



**Universidade de
Aveiro**

2010/2011

Departamento de Engenharia Civil

**Sónia Marisa da
Silva Anastácio**

**Estágio CERTIFER – medições acústicas e
tratamento de dados**

Orientador: Professora Ana Velosa

Agradecimentos

Quero dedicar esta página às pessoas que me apoiaram ao longo de todos estes anos de curso, que estiveram ao meu lado nos bons momentos e nos piores.

Quero, em primeiro lugar, dedicar não só esta página, mas todas as metas atingidas, à memória da minha avó materna, Angelina, de quem me despedi a meio da minha jornada.

Quero agradecer a toda a minha família, porque são eles as bases e a estrutura da minha vida. Foi com eles que aprendi a dar os primeiros passos para o meu futuro.

Quero agradecer especialmente aos meus pais e irmã, por estarem sempre ao meu lado, sofrerem comigo os dissabores das muitas noites acordada, limpem-me as lágrimas quando precisei e dar-me um sorriso quando mereci.

Quero agradecer também ao meu namorado Roberto, com quem convivi todos estes anos de curso, com quem pude contar em todos os momentos e a quem recorri muitas vezes quando tinha dúvidas, e também aos meus colegas de curso.

Finalmente, agradeço também à minha orientadora, professora Ana Velosa pelo tempo que despendeu para me atender e pela ajuda que prestou, e também aos colaboradores da CERTIFER que contactaram diretamente comigo e que me acompanharam nos ensaios e no escritório, ajudando-me quando necessário.

o júri

presidente

Prof. Aníbal Guimarães da Costa

Professor catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. António José Barbosa Samagaio

Professor associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento do território da Universidade de Aveiro

Prof. Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa

Professora auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Palavras-chave Engenharia, acústica, medições, isolamento sonoro, edifícios, ensaios.

Resumo Neste relatório apresentam-se os conceitos relacionados com medições acústicas em edifícios unifamiliares, assim como um estudo das propriedades de elementos construtivos que mais influenciam o conforto acústico no interior dos edifícios. Esse estudo foi baseado em dados obtidos nos ensaios que se realizaram ao longo de um período de estágio na empresa CERTIFER (Vagos).

Keywords Engineering, acoustics, measurements, sound insulation, buildings, tests

Abstract This report presents the concepts related with acoustic measurements in single-family buildings, as well as a study about the properties of constructive elements that most influence the acoustic comfort inside the buildings. That study was based on true data obtained with tests that took place during the traineeship in the company CERTIFER (Vagos).

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	III
ÍNDICE DE TABELAS	IX
SIMBOLOGIA.....	X
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento do tema.....	1
1.2. Objetivos do estudo.....	3
1.3. Organização do relatório.....	4
2. ACÚSTICA DOS EDIFÍCIOS.....	5
2.1. Generalidades.....	5
2.2. Ensaio acústicos.....	7
2.3. Normas e regulamentos	10
2.3.1. Decreto – Lei 96/2008 de 9 Junho.....	11
2.3.2. Decreto – Lei 9/2007 de 17 de Janeiro (ANEXO: Regulamento Geral do Ruído) 13	
2.3.3. NP EN ISO 140-4: Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Medição <i>in situ</i> do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos	14
2.3.4. NP EN ISO 140-5: Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Medição <i>in situ</i> do isolamento sonoro de sons aéreos de fachadas e de elementos de fachada.....	15
2.3.5. ISO 140-7: Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of buildings elements. Field measurements of impact sound insulation of floors.....	15
2.3.6. ISO 717-1: Rating of sound insulation in buildings and of buildings elements. Airborne sound insulation.....	15
2.3.7. ISO 717-2: Rating of sound insulations in buildings and buildings elements. Impact sound insulation.....	19
2.3.8. ISO 3382-2: Measurement of room acoustic parameters. Reverberation time in ordinary rooms.....	20
3. MEDIÇÕES ACÚSTICAS <i>IN SITU</i>	21
3.1. Introdução.....	21
3.2. Instrumentos utilizados	22
3.3. Tipos de ensaios a realizar	23

3.3.1.	Tempo de reverberação	24
3.3.2.	Ruído de fundo.....	26
3.3.3.	Metodologia para medição dos sons aéreos de fachada.....	26
3.3.4.	Metodologia para medição dos sons entre compartimentos	29
4.	TRATAMENTO DE DADOS	34
4.1.	Descritores acústicos.....	34
4.2.	Sistemas estruturais.....	35
4.2.1.	Paredes exteriores de fachada	36
4.2.2.	Paredes de compartimentação.....	50
4.2.3.	Lajes	51
4.2.4.	Revestimentos	52
4.3.	Apresentação dos cálculos	53
4.4.	Apresentação e análise dos resultados	65
4.4.1.	Análise do tempo de reverberação.....	66
4.4.2.	Análise do nível sonoro a sons aéreos em fachadas	72
4.4.3.	Análise do nível sonoro a sons aéreos entre compartimentos.....	96
4.4.4.	Análise do nível sonoro a sons de percussão entre compartimentos.....	97
5.	MEDIDAS A ADOPTAR NO CASO DE NÃO VERIFICAÇÃO DO REGULAMENTO	99
5.1.	Isolamento a sons aéreos	100
5.2.	Isolamento a sons de percussão	102
6.	CONCLUSÃO	106
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
	ANEXOS	110
	Anexo A – Exemplo de verificação acústica utilizando a folha de cálculo elaborada ..	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Resposta do ouvido humano em frequências (Mattos, 2004).....	3
Figura 2 - Tempo de reverberação (Audioacústica)	5
Figura 3 – Sonómetro (Ambergo - Estudos e Equipamentos de Controlo Ambiental, 2010)	8
Figura 4 – Dosímetro (Caprotecsa, 2006).....	8
Figura 5 - Sondas de intensidade (Tadeu, et al., 2007).....	9
Figura 6 - Analisadores em paralelo (Tadeu, et al., 2007).....	9
Figura 7 - Curva de som, para sons aéreos, em bandas de 1/3 de oitava (Standardization, 1996).....	16
Figura 8 - Curva de som, para sons aéreos, em bandas de oitava (Standardization, 1996)	16
Figura 9 – Espectros do nível sonoro para calcular os termos de adaptação C e Ctr, em bandas de 1/3 de oitava (Standardization, 1996).....	17
Figura 10 - Espectros do nível sonoro para calcular os termos de adaptação C e Ctr, em bandas de oitava (Standardization, 1996).....	17
Figura 11 - Curvas de referência dos sons de percussão em bandas de 1/3 de oitava (Standardization, 1996)	19
Figura 12 - Curvas de referência dos sons de percussão em bandas de oitava (Standardization, 1996)	19
Figura 13 - Fonte de ruído em modo de emissão de ruído branco (<i>white noise</i>)	23
Figura 14 - Tempos óptimos de reverberação, a 500Hz, para diferentes tipos de utilizações (Tadeu, et al., 2007)	25
Figura 15 - Sonómetro posicionado para medição do ruído de fundo.....	26
Figura 16 - Posição da fonte sonora no exterior, para medição do nível de isolamento sonoro da fachada de um quarto do 1º andar	27
Figura 17 - Habitação com duas fachadas, sendo necessário realizar ensaios para duas posições da fonte sonora	28
Figura 18 - Máquina de martelos usada na medição dos sons de percussão entre compartimentos	31
Figura 19 - Posicionamento da máquina de martelos	32
Figura 20 - Soluções de fachadas ensaiadas no decorrer do estágio.....	40

Figura 21 - Vidro monolítico vs vidro laminado.....	41
Figura 22 - Tipos de vidros encontrados no decorrer do estágio	43
Figura 23 - Gráfico representativo das percentagens de envidraçado nas fachadas ensaiadas no decorrer do estágio.....	44
Figura 24 - Gráfico representativo de fachadas com envidraçados de área <60% da área da fachada, ensaiadas no decorrer do estágio.....	45
Figura 25 - Gráfico representativo de fachadas com envidraçados de área >60% da área da fachada, ensaiadas no decorrer do estágio.....	46
Figura 26 - Tipos de caixilharias encontradas no decorrer do estágio	47
Figura 27 - Gráfico representativo dos tipos de caixilharias, fazendo-as corresponder ao tipo de fachada	47
Figura 28 - Gráfico representativo da quantidade de fachadas com e sem caixa de estores.....	48
Figura 29 - Gráfico detalhado relacionando os tipos e quantidades de fachadas com a existência de caixa de estores	49
Figura 30 - Tipos de janelas existentes no mercado (Domusobras, 2011).....	50
Figura 31 - Força transmitida e duração de uma batida numa superfície rígida e numa superfície com revestimento. Fonte adaptada: Patrício e Piedade (2000)	51
Figura 32 - Menu inicial do programa de cálculo elaborado em Excel	54
Figura 33 - Submenu referente ao isolamento sonoro a sons aéreos em fachadas do programa de cálculo elaborado em Excel	54
Figura 34 - Submenu referente ao isolamento sonoro entre compartimentos do programa de cálculo elaborado em Excel	55
Figura 35 - Procedimento para introdução de dados do sonómetro no software de cálculo elaborado com o Excel	55
Figura 36 - Gráfico representativo das curvas dos tempos de reverberação obtidos em todos os compartimentos, ao longo da faixa de frequências	67
Figura 37 - Gráfico representativo das curvas dos tempos de reverberação obtidos nos compartimentos não mobilados, ao longo da faixa de frequências	68
Figura 38 - Gráfico representativo da curva média dos tempos de reverberação nos compartimentos não mobilados, ao longo da faixa de frequências	69
Figura 39 - Gráfico representativo das curvas dos tempos de reverberação obtidos nos compartimentos mobilados, ao longo da faixa de frequências	70

Figura 40 - Gráfico representativo da curva média dos tempos de reverberação nos compartimentos mobilados, ao longo da faixa de frequências	71
Figura 41 - Características das fachadas do tipo F1 encontradas no decorrer do estágio	73
Figura 42 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizado a sons de condução aérea, em fachadas.....	73
Figura 43 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizado a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F1 com envidraçados de área <60% da área da fachada e caixilharia em alumínio.....	74
Figura 44 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F1 com envidraçados de área <60% da área da fachada, caixilharia em alumínio e sem caixa de estores.....	75
Figura 45 - Gráfico representativo dos valores únicos de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado ponderado, para as fachadas do tipo F1 com envidraçados <60% da área da fachada e sem caixa de estores.....	76
Figura 46 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F1 com envidraçados de área <60% da área da fachada, caixilharia em alumínio e com caixa de estores.....	77
Figura 47 - Gráfico representativo dos valores únicos de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado ponderado, para as fachadas do tipo F1 com envidraçados <60% da área da fachada, caixilharia em alumínio e com caixa de estores	78
Figura 48 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F1 com envidraçados de área <60% da área da fachada e caixilharia em PVC	79
Figura 49 - Gráfico representativo dos valores únicos de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado ponderado, para as fachadas do tipo F1 com envidraçados <60% da área da fachada e com caixilharia em PVC	80
Figura 50 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F1 sem envidraçados	81
Figura 51 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F1 com envidraçados de área >60% à área da fachada.....	82
Figura 52 - Características das fachadas do tipo F2 encontradas no decorrer do estágio	83
Figura 53 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F2.....	83

