = 16dB$.

Apêndice 26. Porta interior corrente

- a. Porta aligeirada corrente, com núcleo oco, e algumas frinchas ($m=9kg/m^2$) (cf. Mateus [68] pág. 75);
- b. Redução da transmissão sonora:
- i. $R_w = 18dB$ (cf. Mateus [68] pág. 75).
- c. Custos e rendimentos de elemento:
- i. Preços e rendimentos retirados de [60]:

| Porta interior corrente | | | | |
|------------------------------|----|------|----------|------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Porta interior lisa 35mm | un | 1 | 99,99€ | 99,99€ |
| Carpinteiro de portas | h | 0,35 | 13,50€ | 4,72€ |
| Espuma poliuretano expandida | un | 1 | 1,69€ | 1,69€ |
| Total: | | | | 106,40€/un |

Tabela 60 - Custos e rendimentos porta interior corrente

Apêndice 27. Porta de entrada em madeira maciça

- a. Porta de entrada em madeira maciça, com batente e tratamento de frinchas em todo o seu contorno ($m=61kg/m^2$) (cf. Mateus [68] pág. 75);
- b. Redução da transmissão sonora:
- i. $R_w = 28dB$ (cf. Mateus [68] pág. 75).
- c. Custos e rendimentos elemento:
- i. Preços e rendimentos retirados de [60]:

| Porta madeira maciça | | | | |
|--------------------------------|----|------|----------|------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Porta de entrada blindada lisa | un | 1 | 699€ | 699€ |
| Carpinteiro de portas | h | 0,96 | 13,50€ | 12,96€ |
| Espuma poliuretano expandida | un | 1 | 1,69€ | 1,69€ |
| Total: | | | | 713,65€/Un |

Tabela 61 - Custos e rendimentos porta entrada madeira maciça

Apêndice 28. Porta de entrada metálica

- a. Porta com construção metálica em folha reversível, lacada a branco Pirinéu (idêntico RAL 9016), constituída por dupla chapa de aço com 0,5mm de espessura, preenchida no seu interior por poliestireno expandido, proporcionando assim uma estrutura sólida com 40mm de espessura total;
- b. Massa superficial das camadas:
 - i. Chapa de aço inox 0,50mm; $m = 3,95\text{kg/m}^2$ (cf. [33]);
 - ii. Isolamento termo-acústico de poliestireno expandido de 39mm; $m \approx 0\text{kg/m}^2$;
 - iii. Massa superficial total $= 3,95 + 0 + 3,95 = 7,9 \approx 8\text{kg/m}^2$.
- c. Redução da transmissão sonora:
 - i. Redução da transmissão sonora da superfície da porta (8kg/m^2), $R_w < 26\text{dB}$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]);
 - ii. Transmissão sonora devido à falta de vedação de frinchas = 7dB;
 - iii. $R_w \text{ total} < (26 - 7) < 19\text{dB}$.

Apêndice 29. Janela de correr vidro simples 4mm

- a. Janela de em perfil de alumínio, com vidro simples corrente de espessura 4mm;
- b. Redução da transmissão sonora:
 - i. $R_w = 30,5\text{dB}$ (cf. Fig. 2.7 de Patrício [86]).

Apêndice 30. Janela de correr vidro duplo 6+4mm

- a. Janela de correr em perfil de alumínio, com vidro duplo 6+4mm e caixa-de-ar de 10mm, com adequada vedação de frinchas;
- b. Redução da transmissão sonora:
 - i. $R_w = 35,1\text{dB}$ (cf. Fig. 2.7 de Patrício [86]).
- c. Custos e rendimentos elemento construtivo:
 - i. Preço de janela de $100 \times 100\text{cm} = 99,99\text{€}$ conforme [54];
 - ii. $\text{Preço/m}^2 = 99,99\text{€/m}^2$.

Apêndice 31. Janela de correr vidro duplo 8+6mm

- a. Janela de correr em perfil de alumínio, com vidro duplo 8+6mm e caixa-de-ar de 12mm, com adequada vedação de frinchas.
- b. Redução da transmissão sonora:
 - i. $R_w = 37\text{dB}$ (cf. Fig. 2.7 de Patrício [86]).
- c. Custos e rendimentos elemento construtivo:
 - i. Preços e rendimentos por m^2 de janela;
 - ii. Preços e rendimentos retirados de [30]:

| Janela de correr vidro duplo 8+6mm | | | | |
|---|--------------|-------|----------|---------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Vidro duplo standard, conjunto constituído por vidro exterior Float incolor de 8mm, caixa de ar desidratada com perfil separador de alumínio e dupla vedação perimetral, de 6mm, e vidro interior Float incolor de 6mm de espessura | m^2 | 1,006 | 51,38€ | 51,69€ |
| Cartucho de silicone sintético incolor de 310ml (rendimento aproximado de 12m por cartucho) | un | 0,580 | 2,42€ | 1,40€ |
| Material auxiliar para a colocação de vidros | un | 1,000 | 1,26€ | 1,26€ |
| Oficial de 1ª vidraceiro | h | 0,344 | 18,20€ | 6,26€ |
| Ajudante de vidraceiro | h | 0,344 | 17,76€ | 6,11€ |
| Meios auxiliares | % | 2,000 | 66,72€ | 1,33€ |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 68,05€ | 2,04€ |
| Pré-aro para caixilharia exterior de PVC | m | 4,000 | 6,25€ | 25,00€ |
| Cartucho de pasta de silicone neutro | un | 0,200 | 3,13€ | 0,63€ |
| Oficial de 1ª serralheiro | h | 1,668 | 17,12€ | 28,56€ |
| Ajudante de serralheiro | h | 0,834 | 16,51€ | 13,77€ |
| Meios auxiliares | % | 2,000 | 281,01€ | 5,62€ |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 286,63€ | 8,60€ |
| Total: | | | | 152,27€ |
| Custo de manutenção decenal: 8,35€ nos primeiros 10 anos para os vidros. | | | | |

Tabela 62 - Custos e rendimentos janela de correr vidro duplo 8+6mm

Apêndice 32. Janela oscilobatente tipo *FINSTRAL Top 90 Step-line*

- a. Janela oscilobatente em perfil multicamadas PVC, com vidro triplo 4+4/16/4, com permeabilidade ao ar segundo EN 12207 Classe 4;
- b. Fornecimento e colocação de vidro duplo temperado laminar acústico, conjunto constituído por vidro exterior laminar acústico de 4+4mm composto por duas folhas de vidro de 4mm, unidas através uma tela incolor de polivinil butiral caixa de ar desidratada com perfil separador de alumínio e dupla vedação perimetral, de 16mm, e vidro interior temperado Float incolor de 4mm, fixado sobre caixilharia com cunhagem através de calços de apoio perimetrais e laterais, vedação a frio com silicone sintético incolor, compatível com o

material suporte. Inclusive cortes do vidro, colocação de bites e sinalização das folhas;

c. Redução da transmissão sonora:

i. $R_w = 42\text{dB}$ (cf. [38]).

d. Custos e rendimentos do elemento construtivo:

i. Preços e rendimentos por m^2 de janela;

ii. Preços e rendimentos retirados de [30]:

| Janela oscilobatente tipo FINSTRAL Top 90 Step-line | | | | |
|--|--------------|------------|-----------------|--------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Vidro duplo temperado laminar acústico, conjunto constituído por vidro exterior laminar acústico de 4+4mm composto por duas folhas de vidro de 4mm, unidas através uma tela incolor de polivinil butiral caixa de ar desidratada com perfil separador de alumínio e dupla vedação perimetral, de 16mm, e vidro interior temperado Float incolor de 4mm | m^2 | 1,006 | 121,75€ | 122,48€ |
| Cartucho de silicone sintético incolor de 310ml (rendimento aproximado de 12m por cartucho) | un | 0,580 | 2,42€ | 1,40€ |
| Material auxiliar para a colocação de vidros | un | 1,000 | 1,26€ | 1,26€ |
| Oficial de 1ª vidraceiro | h | 0,581 | 18,20€ | 10,57€ |
| Ajudante de vidraceiro | h | 0,851 | 17,76€ | 15,11€ |
| Meios auxiliares | % | 2,000 | 146,03€ | 2,92€ |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 148,95€ | 4,47€ |
| Janela de PVC "VEKA", sistema Softline Doble Junta SL/DJ, duas folhas de batente, dimensões 1000x1000 mm, composta de aro, folhas e bites com acabamento natural em cor branca, coeficiente de transmissão térmica do aro da secção tipo $U_{h,m} = 1,3\text{W}/(\text{m}^2\text{°C})$, perfis de estética reta, espessura em paredes exteriores de 2,8mm, 5 câmaras, reforços interiores de aço galvanizado, mecanizações de drenagem e descompressão, juntas de estanquidade de EPDM, puxador e ferragens bicromadas, Segundo NP EN 14351-1 | un | 1,000 | 213,05€ | 213,05€ |
| Pré-aro para caixilharia exterior de PVC | m | 4,000 | 6,25€ | 25,00€ |
| Cartucho de pasta de silicone neutro | un | 0,200 | 3,13€ | 0,63€ |
| Oficial de 1ª serralheiro | h | 1,668 | 17,12€ | 28,56€ |
| Ajudante de serralheiro | h | 0,834 | 16,51€ | 13,77€ |
| Meios auxiliares | % | 2,000 | 281,01€ | 5,62€ |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 286,63€ | 8,60€ |
| Total: | | | | 453,44€ |
| Custo de manutenção decenal: 8,35€ nos primeiros 10 anos para os vidros. | | | | |

Tabela 63 - Custos e rendimentos janela oscilobatente tipo FINSTRAL Top 90 Step-line

Apêndice 33. Janela de abrir, com vidro simples 3mm com folhas de pinázios

- a. Janela de abrir, com vidro simples 3mm com folhas de pinázios (cf. [62] pág. 20);
- b. Redução da transmissão sonora:
 - i. $R_w = 29\text{dB}$ (cf. Fig. 2.7 de Patrício [86]).

Apêndice 34. Janela de abrir vidro duplo 6+4mm

- a. Janela de abrir, com vidro duplo 6+4mm e caixa-de-ar de 10mm, com adequada vedação de frinchas (cf. Mateus [68] pág. 75);
- b. Redução da transmissão sonora:
 - i. $R_w = 35,1\text{dB}$ (cf. Fig. 2.7 de Patrício [86]).
- c. Custos e rendimentos de elemento construtivo:
 - i. Preços e rendimentos retirados de [30]:

| Janela de abrir vidro duplo 6+4mm | | | | |
|--|----------------|-------|----------|----------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Vidro duplo <i>standard</i> de abrir, conjunto constituído por vidro exterior Float incolor de 6mm, caixa-de-ar desidratada com perfil separador de alumínio e dupla vedação perimetral, de 10mm, e vidro interior Float incolor de 4mm de espessura | m ² | 1,006 | 19,40€ | 119,93€ |
| Cartucho de silicone sintético incolor de 310ml (rendimento aproximado de 12m por cartucho) | un | 0,580 | 2,42€ | 1,40€ |
| Material auxiliar para a colocação de vidros | un | 1,000 | 1,26€ | 1,26€ |
| Oficial de 1 ^a vidraceiro | h | 0,344 | 18,20€ | 6,26€ |
| Ajudante de vidraceiro | h | 0,344 | 17,76€ | 6,11€ |
| Meios auxiliares | % | 2,000 | 34,55€ | 0,69€ |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 35,24€ | 1,06€ |
| Total: | | | | 136,71€ |
| Custo de manutenção decenal: 8,35€ nos primeiros 10 anos para os vidros. | | | | |

Tabela 64 - Custos e rendimentos janela de abrir vidro duplo 6+4mm

Apêndice 35. Janela de abrir vidro duplo 8+6mm

a. Janela de abrir, com vidro duplo 8+6mm e caixa-de-ar de 12mm, com adequada vedação de frinchas (cf. Mateus pág. 75).

b. Redução da transmissão sonora:

i. $R_w = 37\text{dB}$ (cf. Fig. 2.7 de Patrício [86]).

c. Custos e rendimentos de elementos construtivo:

i. Preços e rendimentos retirados de [30]:

| Janela de abrir vidro duplo 8+6mm | | | | |
|--|----------------|-------|----------|---------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Vidro duplo <i>standard</i> de abrir, conjunto constituído por vidro exterior <i>Float</i> incolor de 8mm, caixa-de-ar desidratada com perfil separador de alumínio e dupla vedação perimetral, de 12mm, e vidro interior <i>Float</i> incolor de 6mm de espessura | m ² | 1,006 | 19,40€ | 150,78€ |
| Cartucho de silicone sintético incolor de 310ml (rendimento aproximado de 12m por cartucho) | un | 0,580 | 2,42€ | 1,40€ |
| Material auxiliar para a colocação de vidros | un | 1,000 | 1,26€ | 1,26€ |
| Oficial de 1 ^a vidraceiro | h | 0,344 | 18,20€ | 6,26€ |
| Ajudante de vidraceiro | h | 0,344 | 17,76€ | 6,11€ |
| Meios auxiliares | % | 2,000 | 34,55€ | 0,69€ |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 35,24€ | 1,06€ |
| Total: | | | | 167,56€ |
| Custo de manutenção decenal: 8,35€ nos primeiros 10 anos para os vidros. | | | | |

Tabela 65 - Custos e rendimentos janela de abrir vidro duplo 8+6mm

Apêndice 36. Pav. pedra em arco de cantaria aparelhada

a. Pavimento de lajetas de pedra granítica com espessura 3,5cm, assente com argamassa (3cm) sobre arco de pedra aparelhada com espessura de chave (topo do arco) de 9in ($\approx 23\text{cm}$) cf. [112];

b. Massa dos elementos onde se transmite a percussão:

i. Lajeta de revestimento em pedra granítica de 3,5cm de espessura; $m = 0,035\text{m} \times 2560\text{kg/m}^3$ (cf. [31]) = $89,6\text{kg/m}^2$;

ii. Argamassa de assentamento; $m = 0,03\text{m} \times 1720\text{kg/m}^3$ (cf. [89], pág 53) = $51,6\text{kg/m}^2$;

iii. Pedra aparelhada de granito; $m = 0,23\text{m} \times 2560\text{kg/m}^3$ (cf. [31]) = $588,8\text{kg/m}^2$;

iv. Massa total = $89,6 + 51,6 + 588,8 = 730\text{kg/m}^2$.

c. Redução da transmissão sonora:

i. $L_{n,w} = 169 - 35 \times \text{Log}(730) \approx 68,8 \approx 69\text{dB}$;

ii. $\Delta L_w = 0$;

iii. $L_{n,w,eq} = L_{n,w} - \Delta L_w = 69 - 0 = 69\text{dB}$.

Apêndice 37. Soalho de madeira

- a.** Soalho em Casquinha (*Pinus silvestris* L.) com 30mm espessura, largura 22cm e comprimento variável. Piso não apresenta forro no teto inferior;
- b.** Massa dos elementos onde se transmite a percussão:
- Casquinha branca densidade 500 a 540kg/m³ (cf. [92]); $m = 0,03m \times 500\text{kg/m}^3 = 15\text{kg/m}^2$;
 - Nota: é considerada a parte mais esbelta do soalho, ou seja secções sem barrotes.
- c.** Redução da transmissão sonora:
- $L_{n,w} = 169 - 35 \times \text{Log}(15) \approx 127,8 \approx 128\text{dB}$;
 - $\Delta L_w = 0$;
 - $L_{n,w,eq} = L_{n,w} - \Delta L_w = 128 - 0 = 128\text{dB}$.

Apêndice 38. Piso com soalho de madeira 2,5cm e forro de madeira em saia e camisa

- a.** Forro em tábuas em Casquinha (*Pinus silvestris* L.) com 2,5cm espessura, largura 21,5cm e comprimento variável. Forro fixo em estrutura de barrotes de 15cm×12cm e sarrafos que está no pavimento de cima revestido por soalho de Casquinha com 2,5cm de espessura;
- b.** Massa superficial do forro:
- Casquinha branca densidade 500 a 540kg/m³ (cf. [92]); $m = 2 \times 0,025m \times 500\text{kg/m}^3 = 25\text{kg/m}^2$;
 - Nota: é considerada a parte mais esbelta do forro, ou seja secção sem barrotes.
- c.** Redução da transmissão sonora:
- $R_w = 27,5\text{dB}$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]);
 - $L_{n,w} = 169 - 35 \times \text{Log}(25) \approx 120,1 \approx 120\text{dB}$;
 - $\Delta L_w = 0$;
 - $L_{n,w,eq} = L_{n,w} - \Delta L_w = 120 - 0 = 120\text{dB}$.

Apêndice 39. Pav. tijoleira em arco de adobe

- a.** Arco abatido de adobe com espessura variável e com revestimento de pavimento em tijoleira de barro tipo *Santa Catarina* (30×15cm) de 1,7cm de espessura assente em 2cm de argamassa de cal;
- b.** Massa dos elementos onde se transmite a percussão:
- Arco em tijolos de adobe, lugar de menor espessura (topo do arco); $m = 611\text{kg/m}^2$ (cf. *Apêndice 39*);
 - Revestimento de pavimento de tijoleira em barro tipo *Santa Catarina* (30×15cm) de 1,5cm de espessura; $m = 1,450\text{kg/m}^3 / (0,3 \times 0,15) = 32,2(2) \approx 32,2\text{kg/m}^2$ (cf. [25]);
 - Argamassa de assentamento de tijoleira com 2cm; $m = 0,02\text{m} \times 1720\text{kg/m}^3 = 34,4\text{kg/m}^2$ (cf. [89], pág 53);
 - Massa total = $611 + 32,2 + 34,4 = 677,6 \approx 678\text{kg/m}^2$.
- c.** Redução da transmissão sonora:
- $L_{n,w} = 169 - 35 \times \text{Log}(678) \approx 69,91 \approx 70\text{dB}$;
 - $\Delta L_w = 0$;
 - $L_{n,w,eq} = L_{n,w} - \Delta L_w = 70 - 0 = 70\text{dB}$;
 - Redução da transmissão sonora do pano de parede (678kg/m^2), $R_w = 56\text{dB}$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]).

Apêndice 40. Pav. cerâmico em laje betão armado ed. de placa

- a.** Laje de betão armado com espessura 10cm, coberta com betonilha de regularização de 3cm e com revestimento cerâmico de 5mm de espessura colado com 1cm de cola cimentícia.
- b.** Massa dos elementos:
- Laje de betão armado B20 (C16/20) com varões lisos A235; $m = 0,10\text{m} \times 2500\text{kg/m}^3 = 250\text{kg/m}^2$;
 - Betonilha de regularização; $m = 0,03\text{m} \times 2100\text{kg/m}^3 = 63\text{kg/m}^2$;
 - Revestimento cerâmico constituído por mosaicos de 5mm de espessura e cola cimentícia de 1cm; $m = 150\text{kg/m}^2$ (cf. [46]);
 - Massa total = $250 + 63 + 150 = 463\text{kg/m}^2$.
- c.** Redução da transmissão sonora:
- $L_{n,w} = 169 - 35 \times \text{Log}(463) \approx 75,7 \approx 76\text{dB}$;
 - $\Delta L_w = 0$;
 - $L_{n,w,eq} = L_{n,w} - \Delta L_w = 76 - 0 = 76\text{dB}$;
 - Redução da transmissão sonora do pavimento ($m = 463\text{kg/m}^2$), $R_w = 53\text{dB}$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]).

Apêndice 41. Pav. cerâmico em laje betão armado

a. Laje de betão armado com espessura 15cm, coberta com betonilha de regularização de 7cm, e com revestimento cerâmico de 5mm de espessura colado com 1cm de cola cimentícia.

b. Massa dos elementos:

i. Massa de laje de betão armado de espessura 15cm = $0,15\text{m} \times 2500\text{kg/m}^3 = 375\text{kg/m}^2$;

ii. Massa de betonilha de regularização de espessura 7cm = $0,07\text{m} \times 2100\text{kg/m}^3 = 147\text{kg/m}^2$;

iii. Massa de revestimento cerâmico constituído por mosaicos de 5mm de espessura e cola cimentícia de 1cm = 150kg/m^2 (cf. [46]);

iv. Massa total = $375 + 147 + 150 = 672\text{kg/m}^2$.

c. Redução da transmissão sonora:

i. $L_{n,w} = 169 - 35 \times \text{Log}(672) \approx 76,58 \approx 70\text{dB}$;

ii. $\Delta L_w = 0$;

iii. $L_{n,w,eq} = L_{n,w} - \Delta L_w = 70 - 0 = 70\text{dB}$.

d. Redução da transmissão sonora só da laje ($m = 375\text{kg/m}^2$), $R_w = 52\text{dB}$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]);

e. Custo do elemento construtivo:

i. Preços e rendimentos obtidos em [79], [80] e [81]:

| Pav. cerâmico em laje betão armado | | | | |
|---|----------------|------------|-----------------|--------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Servente (fabrico de argamassas) | h | 0,306 | 6,52€ | 1,995€ |
| Pedreiro | h | 0,380 | 9,14€ | 3,473€ |
| Servente | h | 0,162 | 6,52€ | 1,056€ |
| Armadores ferro | h | 0,140 | 9,14€ | 1,280€ |
| Servente de armadores ferro | h | 0,047 | 6,52€ | 0,306€ |
| Ladrilhador | h | 0,871 | 9,14€ | 7,961€ |
| Servente de ladrilhador | h | 0,373 | 6,52€ | 2,432€ |
| Pedreiro | h | 0,283 | 9,14€ | 2,587€ |
| Servente | h | 0,660 | 6,52€ | 4,303€ |
| Cofrageiro | h | 5,880 | 9,14€ | 53,743€ |
| Servente de cofrageiro | h | 2,520 | 6,52€ | 16,430€ |
| Armadores ferro | h | 2,010 | 9,14€ | 18,371€ |
| Servente de armadores ferro | h | 0,670 | 6,52€ | 4,368€ |
| Água | m ³ | 0,015 | 1,40€ | 0,021€ |
| Arame recozido de atar | kg | 0,010 | 0,90€ | 0,009€ |
| Espaçadores de plástico | un | 3,500 | 0,07€ | 0,245€ |
| Malhasol CQ 38 – 150×150 – Ø3,8×Ø3,8 – 1,19kg | m ² | 1,180 | 1,02€ | 1,204€ |
| Cimento Portland Cinzento II 32,5MPa | kg | 26,880 | 0,10€ | 2,688€ |

| | | | | |
|---|----------------|---------|------------------|-------------------------|
| Areia do rio | m ³ | 0,090 | 20,00€ | 1,800€ |
| Weber Color Classic Branco | kg | 4,500 | 0,214€ | 0,963€ |
| Weber Color Art Branco | kg | 0,213 | 0,906€ | 0,193€ |
| Cruzetas juntas 2mm | un | 11,111 | 0,010€ | 0,111€ |
| Mosaico cerâmico com 30×30cm | m ² | 1,080 | 10,000€ | 10,800€ |
| Betão C30/37 XC3 S3 D _{máx.} =22mm CI=0,4 | m ³ | 1,100 | 78,850€ | 86,735€ |
| Madeira pinho – Sarrafo 4×4cm | m ³ | 0,877 | 0,396€ | 0,347€ |
| Painel Tricapa 27mm | m ² | 0,747 | 14,850€ | 11,093€ |
| Vigas H20 | m ³ | 1,050 | 8,745€ | 9,182€ |
| Prumo metálico 2,20m - 4,00m | un | 0,070 | 30,700€ | 2,149€ |
| Óleo descofrante | lt | 0,700 | 6,570€ | 4,599€ |
| Pregos | kg | 1,750 | 0,750€ | 1,313€ |
| Aço A500NR | kg | 132,750 | 0,765€ | 101,554€ |
| Arame recozido de atar | kg | 1,125 | 0,900€ | 1,013€ |
| Espaçadores de plástico | un | 0,438 | 0,066€ | 0,029€ |
| Betoneira elétrica | h | 0,306 | 0,71€ | 0,217€ |
| Nível de Laser Hilti | h | 0,542 | 0,42€ | 0,228€ |
| Rebarbadora 22-230mm | h | 1,244 | 0,29€ | 0,361€ |
| Cortadora Rubi TS-40 | h | 1,244 | 0,44€ | 0,547€ |
| Misturador Bosch GRW 9 | h | 1,244 | 0,25€ | 0,311€ |
| Autobomba de betão | m ³ | 1,100 | 8,50€ | 9,350€ |
| Vibrador de agulha | h | 0,943 | 1,29€ | 1,216€ |
| Máq. de cortar e dobrar ferro | h | 2,681 | 1,29€ | 3,458€ |
| Serra corte circular Bosch GKS 85 | h | 8,400 | 0,18€ | 1,512€ |
| Serra mesa Bosch GTS 10 J | h | 8,400 | 0,75€ | 6,300€ |
| | | | Subtotal: | 377,855€ |
| Margem (condições de execução normal) | | | 24% | |
| | | | Total: | 468,54 €/m ² |