Figura 54 - Gráfico representativo dos valores únicos de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado ponderado, para as fachadas do tipo F2 com envidraçados <60% da área da fachada	84
Figura 55 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F3.....	85
Figura 56 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F4.....	86
Figura 57 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F5.....	87
Figura 58 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F6.....	88
Figura 59 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F7	89
Figura 60 - Características que permitem comparar o desempenho das fachadas dos tipos F1, F2, F3 e F5.....	90
Figura 61 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea médios, para as fachadas dos tipos F1, F2, F3 e F5	90
Figura 62 - Gráfico representativo dos valores únicos dos níveis de isolamento sonoro padronizados ponderados a sons de condução aérea médios, para as fachadas dos tipos F1, F2, F3 e F5	91
Figura 63 - Características comuns às fachadas dos tipos F1, F3, F4 e F7, e que as permite comparar	91
Figura 64 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea médios, para as fachadas dos tipos F1, F3, F4 e F7	92
Figura 65 - Gráfico representativo dos valores únicos médios dos níveis de isolamento sonoro padronizados ponderados a sons de condução aérea, para as fachadas dos tipos F1, F3, F4 e F7	93
Figura 66 - Características comuns às fachadas dos tipos F1 e F2, e que as permite comparar.....	93
Figura 67 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea médios, para as fachadas dos tipos F1 e F2.....	94
Figura 68 - Gráfico representativo dos valores únicos médios dos níveis de isolamento sonoro padronizados ponderados a sons de condução aérea, para as fachadas dos tipos F1 e F2.....	94

Figura 69 - Características comuns às fachadas dos tipos F1, F6 e F7, e que as permite comparar.....	95
Figura 70 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea médios, para as fachadas dos tipos F1, F6 e F7	95
Figura 71 - Gráfico representativo dos valores únicos médios dos níveis de isolamento sonoro padronizados ponderados a sons de condução aérea, para as fachadas dos tipos F1, F6 e F7	96
Figura 72 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea entre compartimentos na horizontal, para os compartimentos C1, C2 e C10	97
Figura 73 - Gráfico representativo dos valores únicos médios dos níveis de isolamento sonoro padronizados ponderados a sons de condução aérea entre compartimentos, para os compartimentos C1, C2 e C10.....	97
Figura 74 - Gráfico representativo dos níveis sonoros padronizados a sons de percussão entre compartimentos na horizontal, para os compartimentos C1, C2 e C10.....	98
Figura 75 - Gráfico representativo dos valores únicos médios dos níveis sonoros padronizados ponderados a sons de percussão entre compartimentos, para os compartimentos C1, C2 e C10	98
Figura 76 - Filtros acústicos do tipo "sanduíche" (Leão, 2011).....	100
Figura 77 - Caixa de estores mal executada (Mateus, 2009)	101
Figura 78 - Esquema representativo de portas mal executadas (Mateus, 2009)	102
Figura 79 - Esquema comparativo entre uma solução bem executada de pavimento e uma solução mal executada (Mateus, 2009)	103
Figura 80 - Comparação entre curva obtida para um pavimento bem executado e um pavimento mal executado (Mateus, 2009)	104
Figura 81 - Exemplo de aplicação de aglomerado de cortiça expandida (isocor - Aglomerados de cortiça, 2011)	105
Figura 82 - Caixa de diálogo inicial, que surge na abertura do livro de cálculo do Excel	110
Figura 83 - Caixa de diálogo que permite introduzir o nome do novo livro e guardá-lo...	111
Figura 84 - Menu inicial do livro de cálculo Excel	112
Figura 85 - Submenu para determinação do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado em fachadas.....	113
Figura 86 - Folha para introdução de dados e visualização de resultados.....	113
Figura 87 - Folhas criadas para colar dados recolhidos da emissão.....	114

Figura 88 - Ficheiros com dados da emissão, a abrir com o software Capture Studio da CESVA	114
Figura 89 - Procedimento para copiar dados do software Capture Studio da CESVA para as folhas de cálculo do Excel	115
Figura 90 - Procedimento a realizar após todos os dados dos ensaios de emissão copiados.....	116
Figura 91 - Valores dos dados de emissão, médias e desvios padrão ao longo da faixa de frequências	116
Figura 92 - Valores dos dados de recepção, médias e desvios padrão ao longo da faixa de frequências.....	117
Figura 93 - Valores dos dados do ruído de fundo, médias e desvios padrão ao longo da faixa de frequências	117
Figura 94 - Valores dos dados do tempo de reverberação e médias ao longo da faixa de frequências.....	118
Figura 95 - Caixa de diálogo para introdução das características do compartimento e fachada em análise	118
Figura 96 - Caixa de diálogo para introdução do valor inicial da curva de referência.....	119
Figura 97 - Valores do isolamento sonoro aos sons de condução aérea padronizado em fachadas ao longo da faixa de frequências, e da curva respectiva.....	120
Figura 98 - Valor único do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado ponderado obtido para a fachada em análise.....	120
Figura 99 - Resultados obtidos com o software "Insulation Studio" da CESVA.....	121
Figura 100 - Botões que permitem o acesso às folhas de cálculo das incertezas, de C_{tr} e de cálculos auxiliares.....	122
Figura 101 - Apresentação da folha "Incertezas_fachada".....	122
Figura 102 - Apresentação da folha "Ctr_fachadas".....	123
Figura 103 - Tabelas com cálculos auxiliares da folha "CA_fachadas".....	124

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Limites dos índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos, $D_{nT,w}$	12
Tabela 2 - Limites do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea em fachadas, $D_{2m,nT,w}$	12
Tabela 3 - Limites do índice de isolamento sonoro a sons de percussão, $L_{nT,w}$	12
Tabela 4 - Limites do nível de avaliação, $L_{AR,nT}$	13
Tabela 5 - Limites do tempo de reverberação, Tr	13
Tabela 6 - Situações em que se usa os termos de adaptação C ou C_{tr} (Standardization, 1996).....	18
Tabela 7 - Nível de pressão normalizada dos sons de percussão num pavimento de referência (Standardization, 1996).....	20
Tabela 8 - Instrumentos utilizados nas medições in situ ao longo do estágio.....	22
Tabela 9 - Número de posições da fonte sonora e do sonómetro para medição dos sons aéreos entre compartimentos.....	30
Tabela 10 - Soluções de fachadas encontradas no decorrer do estágio.....	37
Tabela 11 - Índices de redução acústica para vidros monolíticos comuns (Scherer, 2005).....	42
Tabela 12 - Índices de redução acústica para vidros laminados (Scherer, 2005).....	42
Tabela 13 - Quantidade de fachadas ensaiadas no decorrer do estágio, com áreas de envidraçado <60% e >60% da sua área.....	45
Tabela 14 - Tipos de lajes e áreas de amostra respetivas.....	52
Tabela 15 - Lista de compartimentos ensaiados, fachadas, paredes de separação e lajes.....	66
Tabela 16 - Valores dos tempos de reverberação e desvio padrão para os compartimentos mobilados e não mobilados.....	72
Tabela 17 - Relacionamento entre o nº do registo do ensaio e as folhas para as quais devem ser copiados os dados.....	115

SIMBOLOGIA

Letras maiúsculas latinas

A	Área de absorção equivalente
A_{envidraçado}	Área de envidraçado
A_{fachada}	Área da fachada
C, C_{tr}	Termos de adaptação usados no caso de medição dos sons aéreos
C_l	Termo de adaptação usado no caso de medição dos sons de percussão
D_{2m,nT,w}	Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado ponderado de fachadas e de elementos de fachada
D_{nT,w}	Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado ponderado entre compartimentos
Hz	Hertz
L₁	Nível médio de pressão sonora no compartimento emissor
L_{1,2m}	Nível sonoro aéreo medido a 2 metros da fachada
L_{1,f}	Nível sonoro na emissão, quando se está a medir o isolamento entre compartimentos
L₂	Nível médio de pressão sonora no compartimento recetor
L_{2,corr.}	Nível médio de pressão sonora no compartimento recetor, corrigido devido ao ruído de fundo
L_{2,f}	Nível sonoro na receção, quando se está a medir o isolamento entre compartimentos
L_{AR}	Nível de avaliação
L_b	Nível do ruído de fundo
L_{corr.}	Nível do sinal corrigido devido ao ruído de fundo
L_{eq,f}	Nível de pressão sonora no compartimento de receção, quando se está a medir o isolamento da fachada
L_{eq,f(rf)}	Nível do ruído de fundo
L_i	Nível sonoro de percussão médio no compartimento recetor
L'_{nT,w}	Índice de isolamento sonoro padronizado ponderado a sons de percussão
L_{p,corr.}	Nível de pressão sonora gerado pela máquina de martelos, no compartimento recetor, corrigido devido ao ruído de fundo
L_{sb}	Nível do sinal e do ruído de fundo combinados

N	Número de pontos de medição
Pa	Pascal
R_w	Índice de redução acústica
S	Área da superfície da sala
S_i	Área da superfície do elemento i
T₂₀	Tempo de reverberação com decaimentos de 20dB
T₃₀	Tempo de reverberação com decaimentos de 30dB
T_r	Tempo de reverberação
V	Volume do compartimento
VBA	Visual Basic
W	Watt

Letras minúsculas latinas

c	Velocidade do som
cm	Centímetro
dB	Decibel
f	Frequência
kHz	kilo - Hertz
log	Logaritmo
m	Metro
m²	Metro quadrado
m³	Metro cúbico
mm	Milímetro
n	Número de decaimentos
s	Segundos
u	Incerteza
z	Impedância acústica

Letras minúsculas gregas

α	Coeficiente de absorção sonora
α_i	Coeficiente de absorção do elemento i
α_{médio}	Coeficiente de absorção médio da envolvente da sala
μPa	Micro - Pascal

Símbolos

°	Grau
%	Percentagem
>	Maior
<	Menor

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento do tema

Com o aumento do ruído ambiente, denota-se uma preocupação crescente com o conforto dos utentes dos edifícios e também uma maior exigência por parte destes. Como resultado disso, tanto os construtores como os utentes procuram conseguir edifícios com um nível de conforto distinto dos edifícios de outras épocas os quais eram construídos com exigências de conforto acústico mínimas ou até mesmo inexistentes. Também contribui para uma melhoria das condições acústicas nos edifícios o facto de existirem atualmente em vigor regulamentos que visam limitar os níveis de ruído no ambiente urbano definindo exigências de isolamento sonoro aplicáveis aos novos edifícios. Apesar de a primeira versão do Regulamento Geral do Ruído datar de 1987, muitos dos edifícios construídos desde essa altura até à atualidade denunciam uma aplicação defeituosa daquele, quer por uma má interpretação dos projetistas ou por negligência da parte dos construtores, quer devido talvez a uma falta de controlo por parte das entidades licenciadoras.

Hoje em dia, em Portugal, o tratamento da acústica nos edifícios está ainda numa fase de evolução, na qual várias autarquias estão já a exigir uma aprovação da qualidade acústica dos edifícios antes do licenciamento destes. Para tal, existem entidades especializadas no assunto, quer públicas quer privadas, que efetuam as avaliações necessárias recorrendo a técnicas descritas na regulamentação em vigor, de modo a verificar se o isolamento acústico se encontra dentro dos valores estipulados na legislação atual.