Tabela 66 - Custos e rendimentos pav. cerâmico em laje betão armado

Apêndice 42. Pav. cerâmico dessolidarizado 40mm em laje betão armado

a. Laje de betão armado com espessura 10cm, coberta com betonilha de regularização de 3cm com revestimento cerâmico (5mm de espessura) colado com cola cimentícia (1cm de espessura). Revestimento de reabilitação em pavimento cerâmico (5mm de espessura) colado com cola cimentícia (1cm de espessura) assente em betonilha armada de 4cm sobre camada resiliente de aglomerado de cortiça e feltro betuminoso (cf. [85] Patrício pág. 339).

b. Massa dos elementos:

- i. Laje de betão armado B20 (C16/20) com varões lisos A235; $m = 0,10m \times 2500kg/m^3 = 250kg/m^2$;
- ii. Betonilha de regularização; $m = 0,03m \times 2100kg/m^3 = 63kg/m^2$;
- iii. Revestimento cerâmico constituído por mosaicos de 5mm de espessura e cola cimentícia de 1cm; $m = 150kg/m^2$ (cf. [46]);
- iv. Massa total = $250 + 63 + 150 = 463kg/m^2$.

c. Redução da transmissão sonora:

- i. $L_{n,w} = 169 - 35 \times \text{Log}(463) \approx 75,7 \approx 76\text{dB}$;
- ii. $\Delta L_w = 14 \text{ dB}$ (cf. [14] diapositivo 59);
- iii. $L_{n,w,eq} = L_{n,w} - \Delta L_w = 76 - 14 = 62\text{dB}$.

d. Custo de elemento construtivo

- i. Preços e rendimentos obtidos em [84]

| Pav. cerâmico dessolidarizado 40mm em laje betão armado | | | | |
|--|----------------|------------|-----------------|--------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Servente (fabrico de argamassas) | h | 0,153 | 6,52€ | 0,998€ |
| Pedreiro | h | 0,19 | 9,14€ | 1,737€ |
| Servente | h | 0,081 | 6,52€ | 0,528€ |
| Ladrilhador | h | 0,871 | 9,14€ | 7,961€ |
| Servente de ladrilhador | h | 0,373 | 6,52€ | 2,432€ |
| Espaçadores de plástico | un | 3,5 | 0,07€ | 0,245€ |
| Malhasol CQ 38 – 150×150 – Ø3,8×Ø3,8 – 1,19kg | m ² | 1,18 | 1,02€ | 1,204€ |
| Água | m ³ | 0,0075 | 1,40€ | 0,011€ |
| Cimento Portland Cinzento II 32,5MPa | kg | 13,44 | 0,10€ | 1,344€ |
| Areia do rio | m ³ | 0,045 | 20,00€ | 0,900€ |
| Weber Color Classic Branco | kg | 4,5 | 0,21€ | 0,963€ |
| Weber Color Art Branco | kg | 0,213 | 0,91€ | 0,193€ |
| Cruzetas juntas 2mm | un | 11,111 | 0,01€ | 0,111€ |
| Mosaico cerâmico com 30×30cm | m ² | 1,08 | 10,00€ | 10,800€ |
| Aglomerado negro de cortiça | m ² | 1,100 | 3,40€ | 3,740€ |
| Espaçadores de plástico | un | 0,438 | 0,07€ | 0,029€ |
| Betoneira elétrica | h | 0,306 | 0,71€ | 0,217€ |

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-------|-------|---------|
| Nivel de Laser Hilti | h | 0,542 | 0,42€ | 0,228€ |
| Betoneira elétrica | h | 0,153 | 0,71€ | 0,109€ |
| Nivel de Laser Hilti | h | 0,271 | 0,42€ | 0,114€ |
| Rebarbadora 22-230mm | h | 1,244 | 0,29€ | 0,361€ |
| Cortadora Rubi TS-40 | h | 1,244 | 0,44€ | 0,547€ |
| Misturador Bosch GRW 9 | h | 1,244 | 0,25€ | 0,311€ |
| Subtotal: | | | | 35,073€ |
| Margem (condições de execução normal) | | 24% | | |
| Total: | | | | 43,49€ |

Tabela 67 - Custos e rendimentos pav. cerâmico dessolidarizado 40mm sobre laje betão armado existente

Apêndice 43. Pav. cerâmico dessolidarizado 3mm em laje betão armado

a. Laje de betão armado com espessura 15cm, coberta com betonilha de regularização de 7cm. Revestimento cerâmico (5mm de espessura) colado com cola cimentícia (1cm de espessura) em lajeta flutuante de 4cm assente sobre membrana flexível de 3mm de espessura.

b. Massa dos elementos:

i. Laje de betão armado 15cm; $m = 0,15m \times 2500kg/m^3 = 375kg/m^2$;

ii. Betonilha de regularização 7cm; $m = 0,07m \times 2100kg/m^3 = 147kg/m^2$;

iii. Massa total = $375 + 147 = 522kg/m^2$.

c. Redução da transmissão sonora:

i. $L_{n,w} = 169 - 35 \times \text{Log}(522) \approx 74dB$;

ii. $\Delta L_w = 19 dB$ (cf. [14] diapositivo 59);

iii. $L_{n,w,eq} = L_{n,w} - \Delta L_w = 74 - 19 = 55dB$.

d. Custo de elementos construtivos com preços e rendimentos retirados de [84]

| Pav. cerâmico dessolidarizado 3mm em laje betão armado | | | | |
|---|-----------|------------|-----------------|--------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Servente (fabrico de argamassas) | h | 0,306 | 6,52€ | 1,995€ |
| Pedreiro | h | 0,38 | 9,14€ | 3,473€ |
| Servente | h | 0,162 | 6,52€ | 1,056€ |
| Armadores ferro | h | 0,14 | 9,14€ | 1,280€ |
| Servente de armadores ferro | h | 0,047 | 6,52€ | 0,306€ |
| Servente (fabrico de argamassas) | h | 0,153 | 6,52€ | 0,998€ |
| Pedreiro | h | 0,19 | 9,14€ | 1,737€ |
| Servente | h | 0,081 | 6,52€ | 0,528€ |
| Ladrilhador | h | 0,871 | 9,14€ | 7,961€ |
| Servente de ladrilhador | h | 0,373 | 6,52€ | 2,432€ |

| | | | | |
|---|----------------|--------|--------|----------|
| Pedreiro | h | 0,283 | 9,14€ | 2,587€ |
| Servente | h | 0,66 | 6,52€ | 4,303€ |
| Cofrageiro | h | 5,88 | 9,14€ | 53,743€ |
| Servente de cofrageiro | h | 2,52 | 6,52€ | 16,430€ |
| Armadores ferro | h | 2,01 | 9,14€ | 18,371€ |
| Servente de armadores ferro | h | 0,67 | 6,52€ | 4,368€ |
| Água | m ³ | 0,015 | 1,40€ | 0,021€ |
| Arame recozido de atar | kg | 0,01 | 0,90€ | 0,009€ |
| Espaçadores de plástico | un | 3,5 | 0,07€ | 0,245€ |
| Malhasol CQ 38 – 150×150 – Ø3,8×Ø3,8 – 1,19kg | m ² | 1,18 | 1,02€ | 1,204€ |
| Cimento Portland Cinzento II 32,5MPa | kg | 26,88 | 0,10€ | 2,688€ |
| Areia do rio | m ³ | 0,09 | 20,00€ | 1,800€ |
| Água | m ³ | 0,0075 | 1,40€ | 0,011€ |
| Cimento Portland Cinzento II 32,5MPa | kg | 13,44 | 0,10€ | 1,344€ |
| Areia do rio | m ³ | 0,045 | 20,00€ | 0,900€ |
| Weber Color Classic Branco | kg | 4,5 | 0,21€ | 0,963€ |
| Weber Color Art Branco | kg | 0,213 | 0,91€ | 0,193€ |
| Cruzetas juntas 2mm | un | 11,111 | 0,01€ | 0,111€ |
| Mosaico cerâmico com 30×30cm | m ² | 1,08 | 10,00€ | 10,800€ |
| Betão C30/37 XC3 S3 D _{máx.} =22mm CI=0,4 | m ³ | 1,100 | 78,85€ | 86,735€ |
| Madeira pinho – Sarrafo 4×4cm | m ³ | 0,877 | 0,40€ | 0,347€ |
| Painel Tricapa 27mm | m ² | 0,747 | 14,85€ | 11,093€ |
| Vigas H20 | m ³ | 1,05 | 8,75€ | 9,182€ |
| Prumo metálico 2,20m - 4,00m | un | 0,07 | 30,70€ | 2,149€ |
| Óleo descofrante | lt | 0,7 | 6,57€ | 4,599€ |
| Pregos | kg | 1,75 | 0,75€ | 1,313€ |
| Aço A500NR | kg | 132,75 | 0,77€ | 101,554€ |
| Arame recozido de atar | kg | 1,125 | 0,90€ | 1,013€ |
| Base flutuante de espuma de poliestireno extrudido 3 em 1 | m ² | 1,100 | 2,49€ | 2,739€ |
| Espaçadores de plástico | un | 0,438 | 0,07€ | 0,029€ |
| Betoneira elétrica | h | 0,306 | 0,71€ | 0,217€ |
| Nível de Laser Hilti | h | 0,542 | 0,42€ | 0,228€ |
| Betoneira elétrica | h | 0,153 | 0,71€ | 0,109€ |
| Nível de Laser Hilti | h | 0,271 | 0,42€ | 0,114€ |
| Rebarbadora 22-230mm | h | 1,244 | 0,29€ | 0,361€ |

| | | | | |
|---------------------------------------|----------------|-------|-------|----------|
| Cortadora Rubi TS-40 | h | 1,244 | 0,44€ | 0,547€ |
| Misturador Bosch GRW 9 | h | 1,244 | 0,25€ | 0,311€ |
| Autobomba de betão | m ³ | 1,1 | 8,50€ | 9,350€ |
| Vibrador de agulha | h | 0,943 | 1,29€ | 1,216€ |
| Máq. De cortar e dobrar ferro | h | 2,681 | 1,29€ | 3,458€ |
| Serra corte circular Bosch GKS 85 | h | 8,4 | 0,18€ | 1,512€ |
| Serra mesa Bosch GTS 10 J | h | 8,4 | 0,75€ | 6,300€ |
| Subtotal: | | | | 391,096€ |
| Margem (condições de execução normal) | 24% | | | |
| Total: | | | | 484,959€ |

Tabela 68 - Custos e rendimentos pav. cerâmico dessolidarizado 3mm em laje betão armado

Apêndice 44. Pav. cerâmico em laje pré-esforçada

a. Pavimento pré-esforçado com blocos de 21cm e camada de betão de 4cm de espessura, c/ revestimento cerâmico.

b. Massa dos elementos onde se transmite a percussão:

i. Laje de vigotas pré-esforçada P3-38×16-21 $\approx 287\text{kg/m}^2$ (cf. pág. 78 [1]);

ii. Revestimento cerâmico constituído por mosaicos de 5mm de espessura e cola cimentícia de 1cm = 150kg/m^2 (cf. [46]);

iii. Massa total = $287 + 150 = 437\text{kg/m}^2$.