De forma a melhor abordar o tema dos ensaios e técnicas de medição, considerou-se necessário fazer uma breve introdução acerca do som, da forma como se propaga e dos limites do ouvido humano. O som propaga-se na forma de ondas em meio gasoso, sólido e líquido, podendo sofrer fenómenos de reflexão, difração e transmissão na passagem de um meio para o outro. Os sons podem ser caracterizados pela sua duração, frequência, intensidade e timbre, havendo várias grandezas que permitem avaliar todas as características do som tais como, a impedância acústica, a pressão sonora, a potência sonora e a intensidade sonora:

- a impedância acústica é a relação entre a pressão sonora e a velocidade de deslocamento das partículas, $z = \frac{\vec{p}(r,t)}{\vec{u}(r,t)}$. Esta grandeza avalia a capacidade do som se propagar com maior ou menor facilidade num determinado meio;
- a pressão sonora depende da localização da fonte e das características da envolvente e é a grandeza que mais se utiliza para medir a energia sonora emitida pela fonte de ruído. Esta é expressa em Decibel (dB);
- a potência sonora é a grandeza que avalia a energia sonora produzida pela fonte, mas que ao contrário da pressão sonora, não depende das características da envolvente. Esta é expressa em watts (W).
- a intensidade sonora identifica o fluxo de energia que atravessa uma superfície de área unitária normal à direção de propagação da onda. Esta é expressa em W/m^2 .

Um som pode, na forma mais simples ser definido como uma variação de pressão produzida por uma fonte, transmitida através de um meio de propagação e detetada pelo ouvido recetor (Tadeu, et al., 2007). O ouvido recetor que interessa na avaliação da acústica em edifícios é o ouvido do ser humano que tem os seus limites de perceção do som. O ouvido humano percebe sons numa grande gama de pressões, a qual abrange desde os $20\mu Pa$ aos $20Pa$. O nível mais baixo de $20\mu Pa$ representa o ponto abaixo do qual se “encontram” os ultrassons e é designado de limiar da audição pois, abaixo deste nível, um humano com uma audição comum não percebe qualquer tipo de som. O nível mais alto de $20Pa$ é designado de limiar da dor, sendo o valor máximo que um humano comum consegue suportar. Importa salientar que, tal como acima foi referido, a grandeza usada para a medição da pressão sonora é o Decibel. Isso deve-se ao facto de a perceção do ouvido humano se processar a uma escala bastante próxima da logarítmica. Assim, o logaritmo da relação entre os quadrados da pressão sonora medida e da de referência (esta correspondente ao limiar de audição, de $20 \times 10^{-6} Pa$) denomina-se por bel. Da multiplicação destes valores por 10 resulta a grandeza decibel (dB) (Tadeu, et al., 2007).

Em termos de frequências, a sensibilidade do ouvido humano varia entre os 20Hz e os 20kHz sendo que, a sua sensibilidade máxima ocorre entre os 3,5kHz e os 4kHz (Figura 1). A perceção das frequências pelo ouvido humano, tal como acontece para a pressão sonora, não ocorre de uma forma linear. Assim, como forma de avaliar a frequência, consideram-se as oitavas, sendo então definidas as bandas por oitava de modo a que o

limite superior da frequência seja o dobro da frequência limite inferior. Para além destas, podem também ser definidas bandas de 1/3 de oitava que limitam os intervalos de frequência a 1/3 da banda de oitava.

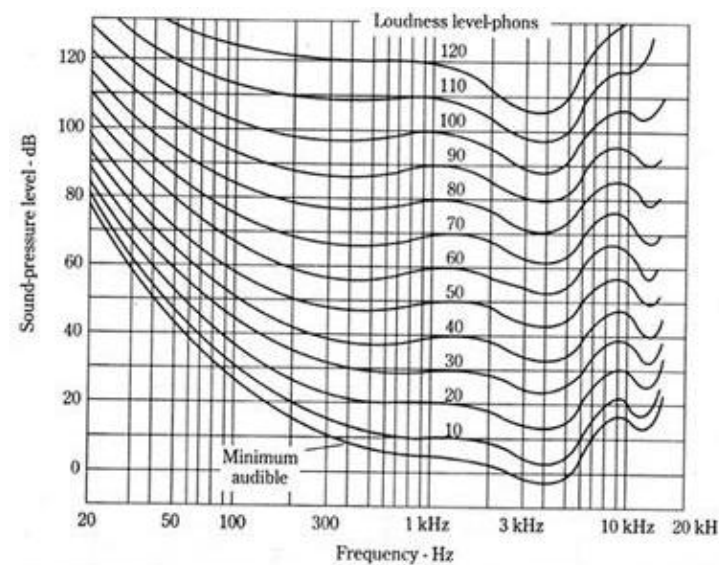


Figura 1 - Resposta do ouvido humano em frequências (Mattos, 2004)

Importa ainda aqui abordar a propagação das ondas sonoras em espaços fechados. Como forma de criar os ambientes extremos num recinto fechado, criaram-se as câmaras reverberantes e as câmaras anecoicas. Ambas se tratam de salas completamente (ou quase completamente) isoladas, sendo que as primeiras apresentam todas as superfícies bastante refletoras e as segundas apresentam as superfícies bastante absorventes. As câmaras reverberantes permitem que quase toda a energia incidente seja refletida, resultando um campo sonoro em que o nível de intensidade sonora varia insignificamente com o aumento da distância à fonte. Por outro lado, nas câmaras anecoicas, ocorre uma redução do nível de intensidade de 6dB, sempre que a distância à fonte duplica sendo este comportamento equiparável ao que ocorre em campo livre.

1.2. Objetivos do estudo

A presente dissertação resulta de uma pesquisa de conceitos teóricos e da experiência adquirida num estágio em acústica de edifícios habitacionais unifamiliares, no qual se

pretende efetuar um programa de cálculo numa folha Excel dos vários parâmetros acústicos exigidos na regulamentação atual, bem como um estudo estatístico da qualidade sonora em função das características das fachadas dos edifícios e dos compartimentos. A dissertação é direcionada para o estudo de sons aéreos e de percussão em edifícios de habitação, não sendo aqui tratados os ruídos de tráfego ou ambiente, entre outros.

1.3. Organização do relatório

O presente documento encontra-se organizado em seis capítulos e um anexo:

Capítulo 1 – Neste capítulo é apresentado o enquadramento do trabalho, objetivos e a organização do documento;;

Capítulo 2 – Neste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica acerca do tema, bem como as normas e regulamentos consultados ao longo do estágio e da elaboração deste relatório;

Capítulo 3 – Neste capítulo é apresentado tudo o que se relaciona com as medições acústicas realizadas *in situ*, durante o estágio. Desde os instrumentos utilizados, tipos de ensaios realizados e metodologias aplicadas.

Capítulo 4 – Neste capítulo são apresentados conceitos teóricos e fórmulas usadas no tratamento de dados. É também neste capítulo que se faz a apresentação dos resultados e a sua análise.

Capítulo 5 – Neste capítulo são apresentadas medidas de correção de problemas com o isolamento acústico, que devem ser executadas quando não se verifique a conformidade com a regulamentação.

Capítulo 6 – Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões retiradas do estudo realizado.

2. ACÚSTICA DOS EDIFÍCIOS

2.1. Generalidades

Um dos parâmetros mais utilizados nas medições acústicas para avaliação da qualidade acústica no interior dos edifícios é o tempo de reverberação. Por definição, o tempo de reverberação (T_r) corresponde ao intervalo de tempo necessário para se verificar um decréscimo do nível sonoro de 60dB, após a paragem da fonte sonora (Figura 2).

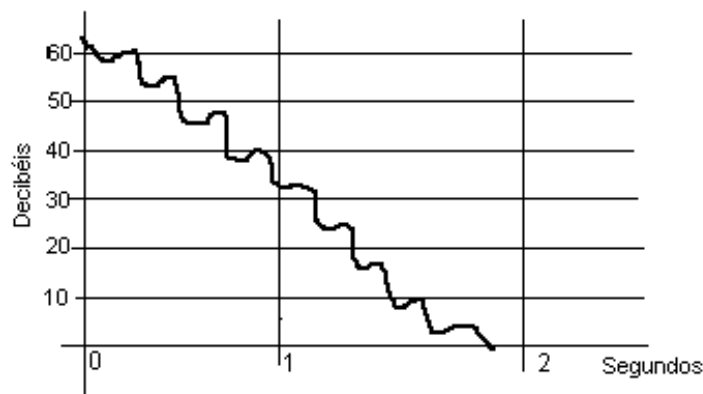


Figura 2 - Tempo de reverberação (Audioacústica)

Este parâmetro depende do volume do espaço fechado, da frequência do som, do revestimento das superfícies envolventes e do recheio existente no interior do compartimento, podendo ser calculado de três formas:

- pela fórmula de Sabine:

$$T_r = 0,163 \frac{V}{A} \quad (2.1)$$

em que,

V – volume do compartimento [m^3];

A – área de absorção equivalente [m^2].

- pela fórmula de Eyring:

$$T_r = 0,07 \frac{V}{-S \cdot \log(1 - \alpha_{m\u00e9dio})} \quad (2.2)$$

em que,

S – área da superfície da sala [m²];

$\alpha_{m\u00e9dio}$ – coeficiente de absorção médio da envolvente da sala, $\alpha_{m\u00e9dio} = \frac{\sum \alpha_i S_i}{\sum S_i}$, sendo α_i o coeficiente de absorção do elemento i, e S_i a área da superfície do elemento i.

- pela fórmula de Millington:

$$T_r = \frac{0,07V}{-\sum [S_i \log(1 - \alpha_i)]} \quad (2.3)$$

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

Outro parâmetro igualmente importante, para se conseguir obter o isolamento desejado de um compartimento, é o coeficiente de absorção sonora (α). Este é a diferença entre a energia sonora absorvida e a energia sonora incidente, sendo usado para o cálculo do isolamento. O valor do coeficiente de absorção varia entre 0 e 1, tomando o valor de 0 para uma câmara reverberante e tomando o valor de 1 para uma câmara anecoica. Todos os materiais têm um coeficiente de absorção sonora característico, dependendo da sua capacidade de absorção. Assim, os materiais podem ser classificados em três tipos:

- materiais porosos ou fibrosos (absorvem melhor para frequências elevadas compreendidas entre 1600Hz e 6400Hz);
- membranas (melhor absorção para baixas frequências compreendidas entre 100Hz e 400Hz);
- Ressonadores (melhor absorção para médias frequências compreendidas entre 400Hz e 1600Hz).

Existem outras grandezas importantes para os cálculos necessários em acústica, mas que não serão aqui definidas por não se considerarem relevantes nesta fase de introdução, sendo apresentadas na altura devida ao longo do presente documento.

Para o estudo da acústica de edifícios, é necessário fazer uma análise das fontes de ruído, um condicionamento acústico dos recintos e o dimensionamento da envolvente com vista ao isolamento sonoro (Leão, 1994). Uma vez que a presente dissertação se baseia essencialmente na avaliação acústica de edifícios de habitação, apenas se fará o estudo da propagação dos sons entre dois espaços limitados por uma separação física, a partir da qual se obtém o isolamento sonoro dessa separação física. O condicionamento acústico é a avaliação da propagação do som dentro de um espaço fechado e é considerado apenas em recintos cuja finalidade depende bastante da qualidade acústica como, por exemplo, anfiteatros ou auditórios.