c. Redução da transmissão sonora:

i. $L_{n,w} = 169 - 35 \times \text{Log}(437) \approx 76,58 \approx 77\text{dB}$;

ii. $\Delta L_w = 0$;

iii. $L_{n,w,eq} = L_{n,w} - \Delta L_w = 77 - 0 = 77\text{dB}$.

d. Custo do elementos construtivos:

i. Preços e rendimentos obtidos em [75] e [76]

| Pav. cerâmico em laje pré-esforçada | | | | |
|---|----------------|--------|----------|--------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Pedreiro | h | 0,682 | 9,14€ | 6,234€ |
| Servente | h | 0,221 | 6,52€ | 1,439€ |
| Armadores ferro | h | 0,158 | 9,14€ | 1,443€ |
| Servente de armadores ferro | h | 0,053 | 6,52€ | 0,343€ |
| Ladrilhador | h | 0,871 | 9,14€ | 7,964€ |
| Servente de ladrilhador | h | 0,373 | 6,52€ | 2,432€ |
| Betão C30/37 XC3 S3 D _{máx.} =22mm CI=0,4 | m ³ | 0,092 | 78,850€ | 7,286€ |
| Pré-esforçado vigota 120*100 P3 | ml | 2,100 | 2,400€ | 5,040€ |
| Bloco Cofragem corrente 38*0.16 B38.16 | un | 10,500 | 0,500€ | 5,250€ |
| Aço A500NR | kg | 1,205 | 0,765€ | 0,922€ |
| Arame recozido de atar | kg | 0,020 | 0,900€ | 0,018€ |
| Espaçadores de plástico | un | 3,500 | 0,066€ | 0,231€ |

| | | | | |
|---------------------------------------|----------------|--------|---------|-----------------------|
| NQ 50 – 100×100 – Ø5×Ø5 – 3,08kg | m ² | 1,180 | 2,750€ | 3,245€ |
| Weber Color Classic Branco | kg | 4,500 | 0,214€ | 0,963€ |
| Weber Color Art Branco | kg | 0,213 | 0,906€ | 0,193€ |
| Cruzetas juntas 2mm | un | 11,111 | 0,010€ | 0,111€ |
| Mosaico cerâmico com 30×30cm | m ² | 1,080 | 10,000€ | 10,800€ |
| Autobomba de betão | m ³ | 0,092 | 8,50€ | 0,785€ |
| Vibrador de agulha | h | 0,080 | 1,29€ | 0,103€ |
| Máq. de cortar e dobrar ferro | h | 0,025 | 1,29€ | 0,032€ |
| Rebarbadora Bosch GWS 22-230mm | h | 0,823 | 0,29€ | 0,235€ |
| Rebarbadora 22-230mm | h | 1,244 | 0,29€ | 0,356€ |
| Cortadora Rubi TS-40 | h | 1,244 | 0,44€ | 0,549€ |
| Misturador Bosch GRW 9 | h | 1,244 | 0,25€ | 0,310€ |
| Subtotal: | | | | 56,28€ |
| Margem (condições de execução normal) | 24% | | | |
| Total: | | | | 69,78€/m ² |

Tabela 69 - Custos e rendimentos pav. cerâmico em laje pré-esforçada

Apêndice 45. Substituição de pavimento existente por pav. flutuante madeira em de laje betão armado

a. Substituição do piso existente por laje de betão armado com espessura 15cm, coberta com betonilha de regularização de 7cm, e com revestimento de pavimento flutuante de aglomerado de madeira assente em membrana flexível de 3mm de espessura. Inclui Desmonte de soalho em madeira existente, assente sobre estrutura de madeira, incluindo transporte de produtos sobranes a vazadouro autorizado.

b. Massa dos elementos:

i. Laje de betão armado de espessura 15cm = $0,15m \times 2500kg/m^3 = 375kg/m^2$;

ii. Betonilha de regularização de espessura 7cm = $0,07m \times 2100kg/m^3 = 147kg/m^2$;

iii. Massa total = $375 + 147 = 522kg/m^2$.

c. Redução da transmissão sonora:

i. $L_{n,w} = 169 - 35 \times \text{Log}(522) \approx 74\text{dB}$;

ii. $\Delta L_w = 18\text{dB}$ (cf. [14] diapositivo 59);

iii. $L_{n,w,eq} = L_{n,w} - \Delta L_w = 74 - 18 = 56\text{dB}$.

d. Custo do elemento construtivo:

i. Preços e rendimentos obtidos em [79], [82], [80], [55] e [60]

| Pav. flutuante madeira - laje betão armado | | | | |
|--|----------------|------------|-----------------|--------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Demolição de soalho de madeira existente e transporte para vazadouro | m ² | 1,000 | 5,29€ | 5,290€ |
| Servente (fabrico de argamassas) | h | 0,306 | 6,52€ | 1,994€ |
| Pedreiro | h | 0,380 | 9,14€ | 3,470€ |
| Servente | h | 0,162 | 6,52€ | 1,059€ |
| Armadores ferro | h | 0,140 | 9,14€ | 1,280€ |
| Servente de armadores ferro | h | 0,047 | 6,52€ | 0,307€ |
| Pedreiro | h | 0,283 | 9,14€ | 2,590€ |
| Servente | h | 0,660 | 6,52€ | 4,301€ |
| Cofrageiro | h | 5,880 | 9,14€ | 53,743€ |
| Servente de cofrageiro | h | 2,520 | 6,52€ | 16,430€ |
| Armadores ferro | h | 2,010 | 9,14€ | 18,375€ |
| Servente de armadores ferro | h | 0,670 | 6,52€ | 4,367€ |
| Aplicador de pavimento estratificado flutuante | h | 0,671 | 9,14€ | 6,13€ |
| Água | m ³ | 0,015 | 1,40€ | 0,021€ |
| Arame recozido de atar | kg | 0,010 | 0,90€ | 0,009€ |
| Espaçadores de plástico | un | 3,500 | 0,07€ | 0,231€ |
| Malhasol CQ 38 - 150×150 - Ø3,8×Ø3,8 - 1,19kg | m ² | 1,180 | 1,02€ | 1,204€ |
| Cimento Portland Cinzento II 32,5MPa | kg | 26,880 | 0,10€ | 2,688€ |

| | | | | |
|--|----------------|---------|---------|------------------------|
| Areia do rio | m ³ | 0,090 | 20,00€ | 1,798€ |
| Betão C30/37 XC3 S3 D _{máx.} =22mm CI=0,4 | m ³ | 1,100 | 78,850€ | 86,735€ |
| Madeira pinho – Sarrafo 4×4cm | m ^l | 0,877 | 0,396€ | 0,347€ |
| Painel Tricapa 27mm | m ² | 0,747 | 14,850€ | 11,088€ |
| Vigas H20 | m ^l | 1,050 | 8,745€ | 9,183€ |
| Prumo metálico 2,20m - 4,00m | un | 0,070 | 30,700€ | 2,149€ |
| Óleo descofrante | lt | 0,700 | 6,570€ | 4,599€ |
| Pregos | kg | 1,750 | 0,750€ | 1,313€ |
| Aço A500NR | kg | 132,750 | 0,765€ | 101,554€ |
| Arame recozido de atar | kg | 1,125 | 0,900€ | 1,013€ |
| Pavimento estratificado flutuante | m ² | 1,100 | 5,99€ | 6,589€ |
| Base flutuante de espuma de poliestireno extrudido 3 em 1 | m ² | 1,100 | 2,49€ | 2,739€ |
| Espaçadores de plástico | un | 0,438 | 0,066€ | 0,029€ |
| Betoneira elétrica | h | 0,306 | 0,71€ | 0,217€ |
| Nível de Laser Hilti | h | 0,542 | 0,42€ | 0,227€ |
| Autobomba de betão | m ³ | 1,100 | 8,50€ | 9,350€ |
| Vibrador de agulha | h | 0,943 | 1,29€ | 1,216€ |
| Máq. de cortar e dobrar ferro | h | 2,681 | 1,29€ | 3,456€ |
| Serra corte circular Bosch GKS 85 | h | 16,800 | 0,18€ | 3,024€ |
| Serra mesa Bosch GTS 10 J | h | 8,400 | 0,75€ | 6,334€ |
| Subtotal: | | | | 376,209€ |
| Margem (condições de execução normal) | 24% | | | |
| Total: | | | | 466,50€/m ² |

Tabela 70 - Custos e rendimentos pav. flutuante madeira sobre laje betão armado incl. demolição de soalho existente

Apêndice 46. (Reab. Acústica) recuperação de soalho de madeira existente

- a.** Piso existente: soalho em Casquinha (*Pinus silvestris* L.) com 30mm espessura, largura 22cm e comprimento variável;
- b.** Reabilitação acústica: recuperação do soalho de madeira existente com preenchimento de juntas, afagamento de madeiras e remendo de degradados;
- c.** Massa dos elementos onde se transmite a percussão/massa superficial:
- i. Casquinha branca densidade 500 a 540kg/m³ (cf. [92]); $m = 0,03m \times 500\text{kg/m}^3 + 0,35 = 15,35\text{kg/m}^2$;
 - ii. Nota: é considerada a parte mais esbelta do soalho, ou seja secções sem barrotes;
 - iii. Aumento de massa = $7m \times 0,01m \times 0,005m \times 1000\text{kg/m}^3 = 0,35\text{kg}$.
- d.** Transmissão sonora (sons de percussão):
- i. $L_{n,w} = 169 - 35 \times \text{Log}(15,35) \approx 127,5 \approx 128\text{dB}$;
 - ii. $\Delta L_w = 0$;
 - iii. $L_{n,w,eq} = L_{n,w} - \Delta L_w = 128 - 0 = 128\text{dB}$.
- e.** Redução da transmissão sonora (sons aéreos):
- i. $R_w = 27,5\text{dB}$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]).
- f.** Custos e rendimentos da reabilitação:
- i. Preços e rendimentos retirados de [30]:

| Recuperação de soalho de madeira existente | | | | |
|--|-----------|------------|-----------------|-----------------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Cartucho de silicone sintético cor madeira de 310ml (rendimento aproximado de 12m por cartucho). (consumido $5 \times 1 + 8 \times 0,22 + 2 \times 0,12 = 7\text{m}$) | un | 0,583 | 2,42€ | 1,41€ |
| Meios auxiliares | % | 2,000 | 281,01€ | 5,62€ |
| Custos indiretos | % | 3,000 | 286,63€ | 8,60€ |
| Subtotal: | | | | 15,63€ |
| Margem (condições de execução normal) | | 24% | | |
| Total: | | | | 19,38€/m ² |

Tabela 71 - Custos e rendimentos (Reab. Acústica) recuperação de soalho de madeira existente

Apêndice 47. (Reab. Acústica) pav. cerâmico sobre soalho de madeira existente

a. Aplicação, sobre piso em soalho de madeira existente, de betonilha de regularização de 4cm e revestimento cerâmico de 5mm de espessura colado com 1cm de cola cimentícia.

b. Massa dos elementos:

i. Betonilha de regularização de espessura 4cm; $m = 0,04m \times 2100\text{kg/m}^3 = 84\text{kg/m}^2$;

ii. Revestimento cerâmico constituído por mosaicos de 5mm de espessura e cola cimentícia de 1cm; $m = 150\text{kg/m}^2$ (cf. [46]);

iii. Massa total = $84 + 150 = 234\text{kg/m}^2$.

c. Redução da transmissão sonora:

i. $L_{n,w} = 169 - 35 \times \text{Log}(234) \approx 86,1 \approx 86\text{dB}$;

ii. $\Delta L_w = 0$;

iii. $L_{n,w,eq} = L_{n,w} - \Delta L_w = 86 - 0 = 86\text{dB}$.