Na avaliação acústica é necessário considerar duas formas de propagação do som:

- sons de percussão: estes propagam-se acompanhados de vibrações da construção e são resultantes de choques, passos em pavimentos, funcionamento de máquinas, entre outros;

- sons aéreos: estes propagam-se, tal como a própria designação indica, por meio aéreo. Este tipo de propagação, normalmente afeta apenas os locais mais próximos da fonte. A transmissão entre dois compartimentos depende dos elementos de separação, da ligação aos elementos envolventes e da forma como a propagação se processa no interior das salas emissoras e recetora.

São estes os dois tipos de propagação de som considerados nos ensaios acústicos.

2.2. Ensaios acústicos

Tal como mencionado anteriormente, os ensaios acústicos baseiam-se essencialmente na análise dos sons de percussão e dos sons aéreos. Para essa análise, é necessário sempre ter uma fonte de produção sonora e um recetor normalizados. Assim, existem vários tipos de aparelhos que permitem fazer a avaliação acústica, fornecendo já os resultados que são posteriormente introduzidos num *software* para o efeito, determinando a necessidade de alterar ou não o isolamento sonoro entre os compartimentos

ensaiados, por comparação dos resultados com os valores limite estipulados no decreto-lei em vigor.

Os aparelhos que se apresentam a seguir funcionam como recetores:

- Sonómetro (Figura 3);



Figura 3 – Sonómetro (Ambergo - Estudos e Equipamentos de Controlo Ambiental, 2010)

- Dosímetro (Figura 4);



Figura 4 – Dosímetro (Caprotecsa, 2006)

- Sondas de intensidade (Figura 5);



Figura 5 - Sondas de intensidade (Tadeu, et al., 2007)

- Analisadores em paralelo (Figura 6);



Figura 6 - Analisadores em paralelo (Tadeu, et al., 2007)

Destes aparelhos distinguem-se aqueles que medem pressões sonoras (sonómetros e dosímetros) e aqueles que medem intensidades sonoras (sondas de intensidade). Existem ainda os aparelhos que medem simultaneamente pressões, intensidades e vibrações mecânicas, permitindo visualizar em tempo real o espectro em frequência, por partições de banda de oitava (analisadores em paralelo).

As fontes sonoras podem ser de três tipos:

- Fontes sonoras direcionais;
- Fontes sonoras omnidirecionais;
- Fontes sonoras de sons de percussão.

Quando é solicitada uma medição acústica de um edifício de habitação, dependendo se é unifamiliar, multifamiliar e se existe um piso destinado a comércio, poderão ser efetuados alguns tipos de ensaios, nomeadamente, ensaio de medição do isolamento sonoro a sons de condução aérea de fachadas e de elementos de fachada ($D_{2m,nT}$), ensaio de medição do isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos (D_{nT}), medição do índice de isolamento sonoro a sons de percussão (L'_{nT}) e medição do nível de avaliação (L_{AR}), sendo este último referente ao ruído provocado por equipamentos.

Além destes, é necessário medir o ruído de fundo sempre que se efetuem os seguintes ensaios:

- medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos;
- medição do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e de elementos de fachada;
- medição do isolamento sonoro a sons de percussão.

Existem várias normas que visam regulamentar a forma como os ensaios deverão ser efetuados, bem como devem ser determinados os parâmetros necessários na avaliação acústica. Estas encontram-se na secção 3.3 da presente dissertação.

2.3. Normas e regulamentos

Nesta secção encontram-se as normas referentes à acústica nos edifícios, bem como os decretos-lei atualmente em vigor. As normas e decretos-lei encontram-se referidos na lista seguinte, sendo abordados de forma mais aprofundada nas subsecções 3.3.1., 3.3.2., 3.3.3., 3.3.4., 3.3.5., 3.3.6., 3.3.7., 3.3.8., 3.3.9..

- Decreto – Lei 96/2008 de 9 de Junho;
- Decreto – Lei 9/2007 de 17 de Janeiro (ANEXO: Regulamento Geral do Ruído);
- NP EN ISO 140-4 : Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Medição *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos.
- NP EN ISO 140-5 : Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Medição *in situ* do isolamento sonoro de sons aéreos de fachadas e de elementos de fachada.

- ISO 140-7: Acustica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e elementos de construção. Medição *in situ* do isolamento sonoro a sons de percussão.
- ISO 717-1: Rating of sound insulations in buildings and buildings elements. Airborne sound insulation.
- ISO 717-2: Rating of sound insulations in buildings and buildings elements. Impact sound insulation.
- ISO 3382-2: Measurement of room acoustic parameters. Reverberation time in ordinary rooms.

2.3.1. Decreto – Lei 96/2008 de 9 Junho

O decreto-lei 96/2008 de 9 de Junho estabelece os limites de isolamento sonoro a sons aéreos e a sons de percussão. Este decreto-lei estabelece também as fórmulas que devem ser usadas para o cálculo do isolamento sonoro, definindo ainda alguns termos usados.

Este documento define vários parâmetros tais como, o tempo de reverberação, o isolamento sonoro a sons de condução aérea para fachadas, o isolamento sonoro a sons de condução aérea de elementos de compartimentação, o nível sonoro de percussão padronizado, o nível de avaliação padronizado e o termo de adaptação. São referidas também as responsabilidades no projeto acústico e estabelecidos os limites de isolamento atrás mencionados para os vários tipos de utilização dos edifícios (edifícios habitacionais e mistos, edifícios comerciais e de serviços, edifícios escolares e de investigação, entre outros), encontrando-se também os limites do tempo de reverberação em função do volume do compartimento ou recinto em estudo.

De forma a resumir estes limites, elaboraram-se as tabelas que a seguir se apresentam (Tabela 1, Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4). Estas baseiam-se apenas nos limites indicados para os edifícios habitacionais e mistos, visto serem estes os tipos de edifícios que serão considerados em toda a dissertação.

Tabela 1 - Limites dos índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos, $D_{nT,w}$

Emissor	Recetor	$D_{nT,w} \geq$
Compartimentos de um fogo	Quartos ou zonas de estar de outro fogo	50
Locais de circulação comum em geral	Quartos ou zonas de estar dos fogos	48
Locais de circulação comum: caminho de circulação vertical (quando edifício tem elevador)	Quartos ou zonas de estar dos fogos	40
Locais de circulação comum: garagem ou estacionamento automóvel	Quartos ou zonas de estar dos fogos	50
Comércio, indústria, serviços ou diversão no edifício	Quartos ou zonas de estar dos fogos	58

Tabela 2 - Limites do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea em fachadas, $D_{2m,nT,w}$

Emissor	Recetor	$D_{2m,nT,w} \geq$
Exterior: Zonas mistas ou sensíveis (RGR: artº11º (n.º1 b)))	Quartos ou zonas de estar de outro fogo	33
Exterior: Zonas sensíveis (RGR: artº11º (n.º1 a),d),e))	Quartos ou zonas de estar dos fogos	28

NOTA1: Estes valores devem ser acrescidos de 3dB quando se verifique o disposto no art.º 12.º (nº7) do RGR.

NOTA2: Quando a área de envidraçado é >60% da área da fachada, estes valores devem ser acrescidos de C ou Ctr' conforme o tipo de ruído dominante na emissão.

Tabela 3 - Limites do índice de isolamento sonoro a sons de percussão, $L'_{nT,w}$

Emissor	Recetor	$L'_{nT,w} \leq$
Compartimentos de um fogo	Quartos ou zonas de estar de outro fogo	60
Locais de circulação comum do edifício	Quartos ou zonas de estar dos fogos	28
Caminho de circulação vertical, quando o edifício é servido por elevador	Quartos ou zonas de estar dos fogos	(*)
Locais de comércio, indústria, serviços ou diversão	Quartos ou zonas de estar dos fogos	50

(*) Este ensaio é desprezável, uma vez que se parte do princípio que as escadas não serão utilizadas, ou serão pouco utilizadas

Tabela 4 - Limites do nível de avaliação, $L_{AR,nT}$

	Emissor	Recetor	$L_{AR,nT}$ [dB(A)] ≤
Equipamentos coletivos (elevadores, grupos hidropressores, ventilação mecânica, portas de garagem, postos de transformação de corrente elétrica, instalações de escoamento de água	Funcionamento intermitente	Quartos ou zonas de estar de outro fogo	32
	Funcionamento contínuo	Quartos ou zonas de estar dos fogos	27
	Grupo gerador elétrico de emergência	Quartos ou zonas de estar dos fogos	40

Elaborou-se ainda uma tabela (Tabela 5), onde se indicam os limites dos tempos de reverberação em função do volume do recinto em estudo.

Tabela 5 - Limites do tempo de reverberação, T_r

Locais	T_r ≤
Refeitórios ou recintos públicos de restauração	$0.15V^{1/3}$
Escritórios ($V \geq 100m^3$)	$0.15V^{1/3}$
Salas de aula, bibliotecas, salas polivalentes e refeitórios	$0.15V^{1/3}$
Ginásios	$0.15V^{1/3}$
Ginásios c/ sistema de difusão pública de mensagens sonoras	$0.12V^{1/3}$
Enfermarias ($V \geq 100m^3$)	$0.15V^{1/3}$
Átrios e salas de espera ($V \geq 100m^3$) s/ difusão de mensagens sonoras	$0.15V^{1/3}$
Átrios e salas de espera ($V \geq 100m^3$) c/ difusão de mensagens sonoras	$0.12V^{1/3}$

2.3.2. Decreto – Lei 9/2007 de 17 de Janeiro (ANEXO: Regulamento Geral do Ruído)

O decreto – Lei 9/2007 de 17 de Janeiro é acompanhado, em anexo, pelo Regulamento Geral do Ruído. Este visa estabelecer os limites de ruído produzido por atividades ruidosas e por outras fontes de ruído, surgindo assim o Indicador de ruído diurno-entardecer-noturno (L_{den}), expresso em decibéis (dB(A)). Este parâmetro é igualmente importante nas medições acústicas dos edifícios, uma vez que deve ser medido para

entrar no cálculo para se obter o isolamento sonoro real de uma fachada. Nos vários capítulos do RGR são também definidas as disposições legislativas referentes ao ruído, tendo estas sido criadas de forma a melhorar o conforto acústico da população. São assim estabelecidos os períodos de referência:

- Período diurno – das 7 às 20 horas;
- Período do entardecer – das 20h às 23 horas;
- Período noturno – das 23 as 7 horas.

Os quais foram estabelecidos com base nas atividades e ruídos consequentes destas, que se produzem nas diferentes horas do dia.

São também definidas zonas mistas e zonas sensíveis, considerando-se importante transcrever a sua definição visto ser relevante o seu conhecimento para a avaliação do isolamento da fachada. Assim, define-se Zona Mista como a área definida em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja afeta a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível (RGR - DL9/2007 de 17/01, Governo, 2007) , e Zona Sensível como a área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período noturno (RGR - DL09/2007 de 17/01, Governo, 2007) .

2.3.3. NP EN ISO 140-4: Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Medição *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos

A norma NP EN ISO 140-4 estabelece a metodologia que deve ser usada nas medições acústicas do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos, bem como o cálculo deste, sendo constituída por 9 capítulos e 7 anexos, nos quais são definidos os campos de aplicação, conceitos, equipamentos, a forma de apresentação de resultados e outras informações relevantes.

2.3.4. NP EN ISO 140-5: Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Medição *in situ* do isolamento sonoro de sons aéreos de fachadas e de elementos de fachada

A norma NP EN ISO 140-5 estabelece a metodologia que deve ser usada nas medições acústicas do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea em fachadas ou elementos de fachada, bem como o cálculo deste. São também definidas as situações em que podem ser aplicadas, os conceitos mais utilizados, as características dos equipamentos e a forma de apresentação dos resultados.

Nos anexos encontram-se informações relevantes acerca das medições e características dos provetes em avaliação. Além disso, encontram-se também modelos de apresentação dos ensaios, bibliografia e outras referências normativas.

2.3.5. ISO 140-7: Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of buildings elements. Field measurements of impact sound insulation of floors

A norma ISO 140-7 estabelece a metodologia que deve ser usada nas medições acústicas do índice de isolamento sonoro a sons de percussão, bem como o cálculo deste. Esta norma apresenta menos um capítulo que as anteriores, e apenas 5 anexos. Ao longo de toda a norma são definidos conceitos, procedimentos de medição, modo de apresentação de resultados, entre outras informações mais relevantes.

2.3.6. ISO 717-1: Rating of sound insulation in buildings and of buildings elements. Airborne sound insulation.

A ISO 717-1 é composta por 5 capítulos e por 3 anexos, ao longo dos quais se faz referência a outras normas internacionais, definem-se conceitos e parâmetros.

O Capítulo 4 apresenta as curvas de referência dos valores do som aéreo em bandas de 1/3 de oitava (Figura 7) e em bandas de oitava (Figura 8), definindo também os espectros do nível sonoro necessários para o cálculo dos termos de adaptação C e C_{tr} em bandas de 1/3 de oitava (Figura 9) e em bandas de oitava (Figura 10).

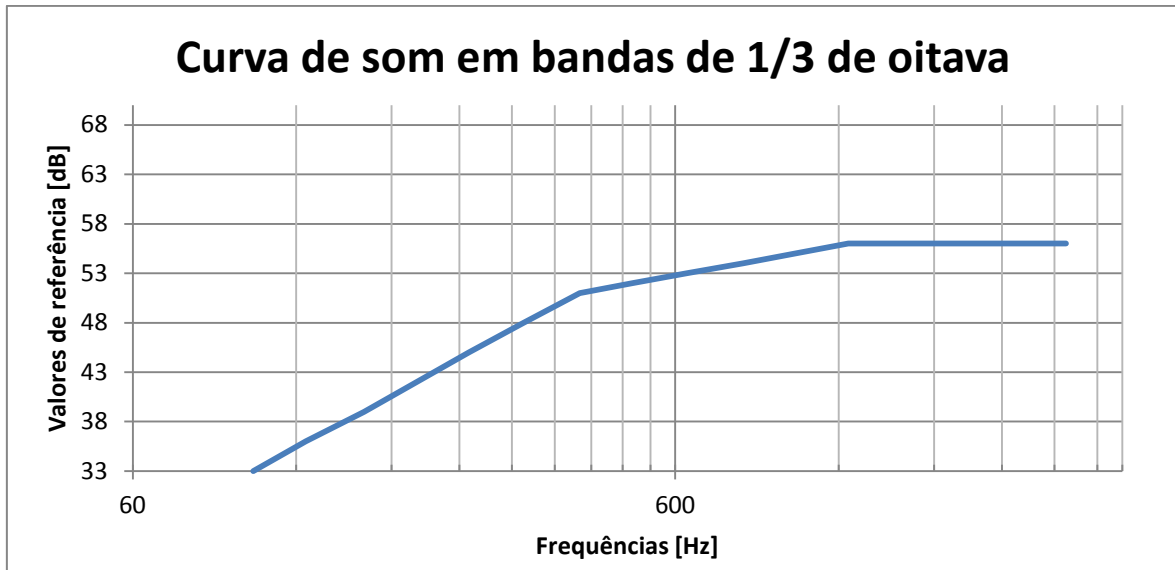


Figura 7 - Curva de som, para sons aéreos, em bandas de 1/3 de oitava (Standardization, 1996)

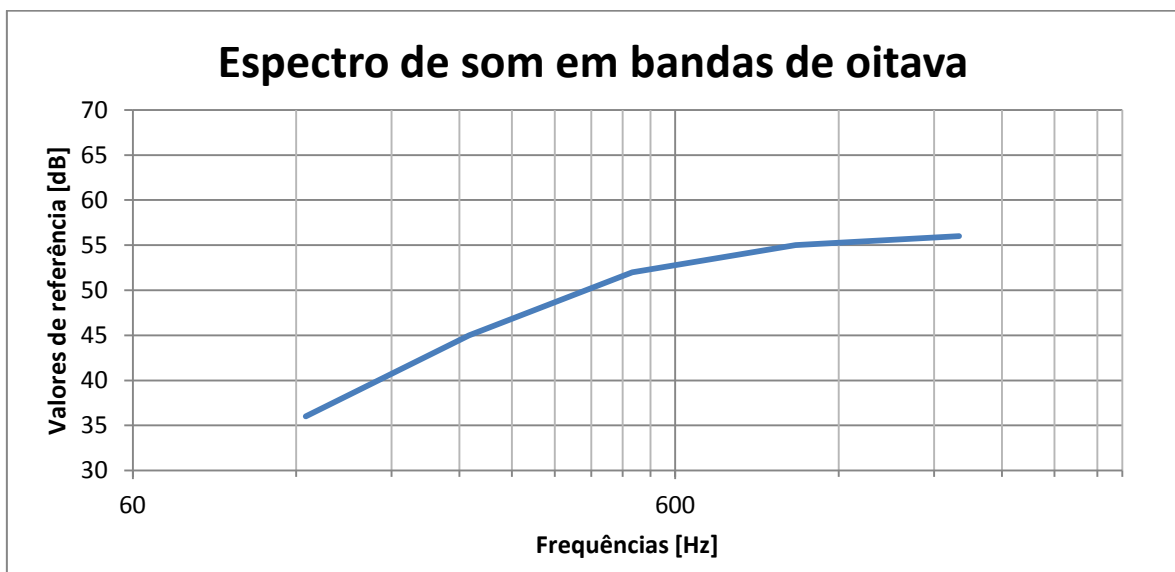


Figura 8 - Curva de som, para sons aéreos, em bandas de oitava (Standardization, 1996)

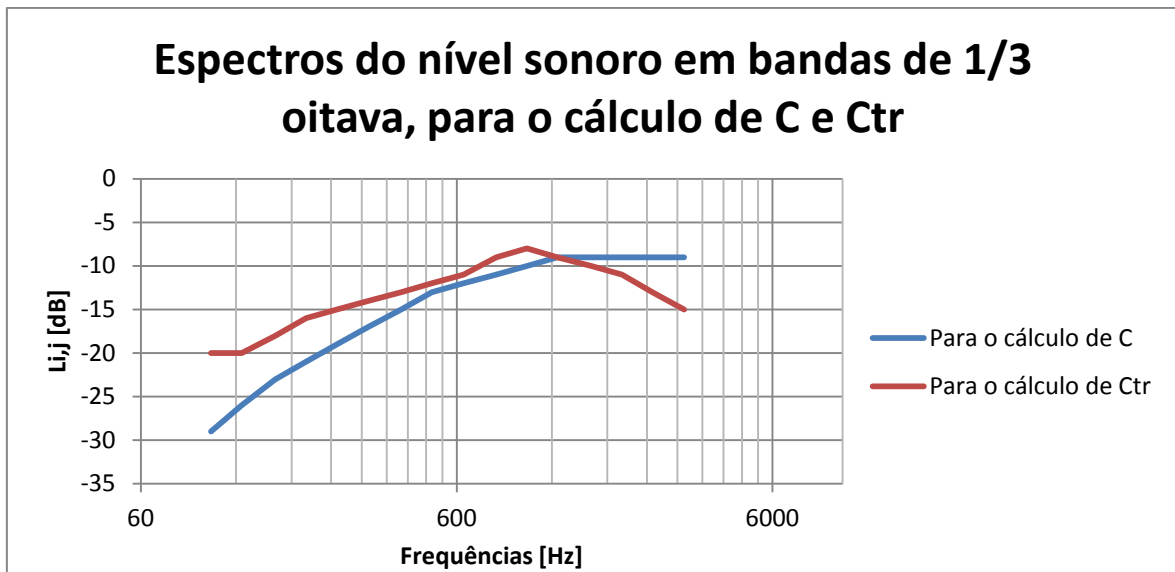


Figura 9 – Espectros do nível sonoro para calcular os termos de adaptação C e C_{tr}, em bandas de 1/3 de oitava (Standardization, 1996)

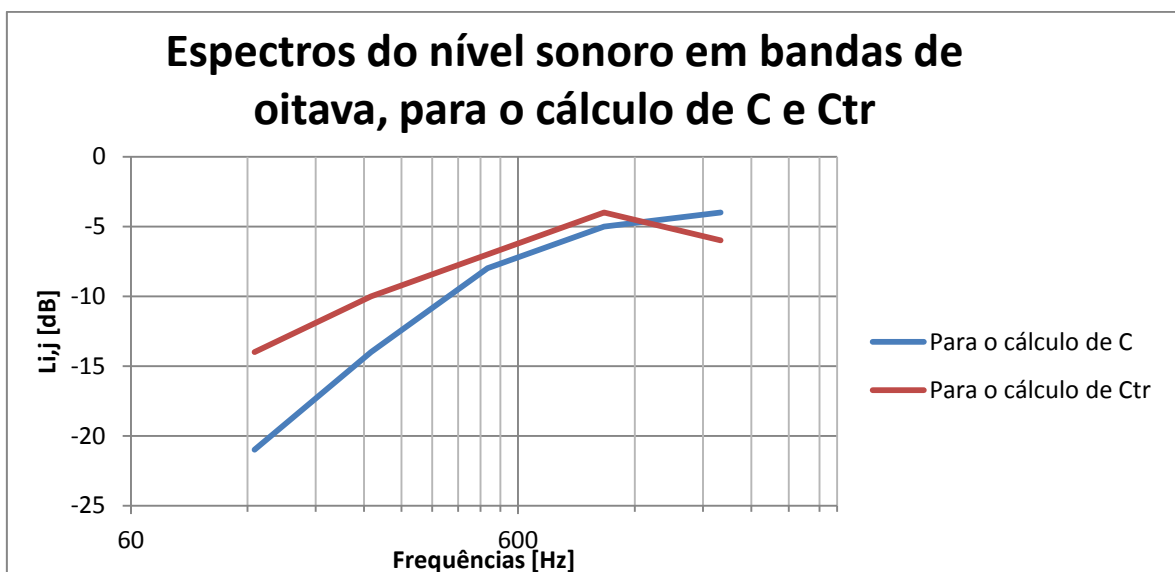


Figura 10 - Espectros do nível sonoro para calcular os termos de adaptação C e C_{tr}, em bandas de oitava (Standardization, 1996)

O Capítulo 4 exemplifica a forma de apresentação dos resultados com a inclusão dos valores de C e de C_{tr}, que é a seguinte:

$$R_w(C; C_{tr}) \text{ dB}$$

em que,

R_w representa o valor do índice de isolamento sonoro.