d. Custo do elemento construtivo:

i. Preços e rendimentos obtidos em [79], [80] e [81]

| Pav. cerâmico sobre soalho de madeira existente | | | | |
|--|----------------|------------|-----------------|------------------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Ladrilhador | h | 0,871 | 9,14€ | 7,961€ |
| Servente de ladrilhador | h | 0,373 | 6,52€ | 2,432€ |
| Pedreiro | h | 0,283 | 9,14€ | 2,587€ |
| Servente | h | 0,660 | 6,52€ | 4,303€ |
| Água | m ³ | 0,015 | 1,40€ | 0,021€ |
| Malhasol CQ 38 – 150×150 – Ø3,8×Ø3,8 – 1,19kg | m ² | 1,180 | 1,02€ | 1,204€ |
| Cimento Portland Cinzento II 32,5MPa | kg | 26,880 | 0,10€ | 2,688€ |
| Areia do rio | m ³ | 0,090 | 20,00€ | 1,800€ |
| Weber Color Classic Branco | kg | 4,500 | 0,214€ | 0,963€ |
| Weber Color Art Branco | kg | 0,213 | 0,906€ | 0,193€ |
| Cruzetas juntas 2mm | un | 11,111 | 0,010€ | 0,111€ |
| Mosaico cerâmico com 30×30cm | m ² | 1,080 | 10,000€ | 10,800€ |
| Betoneira elétrica | h | 0,306 | 0,71€ | 0,217€ |
| Nível de Laser Hilti | h | 0,542 | 0,42€ | 0,228€ |
| Rebarbadora 22-230mm | h | 1,244 | 0,29€ | 0,361€ |
| Cortadora Rubi TS-40 | h | 1,244 | 0,44€ | 0,547€ |
| Misturador Bosch GRW 9 | h | 1,244 | 0,25€ | 0,311€ |
| Subtotal: | | | | 36,727€ |
| Margem (condições de execução normal) | | 24% | | |
| Total: | | | | 45,54 €/m ² |

Tabela 72 - Custos e rendimentos (Reab. Acústica) pav. cerâmico sobre soalho de madeira existente

Apêndice 48. (Reab. Acústica) pav. flutuante madeira Boltherm 510 sobre pav. existente em tijoleira sobre arco de adobe

a. Piso existente: Arco abatido de adobe com espessura variável e com revestimento de pavimento de tijoleira de barro tipo *Santa Catarina* (30×15cm) de 1,7cm de espessura assente em 2cm de argamassa de cal;

b. Reabilitação acústica: revestimento de pavimento flutuante de aglomerado de madeira assente em membrana termo-acústica *Boltherm 510* de 10mm de espessura;

c. Massa dos elementos:

i. Arco em tijolos de adobe, lugar de menor espessura (topo do arco); $m = 611\text{kg/m}^2$ (cf. *Apêndice 39*);

ii. Revestimento de pavimento de tijoleira de barro tipo *Santa Catarina* (30×15cm) de 1,5cm de espessura; $m = 1,450\text{kg/m}^3 / (0,3 \times 0,15) = 32,2(2) \approx 32,2\text{kg/m}^2$ (cf. [25]);

iii. Argamassa de assentamento de tijoleira com 2cm; $m = 0,02\text{m} \times 1720\text{kg/m}^3$ (cf. [89], pág 53) = $34,4\text{kg/m}^2$;

iv. Massa total = $611 + 32,2 + 34,4 = 677,6 \approx 678\text{kg/m}^2$.

d. Redução da transmissão sonora:

i. $L_{n,w} = 169 - 35 \times \text{Log}(678) \approx 69,91 \approx 70\text{dB}$;

ii. $\Delta L_w = 23\text{dB}$ (cf. pg.5 [101]);

iii. $L_{n,w,eq} = L_{n,w} - \Delta L_w = 70 - 23 = 47\text{dB}$.

e. Custo do elemento construtivo:

i. Preços e rendimentos obtidos em [79], [80] e [81]

| (Reab. Acústica) pav. flutuante madeira Boltherm 510 | | | | |
|---|----------------|------------|-----------------|-----------------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Aplicador de pavimento estratificado flutuante | h | 0,671 | 9,14€ | 6,133€ |
| Pavimento estratificado flutuante | m ² | 1,100 | 5,99€ | 6,589€ |
| Boltherm 510 | m ² | 1,100 | 5,46€ | 6,006€ |
| Serra corte circular Bosch GKS 85 | h | 0,040 | 0,18€ | 0,007€ |
| Subtotal: | | | | 18,735€ |
| Margem (condições de execução normal) | | 24% | | |
| Total: | | | | 23,23€/m ² |

Tabela 73 - Custos e rendimentos (Reab. Acústica) pav. flutuante madeira Boltherm 510

ii. Preço *Boltherm 509* com IVA de 23% = $4,44 \times 1,23 \approx 5,46\text{€/m}^2$ (cf. Sotecnisol [105]).

Apêndice 49. (Reab. Acústica) pav. cerâmico dessolidarizado 3mm sobre pav. existente de tijoleira em arco de adobe

a. Piso existente: Arco abatido de adobe com espessura variável e com revestimento de pavimento em tijoleira de barro tipo *Santa Catarina* (30×15cm) de 1,7cm de espessura assente em 2cm de argamassa de cal;

b. Reabilitação acústica: Revestimento cerâmico (5mm de espessura) colado com cola cimêntícia (1cm de espessura) em lajeta flutuante de 4cm assente sobre membrana flexível de 3mm de espessura;

c. Massa dos elementos:

i. Arco em tijolos de adobe, lugar de menor espessura (topo do arco); $m = 611\text{kg/m}^2$ (cf. *Apêndice 39*);

ii. Revestimento de pavimento em tijoleira de barro tipo *Santa Catarina* (30×15cm) de 1,5cm de espessura; $m = 1,450\text{kg/m}^3 / (0,3 \times 0,15) = 32,2(2) \approx 32,2\text{kg/m}^3$ (cf. [25]);

iii. Argamassa de assentamento de tijoleira com 2cm; $m = 0,02\text{m} \times 1720\text{kg/m}^3 = 34,4\text{kg/m}^2$ (cf. [89], pág 53);

iv. Massa total = $611 + 32,2 + 34,4 = 677,6 \approx 678\text{kg/m}^2$.

d. Redução da transmissão sonora:

i. $L_{n,w} = 169 - 35 \times \text{Log}(678) \approx 69,91 \approx 70\text{dB}$;

ii. $\Delta L_w = 19\text{ dB}$ (cf. [14] diapositivo 59);

iii. $L_{n,w,eq} = L_{n,w} - \Delta L_w = 70 - 19 = 51\text{dB}$.

e. Custo de elementos construtivos:

i. Preços e rendimentos retirados de [84]:

| (Reab. Acústica) Pav. cerâmico dessolidarizado 3mm | | | | |
|---|----------------|------------|-----------------|--------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Ladrilhador | h | 0,871 | 9,14€ | 7,961€ |
| Servente de ladrilhador | h | 0,373 | 6,52€ | 2,432€ |
| Água | m ³ | 0,015 | 1,40€ | 0,021€ |
| Malhasol CQ 38 – 150×150 – Ø3,8×Ø3,8 – 1,19kg | m ² | 1,18 | 1,02€ | 1,204€ |
| Água | m ³ | 0,0075 | 1,40€ | 0,011€ |
| Cimento Portland Cinzento II 32,5MPa | kg | 13,44 | 0,10€ | 1,344€ |
| Areia do rio | m ³ | 0,045 | 20,00€ | 0,900€ |
| Weber Color Classic Branco | kg | 4,5 | 0,21€ | 0,963€ |
| Weber Color Art Branco | kg | 0,213 | 0,91€ | 0,193€ |
| Cruzetas juntas 2mm | un | 11,111 | 0,01€ | 0,111€ |
| Mosaico cerâmico com 30×30cm | m ² | 1,08 | 10,00€ | 10,800€ |
| Base flutuante de espuma de poliestireno extrudido 3 em 1 | m ² | 1,100 | 2,49€ | 2,739€ |
| Betoneira elétrica | h | 0,153 | 0,71€ | 0,109€ |
| Nível de Laser Hilti | h | 0,271 | 0,42€ | 0,114€ |
| Rebarbadora 22-230mm | h | 1,244 | 0,29€ | 0,361€ |

| | | | | |
|---------------------------------------|---|-------|-------|----------|
| Cortadora Rubi TS-40 | h | 1,244 | 0,44€ | 0,547€ |
| Misturador Bosch GRW 9 | h | 1,244 | 0,25€ | 0,311€ |
| Subtotal: | | | | 391,096€ |
| Margem (condições de execução normal) | | 24% | | |
| Total: | | | | 484,96€ |

Tabela 74 - Custos e rendimentos (Reab. Acústica) pav. cerâmico dessolidarizado 3mm

Apêndice 50. (Reab. Acústica) pav. flutuante madeira sobre pav. existente de tijoleira em arco de adobe

a. Piso existente: Arco abatido de adobe com espessura variável e com revestimento de pavimento em tijoleira de barro tipo *Santa Catarina* (30×15cm) de 1,7cm de espessura assente em 2cm de argamassa de cal;

b. Reabilitação acústica: aplicação direta de revestimento de pavimento flutuante de aglomerado de madeira assente em membrana flexível de 3mm de espessura;

c. Massa dos elementos:

i. Arco em tijolos de adobe, lugar de menor espessura (topo do arco) $m = 611\text{kg/m}^2$ (cf. *Apêndice 39*);

ii. Revestimento de pavimento em tijoleira de barro tipo *Santa Catarina* (30×15cm) de 1,5cm de espessura; $m = 1,450\text{kg/m}^3 / (0,3 \times 0,15) = 32,2(2) \approx 32,2\text{kg/m}^2$ (cf. [25]);

iii. Argamassa de assentamento de tijoleira com 2cm; $m = 0,02\text{m} \times 1720\text{kg/m}^3$ (cf. [89], pág 53) = $34,4\text{kg/m}^2$;

iv. Massa total = $611 + 32,2 + 34,4 = 677,6 \approx 678\text{kg/m}^2$.

d. Redução da transmissão sonora:

i. $L_{n,w} = 169 - 35 \times \text{Log}(678) \approx 69,91 \approx 70\text{dB}$;

ii. $\Delta L_w = 18\text{dB}$ (cf. [14] diapositivo 59);

iii. $L_{n,w,eq} = L_{n,w} - \Delta L_w = 70 - 18 = 52\text{dB}$.

e. Custo do elemento construtivo:

i. Preços e rendimentos obtidos em [79], [80] e [81]:

| (Reab. Acústica) pav. flutuante madeira | | | | |
|---|----------------|-------|----------|-----------------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Aplicador de pavimento estratificado flutuante | h | 0,671 | 9,14€ | 6,133€ |
| Pavimento estratificado flutuante | m ² | 1,100 | 5,99€ | 6,589€ |
| Base flutuante de espuma de poliestireno extrudido 3 em 1 | m ² | 1,100 | 2,49€ | 2,739€ |
| Serra corte circular Bosch GKS 85 | h | 0,040 | 0,18€ | 0,007€ |
| Subtotal: | | | | 15,468€ |
| Margem (condições de execução normal) | | 24% | | |
| Total: | | | | 19,18€/m ² |

Tabela 75 - Custos e rendimentos (Reab. Acústica) pav. flutuante madeira sobre laje betão armado

Apêndice 51. (Reab. Acústica) pav. flutuante de madeira sobre laje betão armado existente