Nos anexos encontram-se outras considerações acerca dos termos de adaptação, nomeadamente a fórmula de cálculo, tabelas que abrangem uma gama de frequências bastante mais alargada, situações distintas onde se deve usar um ou outro termo de adaptação (Tabela 6), e ainda exemplos de aplicação.

Estes parâmetros, C e C_{tr} , são importantes uma vez que, tal como a própria denominação sugere, têm a função de adaptar os valores obtidos numa medição. Antes, uma construção era avaliada com base num único índice, sem ter em conta as características da fonte sonora. De modo a minimizar gastos exagerados em soluções para isolamento sonoro, foi então criado um índice comum a todos, $R_w (C, C_{tr})$. O índice “tr” vem da designação de tráfego e é utilizado para a correção do índice obtido quando se está a avaliar o ruído de circulação rodoviária e outros em que predominem as baixas frequências (ver Tabela 6). Este é o termo de adaptação usado na correção do espectro de ruído de tráfego rodoviário urbano. O valor de C é utilizado para os outros tipos de ruído em que predominem as altas frequências (ver Tabela 6), sendo o termo de adaptação para corrigir o espectro de ruído rosa.

Tabela 6 - Situações em que se usa os termos de adaptação C ou C_{tr} (Standardization, 1996)

Tipo de fonte de ruído	Termo de adaptação a usar
Atividades diárias (conversa�o, música, rádio, TV) Crianças a brincar Comboios de m�dia e alta velocidade Autoestradas Aviões de jacto de curta distância Indústria que emita ruído médio e/ou ruído de alta frequência	C
Trafego urbano Aviões Próximo de esta�o�es de comboios Aviões de jacto de longa distância Disco music Indústria que emita ruído baixo e/ou média frequência	C_{tr}

2.3.7. ISO 717-2: Rating of sound insulations in buildings and buildings elements. Impact sound insulation

A ISO 717-2 define os parâmetros necessários para o cálculo do isolamento a sons de percussão. Esta é composta por 5 capítulos e por 4 anexos. Os primeiros três capítulos apresentam o campo da sua aplicação, refere outras normas a nível internacional e apresenta definições de conceitos, parâmetros e fórmulas a ser usadas nos cálculos.

O capítulo 4 contém o procedimento para a avaliação dos sons de percussão, apresentando também curvas de referência dos valores dos sons de percussão em bandas de 1/3 de oitava (Figura 11) e em bandas de oitava (Figura 12).

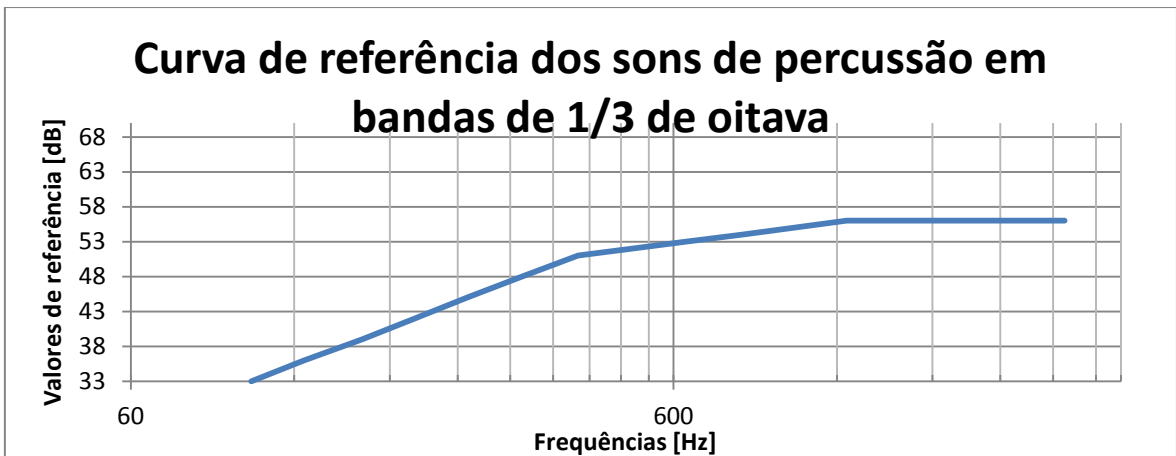


Figura 11 - Curvas de referência dos sons de percussão em bandas de 1/3 de oitava (Standardization, 1996)

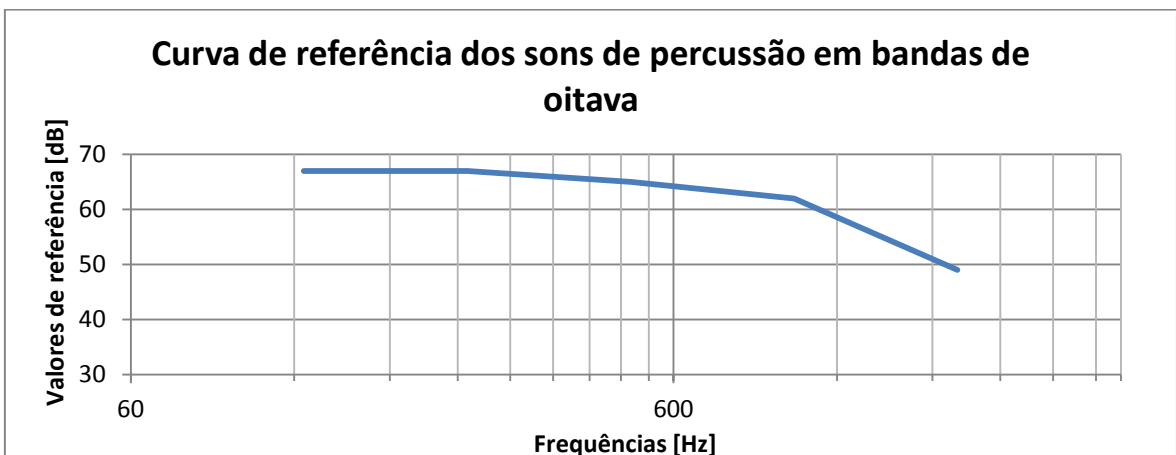


Figura 12 - Curvas de referência dos sons de percussão em bandas de oitava (Standardization, 1996)

O Capítulo 4 refere o procedimento de avaliação do nível de pressão sonora ponderado, tendo em consideração um nível de pressão normalizado $L_{n,r,0}$ (Tabela 7).

Tabela 7 - Nível de pressão normalizada dos sons de percussão num pavimento de referência (Standardization, 1996)

Frequência [Hz]	$L_{n,r,0}$ [dB]
100	67
125	67,5
160	68
200	68,5
250	69
315	69,5
400	70
500	70,5
630	71
800	71,5
1000	72
1250	72
1600	72
2000	72
2500	72
3150	72

Os anexos apresentam formas de cálculo dos espectros dos termos de adaptação para os sons de percussão, o procedimento para a avaliação do nível de pressão sonora ponderado dos sons de percussão, para um revestimento de um pavimento de referência, e ainda exemplos de aplicação.

2.3.8. ISO 3382-2: Measurement of room acoustic parameters. Reverberation time in ordinary rooms

A norma ISO 3382-2 refere-se ao cálculo e medição do tempo de reverberação em salas comuns, estabelecendo os procedimentos necessários para uma boa execução do ensaio.

3. MEDIÇÕES ACÚSTICAS *IN SITU*

3.1. Introdução

Para garantir conforto acústico num edifício é necessário prever, na fase de projeto, quais os sistemas e materiais que deverão ser aplicados. Já a fase de construção da obra, é também de uma importância fulcral, pois se os trabalhos forem executados com rigor, ir-se-ão prevenir inúmeros problemas com esta questão. Esses problemas, caso existam, poderão ser detetados na fase seguinte, que se trata da realização de ensaios *in situ* e tratamento dos resultados com a finalidade de averiguar a conformidade acústica com a legislação vigente.

Os ensaios são apoiados em normas. São elas que contêm a padronização dos procedimentos de medição bem definidos, desde o modo como devem ser manobrados os instrumentos e *softwares*, o número mínimo de medições e condições físico-construtivas dos locais de ensaio. São assim definidos dois ambientes distintos. O ambiente onde se localizará a fonte sonora designa-se de local de emissão e o ambiente onde se localizará o sonómetro (designado de microfone nas normas) designa-se de local de receção.

O presente estudo analisa o comportamento sonoro de elementos de fachada e de compartimentação em zonas de descanso de edifícios de habitação. Tentou-se sempre obter o máximo de informação acerca da constituição dos elementos em análise, quer por consulta do projeto, quer perguntando pessoalmente ao dono de obra ou responsável pela mesma. O universo de amostras foi selecionado de forma a possibilitar a obtenção de conclusões o mais realistas possível acerca da influência dos vários elementos (parede, envidraçado, caixilharia, existência ou não de caixa de estores).

Ao longo do estágio, realizaram-se três tipos de ensaios, que permitiram a:

- determinação do isolamento sonoro de fachadas e elementos de fachada a sons aéreos;
- determinação do isolamento sonoro de elementos de compartimentação a sons aéreos entre compartimentos horizontais;
- determinação do isolamento sonoro a sons de percussão entre compartimentos horizontais.

O estágio englobou 35 ensaios para determinação do isolamento a sons aéreos de fachadas, 3 ensaios para determinação do isolamento a sons aéreos entre compartimentos na horizontal, 3 ensaios para determinação do isolamento a sons de percussão entre compartimentos na horizontal. Deste modo, o estudo incidirá essencialmente sobre os ensaios de fachada, pois é para este tipo que se dispõe de mais amostras.

No caso dos ensaios para verificação do isolamento a sons aéreos, quanto maior for a massa do elemento em estudo, maior será a sua eficácia. Por outro lado, na verificação do isolamento sonoro a sons de percussão, o mais importante é o amortecimento existente entre o piso e a estrutura. Assim, quanto maior for o amortecimento, melhores serão os resultados.

É importante aqui fazer referência aos dois tipos de ruído usados nas medições aos sons aéreos – ruído rosa e ruído branco. A diferença entre estes dois tipos de ruído é que o ruído rosa tem um decaimento de 3dB por banda de oitava, enquanto que o ruído branco tem um nível constante por banda de oitava.

3.2. Instrumentos utilizados

Na tabela que se segue encontram-se todos os instrumentos utilizados nas medições *in situ* realizadas ao longo do período de estágio:

Tabela 8 - Instrumentos utilizados nas medições *in situ* ao longo do estágio

Designação	Marca	Modelo	Nº de série
Sonómetro classe 1 com acessórios respetivos	CESVA	SC-310	T224211
Calibrador	CESVA	CB5	42445
Fonte de pressão sonora	CESVA	FP120	T222120
Coluna omnidirecional “dodecaedro”	CESVA	BP012	BP 012-T222133
Máquina de martelos normalizada	CESVA	MI005	T222212
Tripé			
Fita métrica de 30m com primeira verificação			

Não foi colocado na lista o protetor auricular, por não se tratar de um instrumento usado para medição ou de apoio à medição, mas sim um utensílio de proteção. Este foi sempre usado em todas as medições que implicavam o funcionamento do gerador de ruído e da fonte.