- a. Reabilitação acústica sobre piso existente**
- i. Pisos existente: Laje de betão armado com espessura 15cm, coberta com betonilha de regularização de 7cm, e com revestimento cerâmico de 5mm de espessura colado com 1cm de cola cimentícia;
 - ii. Reabilitação acústica: revestimento de pavimento flutuante de aglomerado de madeira assente em membrana flexível de 3mm de espessura.
- b. Massa dos elementos:**
- i. Laje de betão armado de espessura 15cm; $m = 0,15m \times 2500\text{kg/m}^3 = 375\text{kg/m}^2$;
 - ii. Betonilha de regularização de espessura 7cm; $m = 0,07m \times 2100\text{kg/m}^3 = 147\text{kg/m}^2$;
 - iii. Revestimento cerâmico constituído por mosaicos de 5mm de espessura e cola cimentícia de 1cm; $m = 150\text{kg/m}^2$ (cf. [46]);
 - iv. Massa total = $375 + 147 + 150 = 672\text{kg/m}^2$.
- c. Redução da transmissão sonora:**
- i. $L_{n,w} = 169 - 35 \times \text{Log}(672) \approx 76,58 \approx 70\text{dB}$;
 - ii. $\Delta L_w = 18\text{dB}$ (cf. [14] diapositivo 59);
 - iii. $L_{n,w,eq} = L_{n,w} - \Delta L_w = 70 - 18 = 52\text{dB}$.
- d. Custo do elemento construtivo:**
- i. Preços e rendimentos obtidos em [79], [80] e [81]:

| Reabilitação acústica flutuante madeira | | | | |
|---|----------------|-------|----------|-----------------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Aplicador de pavimento estratificado flutuante | h | 0,671 | 9,14€ | 6,133€ |
| Pavimento estratificado flutuante | m ² | 1,100 | 5,99€ | 6,589€ |
| Base flutuante de espuma de poliestireno extrudido 3 em 1 | m ² | 1,100 | 2,49€ | 2,739€ |
| Serra corte circular Bosch GKS 85 | h | 0,040 | 0,18€ | 0,007€ |
| Subtotal: | | | | 15,468€ |
| Margem (condições de execução normal) | | 24% | | |
| Total: | | | | 19,18€/m ² |

Tabela 76 - Custos e rendimentos (Reab. Acústica) pav. flutuante madeira em laje de betão armado existente

Apêndice 52. (Reab. Acústica) Pav. flutuante madeira c/ Boltherm 510 sobre laje betão armado existente

- a.** Reabilitação acústica sobre piso existente
- i. Pisos existente: Laje de betão armado com espessura 15cm, coberta com betonilha de regularização de 7cm, e com revestimento cerâmico de 5mm de espessura colado com 1cm de cola cimentícia;
 - ii. Reabilitação acústica: revestimento de pavimento flutuante de aglomerado de madeira assente em membrana termo-acústica *Boltherm 510* de 10mm de espessura.
- b.** Massa dos elementos:
- i. Laje de betão armado de espessura 15cm; $m = 0,15m \times 2500\text{kg/m}^3 = 375\text{kg/m}^2$;
 - ii. Betonilha de regularização de espessura 7cm; $m = 0,07m \times 2100\text{kg/m}^3 = 147\text{kg/m}^2$;
 - iii. Revestimento cerâmico constituído por mosaicos de 5mm de espessura e cola cimentícia de 1cm; $m = 150\text{kg/m}^2$ (cf. [46]);
 - iv. Massa total = $375 + 147 + 150 = 672\text{kg/m}^2$.
- c.** Redução da transmissão sonora:
- i. $L_{n,w} = 169 - 35 \times \text{Log}(672) \approx 76,58 \approx 70\text{dB}$;
 - ii. $\Delta L_w = 23\text{dB}$ (cf. pg.5 [101]);
 - iii. $L_{n,w,eq} = L_{n,w} - \Delta L_w = 70 - 23 = 47\text{dB}$.
- d.** Custo do elemento construtivo:
- i. Preços e rendimentos obtidos em [79], [80] e [81]:

| (Reab. Acústica) pav. flutuante madeira c/ Boltherm 510 | | | | |
|--|----------------|------------|-----------------|-----------------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Aplicador de pavimento estratificado flutuante | h | 0,671 | 9,14€ | 6,133€ |
| Pavimento estratificado flutuante | m ² | 1,100 | 5,99€ | 6,589€ |
| Boltherm 510 | m ² | 1,100 | 5,46€ | 6,006€ |
| Serra corte circular Bosch GKS 85 | h | 0,040 | 0,18€ | 0,007€ |
| Subtotal: | | | | 18,735€ |
| Margem (condições de execução normal) | 24% | | | |
| Total: | | | | 23,23€/m ² |

Tabela 77 - Custos e rendimentos (Reab. Acústica) pav. flutuante madeira Boltherm 510

- ii. Preço *Boltherm 509* com IVA de 23% = $4,44 \times 1,23 \approx 5,46\text{€/m}^2$ (cf. Sotecnisol [105]).

Apêndice 53. Forro de madeira 10mm

- a.** Forro em tábuas acantiladas de Casquinha (*Pinus silvestris* L.) com 10mm espessura, largura 21,5cm e comprimento variável. Forro fixo em estrutura de barrotes e sarrafos;
- b.** Massa superficial do forro:
- i. Casquinha branca densidade 500 a 540kg/m³ (cf. [92]); $m = 0,01m \times 500kg/m^3 = 5kg/m^2$;
 - ii. Nota: é considerada a parte mais esbelta do forro, ou seja secções sem barrotes.
- c.** Redução da transmissão sonora:
- i. Redução da transmissão sonora do forro (5kg/m²), $R_w \leq 25dB$ (cf. Fig. 2.5 de Patrício [86]);
 - ii. $R_w = 25dB$; É admitido este valor pois existe ainda uma estrutura do telhado que efetua algum isolamento acústico.

Apêndice 54. Teto falso em gesso cartonado 1×15 c/ PN40(30mm)

- a.** Teto falso em gesso cartonado (tipo “T.C. SEMIDIRECTO M-70×30/400 1×N-15 LM”) com estrutura constituída por perfis de aço galvanizado 70×30mm com afastamento de 400mm, em cujo lado externo é fixa uma placa de gesso cartonado (15mm) com acabamento básico (Q1) ou acabamento habitual para paredes e tetos (Q2). Isolamento acústico no tardo em placas de lã mineral de PN40 de 30mm espessura ($m = 40kg/m^3$). Montagem de acordo com norma UNE 102043:2013 e os requisitos de CTE DB-HR.
- b.** Redução da transmissão sonora:
- i. $\Delta R_w = 6dB$ (cf. [93]);
 - ii. $\Delta L_w = 6dB$ (cf. [93]);
 - iii. $R_w = 27,5$ (cf. *Apêndice 46*) + 6 = 33,5dB;
 - iv. $L_{n,w,eq} = 128 - 6 = 122dB$ (cf. [93]).
- c.** Custo do elemento construtivo:
- i. Preços e rendimentos obtidos em [35], [77], [83], [105] e [93]:

| Teto falso em gesso cartonado 2×13 c/ PN40 | | | | |
|--|----------------|-------|----------|-----------------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Oficial 1ª montador | h | 0,187 | 9,14€ | 1,709€ |
| Ajudante montador | h | 0,187 | 6,52€ | 1,219€ |
| Placa gesso cartonado N15 1×3m | m ² | 1,05 | 4,14€ | 4,347€ |
| Perfil metálico M70×30 | m | 3,40 | 1,05€ | 3,570€ |
| Gesso para juntas secas normal (saco 18kg) | kg | 0,42 | 0,85€ | 0,357€ |
| Fita de juntas (rolo 150m) | m | 1,89 | 0,03€ | 0,057€ |
| Parafuso PM 3,5×25mm | un | 17 | 0,008€ | 0,136€ |
| Parafusadora com fio AEG S4000E | h | 0,098 | 0,700€ | 0,069€ |
| Placa de lã-de-rocha (PN40) 30mm | m ² | 1,100 | 2,75€ | 3,025€ |
| Subtotal: | | | | 14,489€ |
| Margem (condições de execução normal) | | | | 24% |
| Total: | | | | 17,97€/m ² |

Tabela 78 - Custos e rendimentos teto falso gesso cartonado 1×15 c/ PN40(30mm)

Apêndice 55. Teto falso em gesso cartonado 2×13 c/ PN40

a. Teto falso em gesso cartonado (tipo “T. C. SUSPENDIDO TF/400 2xN-13 LM”) com estrutura constituída por perfis de aço galvanizado, com base angular LF-32 fixas mecanicamente em torno do seu perímetro, que se encaixam através do perfil abas TF-38, com um "T" invertido 38mm de largura e 38mm de altura com afastamento de 400mm, em cujo lado externo é fixa duas placas de gesso cartonado (13mm) com acabamento básico (Q1) ou acabamento habitual para paredes e tetos (Q2). Isolamento acústico no tardoz em placas de lâ mineral de PN40 de 40mm espessura ($m = 40\text{kg/m}^3$). Montagem de acordo com norma UNE 102043:2013 e os requisitos de CTE DB-HR.

b. Redução da transmissão sonora:

i. $\Delta R_w = 16\text{dB}$ (cf. [93]);

ii. $\Delta L_w = 16\text{dB}$ (cf. [93]);

iii. $R_w = 27,5$ (cf. Apêndice 46) + 16 = 43,5dB;

iv. $L_{n,w,eq} = 128 - 16 = 112\text{dB}$ (cf. [93]).

c. Custo do elemento construtivo:

i. Preços e rendimentos obtidos em [35], [77], [83], [105] e [93]:

| Teto falso em gesso cartonado 2×13 c/ PN40 | | | | |
|---|----------------|------------|-----------------|-----------------------|
| Descrição | Un | Qte | Preço/Un | Valor |
| Oficial 1ª montador | h | 0,187 | 9,14€ | 1,709€ |
| Ajudante montador | h | 0,187 | 6,52€ | 1,219€ |
| Placa gesso cartonado N13 1×3m | m ² | 2,10 | 3,59€ | 7,540€ |
| Perfil metálico T-38 | m | 2,60 | 0,91€ | 2,370€ |
| Cantoneira metálica LF-32 | m | 0,70 | 0,76€ | 0,530€ |
| Peças de fixar varão roscado | un | 1,60 | 0,11€ | 0,180€ |
| Varão roscado diametro 6mm (1m) | un | 1,60 | 5,45€ | 8,688€ |
| Gesso para juntas secas normal (saco 18kg) | kg | 0,85 | 0,85€ | 0,720€ |
| Fita de juntas (rolo 150m) | m | 3,78 | 0,03€ | 0,113€ |
| Fita guarda vivos PVC (rolo 30 m) | m | 0,70 | 0,279€ | 0,195€ |
| Tapits 6×80mm | un | 2 | 0,089€ | 0,178€ |
| Parafuso PM 3,5×25mm | un | 9 | 0,007€ | 0,063€ |
| Parafuso PM 3,5×35mm | un | 17 | 0,008€ | 0,136€ |
| Parafusadora com fio AEG S4000E | h | 0,098 | 0,700€ | 0,069€ |
| Placa de lâ-de-rocha (PN40) 40mm | m ² | 1,100 | 2,75€ | 3,025€ |
| Subtotal: | | | | 26,735€ |
| Margem (condições de execução normal) | 24% | | | |
| Total: | | | | 33,15€/m ² |

Tabela 79 - Custos e rendimentos teto falso gesso cartonado 2×13 c/ PN40



Apêndice 56. Cálculos do Método LNEC para os fogos exemplo

As tabelas aqui apresentadas referem-se às nove habitações exemplo analisadas. Cada uma das tabelas analisa uma habitação exemplo. Estas estão na ordem de apresentação seguida para as habitações exemplo no capítulo 5.

Fogo exemplo edifício em cantaria de pedra

| Zona mista | TM=3dB | $10 \times \log(0,32 \times V/S) = 0$ | | | | | | | | Pt | Pt.VIZ | Pt.EDI | Pt.HAB | NAA | Classe | Δ NAA | Custo Reab | Custo/m ² |
|----------------------|--------------------|---------------------------------------|-----------|----------|----------|----------|-------|--------|--------|--------|--------|----------|--------------|------------|----------------------|--------------|------------|----------------------|
| | Local | Rw parede | Rw janela | Rw tecto | Rw porta | Rw final | Pt | Pt.VIZ | Pt.EDI | Pt.HAB | NAA | Classe | Δ NAA | Custo Reab | Custo/m ² | | | |
| Original | Elemento 1 | fachada | 62 | 30,5 | 25 | 19 | 52,98 | 3,0 | N/A | 2,8 | 2,3 | Classe B | N/A | | | | | |
| | Elemento 2 | empena | 69 | N/A | N/A | N/A | 66,00 | 3,0 | N/A | | | | | | | | | |
| | Elemento 8 | interior | 45 | N/A | N/A | 15 | 37,23 | 1,0 | | | | | | | | | | |
| Reab. mais económica | Elemento 1 | fachada | 62 | 35,1 | 25 | 29 | 52,99 | 3,0 | N/A | 2,8 | 2,3 | Classe B | 0,016 | 1.506,61 € | 16,83 € | | | |
| | Elemento 2 | empena | 69 | N/A | N/A | N/A | 66,00 | 3,0 | N/A | | | | | | | | | |
| | Elemento 8 | interior | 47 | N/A | N/A | 14 | 39,23 | 1,2 | | | | | | | | | | |
| Reab. boa acu. | Elemento 1 | fachada | 62 | 42 | 25 | 45 | 53,11 | 3,0 | N/A | 3,0 | 2,4 | Classe B | 0,127 | 7.342,24 € | 82,04 € | | | |
| | Elemento 2 | empena | 69 | N/A | N/A | N/A | 66,00 | 3,0 | N/A | | | | | | | | | |
| | Elemento 8 | interior | 70 | N/A | N/A | 15 | 62,23 | 3,0 | | | | | | | | | | |
| Reab. Intermedia | Elemento 1 | fachada | 62 | 37 | 25 | 28 | 53,00 | 3,0 | N/A | 2,9 | 2,4 | Classe B | 0,079 | 2.866,86 € | 32,03 € | | | |
| | Elemento 2 | empena | 69 | N/A | N/A | N/A | 66,00 | 3,0 | N/A | | | | | | | | | |
| | Elemento 8 | interior | 52 | N/A | N/A | 18 | 44,23 | 2,2 | | | | | | | | | | |
| | Área bruta coberta | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 89,50 | | | | | | | | | | | |

Fogo exemplo edifício em alvenaria de pedra

| Zona mista | TM=3dB | $10 \times \log(0,32 \times V/S) = 0$ | Local | Rw parede | Rw janela | Rw tecto | Rw porta | Rw.final | Pt | Pt.VIZ | Pt.EDI | Pt.HAB | NAA | Classe | Δ NAA | Custo Reab | Custo/m2 |
|----------------------|--------------------|---------------------------------------|-------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----|--------|--------|--------|-----|----------|--------------|------------|----------|
| Original | Elemento 1 | fachada | 62 | 30,5 | 25 | 19 | 52,98 | 3,0 | | 1,0 | N/A | 2,7 | 2,2 | Classe B | N/A | | |
| | Elemento 2 | empena | 69 | N/A | N/A | N/A | 66,00 | 3,0 | | | | | | | | | |
| | Elemento 8 | interior | 32 | N/A | N/A | 15 | 24,31 | 0,0 | | | | | | | | | |
| Reab. mais económica | Elemento 1 | fachada | 62 | 35,1 | 25 | 29 | 52,99 | 3,0 | | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | empena | 69 | N/A | N/A | N/A | 66,00 | 3,0 | | 1,0 | N/A | 2,8 | 2,3 | Classe B | 0,079 | 1.148,28€ | 36,67€ |
| | Elemento 8 | interior | 47 | N/A | N/A | 14 | 39,23 | 1,2 | | | | | | | | | |
| Reab. boa acu. | Elemento 1 | fachada | 62 | 42 | 25 | 45 | 53,11 | 3,0 | | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | empena | 69 | N/A | N/A | N/A | 66,00 | 3,0 | | 1,0 | N/A | 3,0 | 2,4 | Classe B | 0,191 | 5.988,88€ | 191,24€ |
| | Elemento 8 | interior | 70 | N/A | N/A | 15 | 62,23 | 3,0 | | | | | | | | | |
| Reab. Intermedia | Elemento 1 | fachada | 62 | 37 | 25 | 28 | 54,24 | 3,0 | | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | empena | 69 | N/A | N/A | N/A | 66,00 | 3,0 | | 1,0 | N/A | 2,9 | 2,4 | Classe B | 0,143 | 2.292,71€ | 73,21€ |
| | Elemento 8 | interior | 52 | N/A | N/A | 18 | 44,23 | 2,2 | | | | | | | | | |
| | Área bruta coberta | | 31,32 | | | | | | | | | | | | | | |

Fogo exemplo edifício em taipa

| Zona mista | TM=3dB | $10 \times \log(0,32 \times V/S) = 0$ | Rw parede | Rw janela | Rw tecto | Rw porta | Rw.final | Pt | Pt.VIZ | Pt.EDI | Pt.HAB | NAA | Classe | Δ NAA | Custo Reab | Custo/m2 |
|----------------------|--------------------|---------------------------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|-----|--------|--------|--------|-----|----------|--------------|------------|----------|
| Original | Elemento 1 | Local fachada | 63 | 30,5 | 25 | 19 | 53,98 | 3,0 | 1,0 | N/A | 3,0 | 2,4 | Classe B | N/A | | |
| | Elemento 8 | interior | 63 | N/A | N/A | 15 | 55,23 | 3,0 | | | | | | | | |
| Reab. mais económica | Elemento 1 | Local fachada | 63 | 35,1 | 27,5 | 29 | 53,99 | 3,0 | 1,0 | N/A | 3,0 | 2,4 | Classe B | 0,000 | 1.970,74 € | 32,01 € |
| | Elemento 8 | interior | 63 | N/A | N/A | 14 | 55,23 | 3,0 | | | | | | | | |
| Reab. boa acu. | Elemento 1 | Local fachada | 63 | 42 | 43,5 | 45 | 54,13 | 3,0 | 1,0 | N/A | 3,0 | 2,4 | Classe B | 0,000 | 7.102,71 € | 115,35 € |
| | Elemento 8 | interior | 63 | N/A | N/A | 32 | 55,23 | 3,0 | | | | | | | | |
| Reab. Intermedia | Elemento 1 | Local fachada | 63 | 37 | 33,5 | 28 | 54,00 | 3,0 | 1,0 | N/A | 3,0 | 2,4 | Classe B | 0,000 | 2.906,88 € | 47,21 € |
| | Elemento 8 | interior | 63 | N/A | N/A | 18 | 55,23 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Área bruta coberta | 61,58 | | | | | | | | | | | | | | |

Fogo exemplo edifício em adobe

| Zona mista | TM=3dB | $10 \times \log(0,32 \times V/S) = 0$ | Rw parede | Rw janela | Rw tecto | Rw porta | Rw.final | Pt | Pt.VIZ | Pt.EDI | Pt.HAB | MAA | Classe | Δ NAA | Custo Reab | Custo/m ² |
|----------------------|--------------------|---------------------------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|-----|--------|--------|--------|-----|----------|--------------|-------------|----------------------|
| Original | Local | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Elemento 1 | fachada | 56 | 30,5 | 56 | 19 | 50,00 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | empena | 63 | N/A | N/A | N/A | 60,00 | 3,0 | 1,0 | N/A | 3,0 | 2,4 | Classe B | N/A | | |
| | Elemento 8 | interior | 56 | N/A | N/A | 15 | 48,23 | 3,0 | | | | | | | | |
| Reab. mais económica | Local | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Elemento 1 | fachada | 56 | 35,1 | 56 | 29 | 50,01 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | empena | 63 | N/A | N/A | N/A | 60,00 | 3,0 | 1,0 | N/A | 3,0 | 2,4 | Classe B | 0,000 | 1.377,68 € | 15,99 € |
| | Elemento 8 | interior | 56 | N/A | N/A | 14 | 48,23 | 3,0 | | | | | | | | |
| Reab. boa acu. | Local | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Elemento 1 | fachada | 56 | 42 | 56 | 45 | 50,24 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | empena | 63 | N/A | N/A | N/A | 60,00 | 3,0 | 1,0 | N/A | 3,0 | 2,4 | Classe B | 0,000 | 10.416,74 € | 120,89 € |
| | Elemento 8 | interior | 56 | N/A | N/A | 32 | 48,25 | 3,0 | | | | | | | | |
| Reab. Intermedia | Local | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Elemento 1 | fachada | 56 | 37 | 56 | 28 | 50,02 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | empena | 63 | N/A | N/A | N/A | 60,00 | 3,0 | 1,0 | N/A | 3,0 | 2,4 | Classe B | 0,000 | 3.741,70 € | 43,42 € |
| | Elemento 8 | interior | 56 | N/A | N/A | 18 | 48,23 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Área bruta coberta | 86,17 | | | | | | | | | | | | | | |

Fogo exemplo edifício pombalino

| Zona mista | TM=3dB | $10 \times \log(0,32 \times V/S) = 0$ | sem elevador | Rw parede | Rw janela | Rw/Lw tecto | Rw porta int | Rw.final | Pt | Pt.VIZ | Pt.EDI | Pt.HAB | NAA | Classe | Δ NAA | Custo Reab | Custo/m ² |
|----------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------|-----------|-----------|-------------|--------------|----------|-----|--------|--------|--------|-----|----------|--------------|-------------|----------------------|
| Original | Elemento 1 | Local fachada | 20 | 60 | N/A | 27,5 | N/A | 52,23 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | empena | N/A | 67 | N/A | N/A | N/A | 64,00 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 3 | frontal | N/A | 37 | N/A | N/A | 16 | 31,02 | 0,0 | 1,0 | 1,0 | 1,5 | 1,3 | Classe C | N/A | | |
| | Elemento 5 | Tecto/chão | N/A | N/A | 120 | N/A | N/A | 123,00 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 8 | interior | N/A | 45 | N/A | N/A | 16 | 37,23 | 1,0 | | | | | | | | |
| Reab. mais económica | Elemento 1 | Local fachada | 35,1 | 60 | 27,5 | N/A | N/A | 52,25 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | empena | N/A | 67 | N/A | N/A | N/A | 64,00 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 3 | frontal | N/A | 40 | N/A | N/A | 29 | 34,32 | 0,0 | 1,0 | 1,0 | 1,5 | 1,3 | Classe C | 0,014 | 5.670,90 € | 70,94 € |
| | Elemento 5 | Tecto/chão | N/A | N/A | 102 | N/A | N/A | 105,00 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 8 | interior | N/A | 48 | N/A | N/A | 14 | 40,23 | 1,4 | | | | | | | | |
| Reab. boa acu. | Elemento 1 | Local fachada | 42 | 60 | 27,5 | N/A | N/A | 52,30 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | empena | N/A | 67 | N/A | N/A | N/A | 64,00 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 3 | frontal | N/A | 62 | N/A | N/A | 45 | 56,08 | 0,0 | 1,0 | 1,0 | 1,6 | 1,4 | Classe C | 0,062 | 14.855,15 € | 185,82 € |
| | Elemento 5 | Tecto/chão | N/A | N/A | 97 | N/A | N/A | 100,00 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 8 | interior | N/A | 70 | N/A | N/A | 32 | 62,23 | 3,0 | | | | | | | | |
| Reab. Intermedia | Elemento 1 | Local fachada | 37 | 60 | 27,5 | N/A | N/A | 52,25 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | empena | N/A | 67 | N/A | N/A | N/A | 64,00 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 3 | frontal | N/A | 44 | N/A | N/A | 28 | 38,10 | 0,0 | 1,0 | 1,0 | 1,5 | 1,3 | Classe C | 0,039 | 8.903,89 € | 111,38 € |
| | Elemento 5 | Tecto/chão | N/A | N/A | 106 | N/A | N/A | 109,00 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 8 | interior | N/A | 52 | N/A | N/A | 18 | 44,23 | 2,2 | | | | | | | | |
| | Área bruta coberta | 79,94 | | | | | | | | | | | | | | | |