3.3. Tipos de ensaios a realizar

Antes de realizar qualquer ensaio, é necessário calibrar o sonómetro, utilizando o calibrador acústico, preparar todos os equipamentos e assim começar a realizar os ensaios. Note-se que, quando se realizam no interior do compartimento deve-se colocar o gerador de ruído em modo de emissão de ruído rosa. Pelo contrário, quando se pretende medir o isolamento da fachada em que a fonte se situa no exterior e o sonómetro no interior do compartimento, coloca-se a emissão em ruído branco (Figura 13).



Figura 13 - Fonte de ruído em modo de emissão de ruído branco (*white noise*)

Independentemente do elemento que se pretende estudar (fachada, elemento de compartimentação ou laje), é sempre necessário realizar duas medições essenciais. São elas, o tempo de reverberação e o ruído de fundo.

3.3.1. Tempo de reverberação

O tempo de reverberação (T_r), tal como mencionado anteriormente, caracteriza acusticamente um ambiente e é função das características do compartimento. Esta medição permite corrigir os valores dos resultados finais, não permitindo assim que a existência ou não de mobiliário no compartimento influencie o cálculo dos níveis sonoros finais. Importa salientar que as medições do tempo de reverberação foram sempre realizadas no compartimento de receção.

O método utilizado nas medições é o designado de método interrompido, cujos procedimentos se baseiam na ISO 3382-2 (2008), recorrendo ao uso da fonte sonora omnidirecional, do amplificador e do sonómetro.

Durante os ensaios, teve-se sempre o cuidado de respeitar os afastamentos mínimos:

- 2m entre posições de microfones;
- 1m entre uma posição do microfone e qualquer superfície refletora incluindo o chão;

- $d_{min} = 2 \sqrt{\frac{V}{cT_r}}$ entre o microfone e a fonte sonora, de forma a evitar as influências fortes do som directo.

em que,

V – volume da sala [m^3];

c – velocidade do som [m/s];

T_r – estimativa do tempo de reverberação [s], obtido a partir do ábaco do tempo de reverberação ideal a 500Hz, o qual tem em consideração o destino e volume do compartimento (ver figura 14).

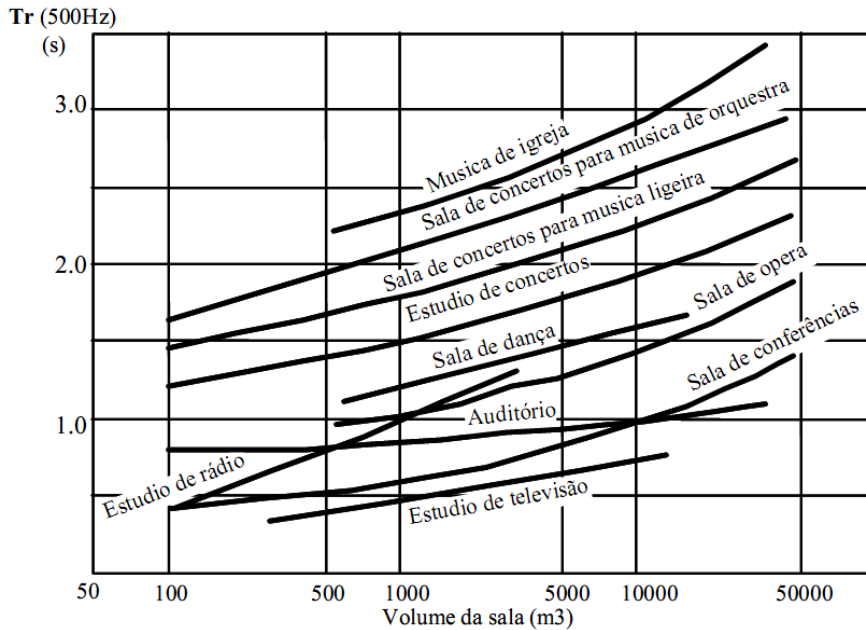


Figura 14 - Tempos ótimos de reverberação, a 500Hz, para diferentes tipos de utilizações (Tadeu, et al., 2007)

Foram sempre realizadas medições para, pelo menos, duas posições da fonte sonora, sendo que para cada posição da fonte sonora se realizaram, no mínimo, 3 medições para 3 diferentes posições do sonómetro. Em compartimentos muito pequenos em que não era possível colocar a fonte sonora em 2 posições mais ou menos centradas, optou-se pela colocação da segunda posição próxima a um dos cantos do compartimento.

As medições do T_r foram sempre feitas com duas pessoas dentro do compartimento. Uma para ligar e desligar o gerador de ruído e outra para efetuar a aquisição de dados com o sonómetro.

O procedimento da medição segue os seguintes passos:

- seleccionar o tipo de medição em bandas de 1/3 de oitava, no sonómetro;
- seleccionar o modo “Play” para começar a ler o ruído;
- após estabilizar o som ambiente, começa-se a fazer o registo;
- liga-se a fonte sonora no modo “ruído rosa” e aguarda-se até que o ruído estabilize (o valor de delta deverá ser superior a 45dB a partir da frequência de 100Hz). Uma vez estabilizado, termina-se o registo e grava-se a leitura.

Os ensaios foram sempre medidos em bandas de 1/3 de oitava entre as frequências de 100Hz e 10kHz sendo que a norma estabelece uma faixa entre 100Hz e 5kHz, para assim poder ser possível efetuar a correção dos parâmetros acústicos ($D_{2m,nT,w}$; $D_{nT,w}$; $L_{nT,w}$).

3.3.2. Ruído de fundo

O ruído de fundo, tal como o tempo de reverberação, é um parâmetro de correção que visa eliminar a interferência de ruídos exteriores nos resultados finais. Para esta medição apenas se recorreu ao uso do sonómetro. Este foi colocado no interior do compartimento em apenas uma posição, sem a presença do gerador de ruído, a efetuar a aquisição de dados durante 5 minutos (ver Figura 15). Tal medição tem como finalidade registar o ruído que ocorre no ambiente do compartimento em condições normais de utilização do edifício e dos arredores.



Figura 15 - Sonómetro posicionado para medição do ruído de fundo

3.3.3. Metodologia para medição dos sons aéreos de fachada

Existem dois tipos de ensaios/métodos para medição do isolamento sonoro a sons aéreos de fachada. O primeiro designa-se de método de elementos e o segundo de

método global. Cada um deles pode ser realizado recorrendo ao uso da fonte sonora ou utilizando o ruído de tráfego real.

O método de elementos é recomendado para casos em que se pretende avaliar o comportamento de um elemento de fachada em relação ao comportamento em laboratório. Os resultados obtidos utilizando a fonte sonora são muito semelhantes aos obtidos utilizando o ruído de tráfego, sendo que este último fornece valores da redução sonora mais baixos.

O método global permite a avaliação do comportamento da fachada global, não sendo possível fazer comparações com resultados obtidos em laboratório. Foi este o método a que se recorreu durante o estágio e é, portanto dele que se tratará a partir deste momento.

Para a determinação do isolamento das fachadas, é necessário efetuar um ensaio no interior do compartimento e outro no exterior, em frente à fachada. O sonómetro deve registar o ruído em bandas de 1/3 de oitava, e a fonte sonora deverá estar em ambos os casos no modo de emissão de ruído branco. Esta deve ser sempre posicionada de modo a que o ângulo de incidência das ondas sonoras na fachada seja igual a $(45 \pm 5)^\circ$ e a ter uma distância do elemento de fachada de, no mínimo, 7 metros. Foram sempre adquiridos dados numa faixa de frequências de 100Hz a 10kHz, sendo a faixa mínima recomendada pelas normas de 100Hz a 1350Hz.

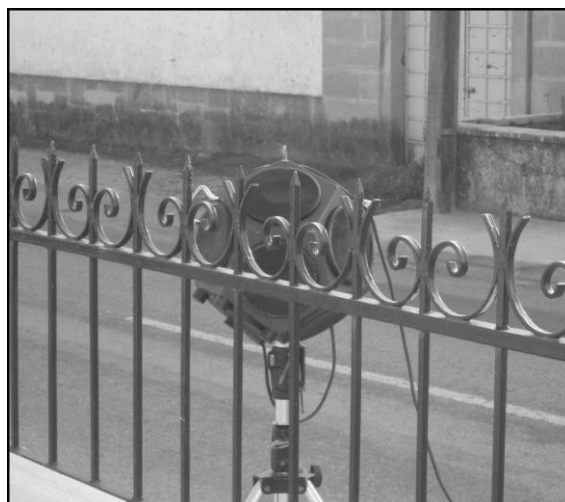


Figura 16 - Posição da fonte sonora no exterior, para medição do nível de isolamento sonoro da fachada de um quarto do 1º andar

Caso a fachada tenha grandes dimensões ou seja constituída por mais que uma parede exterior, devem ser efetuados ensaios para mais do que uma posição da fonte.



Figura 17 - Habitação com duas fachadas, sendo necessário realizar ensaios para duas posições da fonte sonora

3.3.3.1. Medição no interior do compartimento

Para esta medição o sonómetro é colocado no interior do compartimento e a fonte sonora no exterior, com todas as portas e janelas fechadas de modo a diminuir propagações do ruído por vias indiretas.

As medições no interior do compartimento devem ser realizadas para 5 diferentes posições do microfone, devendo ser distribuídas uniformemente e respeitando os afastamentos mínimos indicados na NP EN ISO 140-5 e que para aqui se transpõem:

- 0,7m entre posições do microfone;
- 0,5m entre qualquer posição do microfone e elementos rígidos (paredes, etc...);
- 1m entre qualquer posição do microfone e a fonte sonora.

Os tempos de aquisição de dados considerados ao longo do estágio foram de, pelo menos, 7 segundos sendo o mínimo estabelecido na norma, de 6 segundos.

3.3.3.2. Medição em frente à fachada

As medições em frente à fachada, devem ser realizadas colocando o sonómetro a 1,5 metros acima do pavimento do local recetor, a aproximadamente 2 metros de distância da mesma, no exterior (método global), tendo o cuidado de o colocar perpendicularmente ao centro do elemento de fachada ou a 1 metro a partir da balaustrada ou de outro elemento saliente, caso exista.

Para cada posição da fonte, durante o estágio, foram realizadas 3 medições com tempo mínimo de aquisição de 6 segundos cada.

3.3.4. Metodologia para medição dos sons entre compartimentos

Antes de mais, interessa aqui referir os dois tipos de ensaios possíveis de realizar quer quando se está a avaliar os sons aéreos, quer quando se está a avaliar os sons de percussão. São eles os ensaios medidos entre compartimentos na horizontal e os ensaios medidos entre compartimentos na vertical. Durante o estágio apenas se realizaram três ensaios na horizontal que serão abordados no tratamento de dados embora com consciência que é um universo de amostras insuficiente para tirar quaisquer conclusões.