Fogo exemplo edifício gaioleiro

| Zona mista | TM=3dB | $10 \times \log(0,32 \times V/S) = 0$ | com elevador | Rw/Lw tecto | Rw porta int | Rw.final | Pt | Pt.VIZ | Pt.EDI | Pt.HAB | NAA | Classe | Δ NAA | Custo Reab | Custo/m ² |
|---------------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------|----------------|--------------|----------|-----|--------|--------|--------|-----|----------|--------------|-------------|----------------------|
| Original | Elemento 1 | Local fachada | Rw parede 48 | Rw janela 20 | N/A | 40,27 | 2,9 | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | empena | 67 | N/A | N/A | 64,00 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 3 | frontal | 37,5 | N/A | 16 | 31,52 | 0,0 | 1,0 | 1,0 | 1,4 | 1,2 | Classe C | N/A | | |
| | Elemento 5 | Tecto/chão | N/A | N/A | N/A | 123,00 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 7 | comum | N/A | N/A | N/A | N/A | 1,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 8 | interior | 45 | N/A | 16 | 39,00 | 1,2 | | | | | | | | |
| | Elemento 1 | Local fachada | Rw parede 51 | Rw janela 35,1 | N/A | 43,36 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | empena | 67 | N/A | N/A | 64,00 | 3,0 | | | | | | | | |
| Reab. mais económica | Elemento 3 | frontal | 40,5 | N/A | 29 | 34,79 | 0,0 | 1,0 | 1,0 | 1,4 | 1,3 | Classe C | 0,029 | 4.243,39 € | 51,13 € |
| | Elemento 5 | Tecto/chão | N/A | N/A | N/A | 105,00 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 7 | comum | N/A | N/A | N/A | N/A | 1,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 8 | interior | 48 | N/A | 14 | 41,99 | 1,8 | | | | | | | | |
| | Elemento 1 | Local fachada | Rw parede 73 | Rw janela 42 | N/A | 65,23 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | empena | 67 | N/A | N/A | 64,00 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 3 | frontal | 62,5 | N/A | 45 | 56,57 | 3,0 | 1,0 | 1,0 | 1,7 | 1,5 | Classe C | 0,210 | 16.671,70 € | 200,86 € |
| | Elemento 5 | Tecto/chão | N/A | N/A | N/A | 100,00 | 0,0 | | | | | | | | |
| Reab. boa acu. Intermedia | Elemento 7 | comum | N/A | N/A | N/A | N/A | 1,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 8 | interior | 70 | N/A | 32 | 63,99 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 1 | Local fachada | Rw parede 55 | Rw janela 37 | N/A | 47,30 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | empena | 67 | N/A | N/A | 64,00 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 3 | frontal | 44,5 | N/A | 28 | 38,59 | 0,0 | 1,0 | 1,0 | 1,4 | 1,3 | Classe C | 0,049 | 9.220,00 € | 111,08 € |
| | Elemento 5 | Tecto/chão | N/A | N/A | N/A | 109,00 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 7 | comum | N/A | N/A | N/A | N/A | 1,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 8 | interior | 52 | N/A | 18 | 45,99 | 2,6 | | | | | | | | |
| | Área bruta coberta | 83,00 | | | | | | | | | | | | | |

Fogo exemplo edifício de placa

| Zona mista | TM=3dB | $10 \times \log(0,32 \times V/S) = 0$ | sem elevador | Rw parede | Rw janela | Rw/Lw tecto | Rw porta int | Rw.final | Pt | Pt.VIZ | Pt.EDI | Pt.HAB | NAA | Classe | Δ NAA | Custo Reab | Custo/m2 |
|----------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------|-----------|-------------|--------------|--------------|----------|-----|--------|--------|--------|----------|--------|--------------|------------|----------|
| Original | Elemento 1 | fachada | 62 | 30,5 | 53 | N/A | 54,75 | 3,0 | | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | empena | 58 | N/A | N/A | N/A | 55,00 | 2,4 | | | | | | | | | |
| | Elemento 3 | frontal | 55 | N/A | N/A | 16 | 48,99 | 1,3 | 1,0 | 1,0 | 1,5 | 1,3 | Classe C | N/A | | | |
| | Elemento 5 | Tecto/chão | N/A | N/A | 76 | N/A | 79,00 | 0,0 | | | | | | | | | |
| | Elemento 8 | interior | 46 | N/A | N/A | 16 | 39,99 | 1,4 | | | | | | | | | |
| Reab. mais económica | Elemento 1 | Local fachada | Rw parede | Rw janela | Rw/Lw tecto | Rw porta int | Rw.final | Pt | | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | fachada | 62 | 35,1 | 53 | N/A | 54,75 | 3,0 | | | | | | | | | |
| | Elemento 3 | empena | 58 | N/A | N/A | N/A | 55,00 | 2,4 | | | | | | | | | |
| | Elemento 5 | frontal | 55 | N/A | N/A | 29 | 49,00 | 1,3 | 1,0 | 1,0 | 1,7 | 1,4 | Classe C | 0,143 | 6.231,35 € | 60,48 € | |
| | Elemento 8 | Tecto/chão interior | N/A | N/A | 58 | N/A | 61,00 | 0,5 | | | | | | | | | |
| Reab. boa acu. | Elemento 1 | Local fachada | Rw parede | Rw janela | Rw/Lw tecto | Rw porta int | Rw.final | Pt | | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | fachada | 62 | 42 | 53 | N/A | 54,78 | 3,0 | | | | | | | | | |
| | Elemento 3 | empena | 58 | N/A | N/A | N/A | 55,00 | 2,4 | | | | | | | | | |
| | Elemento 5 | frontal | 55 | N/A | N/A | 45 | 49,40 | 1,5 | 1,0 | 1,0 | 2,4 | 1,9 | Classe B | 0,603 | 21.050,83 € | 204,30 € | |
| | Elemento 8 | Tecto/chão interior | N/A | N/A | 53 | N/A | 56,00 | 2,2 | | | | | | | | | |
| Reab. Intermedia | Elemento 1 | Local fachada | Rw parede | Rw janela | Rw/Lw tecto | Rw porta int | Rw.final | Pt | | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | fachada | 62 | 37 | 53 | N/A | 54,76 | 3,0 | | | | | | | | | |
| | Elemento 3 | empena | 58 | N/A | N/A | N/A | 55,00 | 2,4 | | | | | | | | | |
| | Elemento 5 | frontal | 55 | N/A | N/A | 28 | 49,00 | 1,3 | 1,0 | 1,0 | 1,5 | 1,3 | Classe C | 0,043 | 12.110,38 € | 117,53 € | |
| | Elemento 8 | Tecto/chão interior | N/A | N/A | 62 | N/A | 65,00 | 0,0 | | | | | | | | | |
| | Área bruta coberta | 103,04 | | | | | | | | | | | | | | | |

Fogo exemplo edifício em estrutura de betão armado - moradia

| Zona sensível | TM=3dB | $10 \times \log(0,32 \times V/S) = 0$ | sem elevador | Rw/Lw tecto | Rw porta | Rw.final | Pt | Pt.VIZ | Pt.EDI | Pt.HAB | NAA | Classe | Δ NAA | Custo Reab | Custo/m ² |
|----------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------|----------------|-------------|----------------|--------|------------|------------|------------|---------|----------|--------------------|-----------------------|------------------------------|
| Original | Elemento 1 | Local fachada | Rw parede 52 | 52 | 28 | 46,04 | 3,0 | 1,0 | N/A | 2,9 | 2,3 | Classe B | N/A | | |
| | Elemento 8 | interior | 43 | 52 | 18 | 44,75 | 2,3 | | | | | | | | |
| Reab. Mais económica | Elemento 1 | Local fachada | Rw parede 52 | Rw/Lw tecto 52 | Rw porta 28 | Rw.final 46,04 | Pt 3,0 | Pt.VIZ 1,0 | Pt.EDI N/A | Pt.HAB 2,9 | NAA 2,3 | Classe | Δ NAA 0,000 | Custo Reab 0,00 € | Custo/m ² 0,00 € |
| | Elemento 8 | interior | 43 | 52 | 18 | 44,75 | 2,3 | | | | | | | | |
| Reab. boa acu. | Elemento 1 | Local fachada | Rw parede 52 | Rw/Lw tecto 52 | Rw porta 45 | Rw.final 46,60 | Pt 3,0 | Pt.VIZ 1,0 | Pt.EDI N/A | Pt.HAB 2,9 | NAA 2,3 | Classe | Δ NAA 0,001 | Custo Reab 7.685,46 € | Custo/m ² 20,72 € |
| | Elemento 8 | interior | 43 | 52 | 32 | 44,78 | 2,4 | | | | | | | | |
| Reab. Intermedia | Elemento 1 | Local fachada | Rw parede 52 | Rw/Lw tecto 52 | Rw porta 28 | Rw.final 46,07 | Pt 3,0 | Pt.VIZ 1,0 | Pt.EDI N/A | Pt.HAB 2,9 | NAA 2,3 | Classe | Δ NAA 0,000 | Custo Reab 1.126,80 € | Custo/m ² 3,04 € |
| | Elemento 8 | interior | 43 | 52 | 18 | 44,75 | 2,3 | | | | | | | | |
| | Área bruta coberta | 371,00 | | | | | | | | | | | | | |

Fogo exemplo edifício em estrutura de betão armado - apartamento

| Zona sensível | TM=3dB | $10 \times \log(0,32 \times V/S) = 0$ | Rw parede | Rw janela | com elevador | Rw/Lw tecto | Rw porta int | Rw.final | Pt | Pt.VIZ | Pt.EDI | Pt.HAB | NAA | Classe | Δ NAA | Custo Reab | Custo/m ² |
|----------------------|--------------------|---------------------------------------|-----------|-----------|--------------|-------------|--------------|----------|-----|--------|--------|--------|-----|----------|--------------|------------|----------------------|
| Original | Elemento 1 | Local fachada | 50 | 35,1 | | N/A | N/A | 44,13 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | Tecto/chão | N/A | N/A | | 52 | N/A | 49,00 | 0,5 | | | | | | | | |
| | Elemento 3 | comum | 50 | N/A | | N/A | 28 | 44,02 | 1,8 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | classe D | N/A | | |
| | Elemento 5 | Tecto/chão | N/A | N/A | | 70 | N/A | 73,00 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 7 | comum | N/A | N/A | | N/A | N/A | N/A | 1,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 8 | interior | 43 | N/A | | N/A | 18 | 37,00 | 1,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 1 | Local fachada | 50 | 35,1 | | N/A | N/A | 44,13 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | Tecto/chão | N/A | N/A | | 52 | N/A | 49,00 | 0,5 | | | | | | | | |
| Reab. mais económica | Elemento 3 | comum | 50 | N/A | | N/A | 28 | 44,02 | 1,8 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | classe D | 0,000 | 1.879,64 € | 19,18 € |
| | Elemento 5 | Tecto/chão | N/A | N/A | | 52 | N/A | 55,00 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 7 | comum | N/A | N/A | | N/A | N/A | N/A | 1,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 8 | interior | 43 | N/A | | N/A | 18 | 35,24 | 1,0 | | | | | | | | |
| Reab. boa acu. | Elemento 1 | Local fachada | 50 | 42 | | N/A | N/A | 44,63 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | Tecto/chão | N/A | N/A | | 52 | N/A | 49,00 | 0,5 | | | | | | | | |
| | Elemento 3 | comum | 50 | N/A | | N/A | 45 | 45,18 | 2,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | classe D | 0,012 | 9.213,28 € | 94,01 € |
| | Elemento 5 | Tecto/chão | N/A | N/A | | 47 | N/A | 50,00 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 7 | comum | N/A | N/A | | N/A | N/A | N/A | 1,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 8 | interior | 43 | N/A | | N/A | 32 | 35,56 | 1,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 1 | Local fachada | 50 | 37 | | N/A | N/A | 44,20 | 3,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 2 | Tecto/chão | N/A | N/A | | 52 | N/A | 49,00 | 0,5 | | | | | | | | |
| Reab. Intermedia | Elemento 3 | comum | 50 | N/A | | N/A | 28 | 44,02 | 1,8 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | classe D | 0,000 | 962,35 € | 9,82 € |
| | Elemento 5 | Tecto/chão | N/A | N/A | | 70 | N/A | 73,00 | 0,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 7 | comum | N/A | N/A | | N/A | N/A | N/A | 1,0 | | | | | | | | |
| | Elemento 8 | interior | 43 | N/A | | N/A | 18 | 35,24 | 1,0 | | | | | | | | |
| | Area bruta coberta | 98,00 | | | | | | | | | | | | | | | |