Antes do ensaio, é necessário ter especial cuidado na escolha dos compartimentos a ensaiar. Se os compartimentos tiverem diferentes volumetrias, deve-se escolher como local emissor aquele que apresentar maior volume. Quanto à geometria, deve-se escolher o compartimento mais regular como recetor e o menos regular como emissor.

As medições devem ser efetuadas em bandas de 1/3 de oitava e para a emissão de ruído rosa.

3.3.4.1. Medições dos sons aéreos entre compartimentos

Para a realização destes ensaios usaram-se o sonómetro, a fonte de pressão sonora e a coluna omnidirecional. Os ensaios foram realizados entre quartos com todas as portas e janelas fechadas para se diminuïrem propagações por vias indiretas.

Normalmente, devem ser realizados ensaios considerando 5 posições do sonómetro distribuídas uniformemente no interior do compartimento (emissor e recetor), para cada posição da fonte sonora. Cada medição deve ter a duração mínima de 6 segundos como

indicado a norma ISO 140-4 (1998), tendo sido sempre adquiridos os dados entre 6 a 7 segundos. A mesma norma estabelece afastamentos mínimos que se tentaram sempre respeitar no ato da medição. Estes encontram-se na lista abaixo:

- 0,7m entre posições do sonómetro;
- 0,5m entre uma posição do sonómetro e os limites do compartimento ou de elementos difusores;
- 1,0m entre uma posição do sonómetro e a fonte sonora;
- 1,2m a 1,5m do solo.

Para situações em que se possam produzir diminuições significativas do nível de pressão sonora, de uma extremidade à outra do compartimento (entre 10dB a 20dB), devem-se considerar outras posições do sonómetro e da fonte sonora.

Assim, para áreas de compartimentos inferiores a 50m², devem-se realizar as medições para 5 diferentes posições do sonómetro e 2 posições da fonte sonora. Para compartimentos com uma área compreendida entre 50 a 100 m², devem-se realizar as medições para 10 diferentes posições do sonómetro e 2 posições da fonte sonora. Finalmente, para compartimentos de área superior a 100m², devem-se realizar as medições para 15 diferentes posições do sonómetro e 3 posições da fonte sonora. A tabela 2 resume aquilo que foi escrito acima, de forma a facilitar a consulta.

Tabela 9 - Número de posições da fonte sonora e do sonómetro para medição dos sons aéreos entre compartimentos

Área do compartimento [m ²]	Número de posições	
	Fonte sonora	Sonómetro
< 50	2	5
50 a 100	2	10
>100	3	15

Quanto às medições na horizontal, é importante tomar em conta que as posições da fonte sonora devem ser escolhidas o mais próximo possível de ambos os cantos da parede do compartimento emissor oposto à área comum.

Já para as medições na vertical, devem-se escolher posições da fonte sonora o mais afastadas possível dos cantos do compartimento.

Em ambos os casos, se a transmissão sonora se der essencialmente através de uma parede ou fachada laterais, deve-se evitar colocar a fonte sonora próxima desses mesmos elementos.

3.3.4.2. Medições dos sons de percussão entre compartimentos

Para a medição dos sons de percussão, é necessário a utilização do sonómetro e da máquina de martelos também designada de máquina de impacto (ver Figura 18), que tem como função excitar a laje gerando ruído bastante superior ao ruído de passadas no pavimento em situações normais de utilização do edifício. Essa característica é bastante importante para que o nível de pressão sonora obtido no local de receção seja o mais adequado, de forma a possibilitar uma boa percepção e registo do sinal. Os locais a ensaiar foram escolhidos seguindo os critérios definidos na ISO 140-7, ou seja, em zonas consideradas de descanso que neste caso foram os quartos. Todas as medições foram efetuadas com portas e janelas fechadas de modo a evitar outros meios de propagação do ruído.



Figura 18 - Máquina de martelos usada na medição dos sons de percussão entre compartimentos

Fizeram-se as medições colocando a máquina de martelos em 4 diferentes posições, no mínimo, distribuídas aleatoriamente dentro do compartimento. O número mínimo de leituras totais usando posições fixas do sonómetro é de 6, e uma combinação de pelo menos 4 posições do microfone com pelo menos 4 posições da máquina de martelos. O

tempo de aquisição mínimo recomendado pela norma é de 6 segundos, tendo-se adotado nos ensaios uma duração compreendida entre os 6 e os 7 segundos. Antes de iniciar o registo teve-se o cuidado de deixar estabilizar o ruído durante cerca de 5 segundos.

Teve-se especial atenção na colocação da máquina de martelos nos cantos do compartimento, pois é importante deixar uma distância de 0,50m entre a própria e a parede ou qualquer outro elemento estrutural (por exemplo, os pilares). Além disso, a máquina de martelos deve ser colocada formando um ângulo de 45° em relação à parede, tal como ilustrado na figura 19, de modo a evitar que a excitação mecânica dos martelos se dê em cima de uma viga, conforme recomendado pela ISO 140-7.

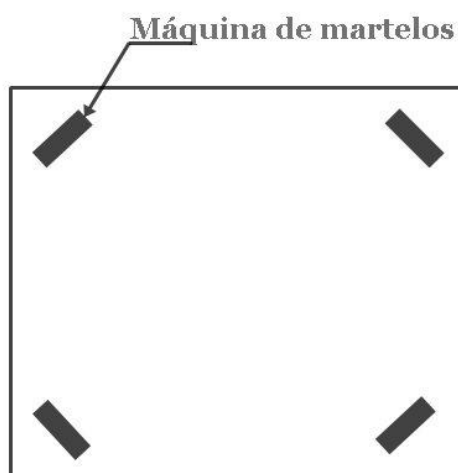


Figura 19 - Posicionamento da máquina de martelos

Para compartimentos de grandes dimensões em planta, é necessário considerar mais posições tanto da máquina de martelos como do sonómetro. Assim, a quantidade de medições a realizar deve ser tanto maior quando maior for o compartimento.

No decorrer do estágio presenciou-se um ensaio num edifício misto, tendo sido necessário realizar medições também na vertical. Como tal, decidiu-se aqui apresentar uma breve descrição dos ensaios deste tipo. Neste caso específico é necessário ter especial atenção ao posicionamento dos compartimentos emissor e recetor, um em relação ao outro. Sendo assim, os compartimentos ou se encontram alinhados verticalmente, ou se encontram desalinhados.

Quando os compartimentos estão alinhados na vertical, seguem-se os parâmetros normais de posicionamento da fonte sonora, devendo esta ser distribuída uniformemente por toda a área de compartimento. As posições do sonómetro devem respeitar aos afastamentos mínimos especificados na norma.

Quando os compartimentos estão desalinhados na vertical, devem-se escolher os locais mais adequados para posicionamento da máquina de martelos e do sonómetro, respeitando sempre os afastamentos mínimos.

No caso das medições do ruído de percussão na horizontal, deve-se posicionar a máquina de martelos entre a parede comum aos dois compartimentos e metade do compartimento emissor. As posições do sonómetro devem ser uniformemente distribuídas no compartimento recetor.

A máquina de martelos gera ruído que pode ser subdividido em ruído de percussão e ruído aéreo. Assim, a contribuição da máquina de martelos a sons de ruído aéreo pode também ser contabilizada. Para tal, é necessário efetuar um conjunto de medições extras no local de emissão, respeitando sempre os afastamentos determinados na norma. Esta contribuição pode ser desprezada sempre que a diferença entre o nível de pressão sonora no compartimento emissor e o nível de pressão sonora no compartimento recetor for igual ou inferior a 10dB para toda a gama de frequências de interesse.

4. TRATAMENTO DE DADOS

Os dados recolhidos com o sonómetro foram sempre tratados recorrendo ao uso de dois *softwares* da CESVA. Um deles permite a extração dos dados do sonómetro e o outro permite a obtenção dos resultados, dos gráficos e dos relatórios. A par disso, foi elaborado um programa de cálculo para a empresa, recorrendo ao uso do Excel.

O livro de Excel foi então realizado recorrendo não só ao uso do Excel, como também ao uso de macros e programação em VBA. Não tendo qualquer conhecimento nessa área, foi necessário frequentar uma pequena formação ministrada pela Key School com sede em Maia. Esta formação foi muito útil, na medida em que forneceu todas as bases necessárias para aplicar no programa.

Neste capítulo serão apresentados os cálculos necessários no tratamento dos dados, bem como uma análise dos resultados e parâmetros obtidos.

4.1. Descritores acústicos

Para avaliar os resultados obtidos nas medições, é fundamental escolher adequadamente os descritores acústicos. Estes denominam-se de descritor normalizado quando o cálculo do nível de isolamento depende da área de absorção sonora equivalente do compartimento recetor, e de padronizado quando o cálculo do nível de isolamento depende do tempo de reverberação do compartimento recetor.

Atualmente, o Decreto-Lei 96/2008 considera a utilização de descritores padronizados pois estes, tendo em consideração o tempo de reverberação, além de terem em linha de conta a área de absorção, têm também em conta a configuração do compartimento e todas as suas restantes características. Assim sendo, pode-se afirmar que os descritores padronizados apresentam uma maior fiabilidade.

Efetuaram-se já vários estudos que confirmam precisamente essa característica. A título de exemplo, refere-se aqui (Vermeir, et al., 2003) que, após várias medições feitas concluiu que a utilização do nível de isolamento de percussão padronizado (L'_{nTW}) é o mais adequado, pois verificou que para volumes maiores do compartimento recetor o nível de isolamento sonoro de percussão normalizado diminuía, ou seja, variava com o volume do compartimento.

O descritor usado na presente dissertação foi o descritor padronizado ponderado:

- nível de isolamento sonoro padronizado ponderado entre compartimentos ($D_{nT,w}$);

$$D_{nT,w} = L_1 - L_2 + 10\text{Log}\left(\frac{T_r}{T_0}\right) \quad [dB] \quad (4.1)$$

em que,

L_1 – nível médio de pressão sonora do compartimento emissor;

L_2 – nível médio de pressão sonora no compartimento recetor.

- nível de isolamento de percussão padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$);

$$L'_{nT,w} = L_i - 10\text{Log}\left(\frac{T_r}{T_0}\right) \quad [dB] \quad (4.2)$$

em que,

L_i – nível sonoro de percussão médio no compartimento recetor.

- nível de isolamento sonoro padronizado ponderado em fachadas ($D_{2m,nT,w}$);

$$D_{2m,nT,w} = L_{1,2m} - L_2 + 10\text{Log}\left(\frac{T_r}{T_0}\right) \quad [dB] \quad (4.3)$$

em que,

$L_{1,2m}$ – nível sonoro aéreo medido a 2 metros da fachada;

L_2 – nível sonoro aéreo medido no interior do compartimento.

4.2. Sistemas estruturais

Hoje em dia existem inúmeros tipos de materiais que podem ser empregues nas construções. Para o presente estudo, apenas serão considerados os sistemas estruturais relativos às paredes exteriores e lajes dos pavimentos, que serão apresentados neste capítulo.

4.2.1. Paredes exteriores de fachada

As fachadas são dos elementos mais críticos em termos de avaliação acústica, visto serem compostas por dois tipos de elementos de compartimentação. Um mais delgado e relativamente aligeirado, o envidraçado, e outro rígido e pesado, a parede. Os envidraçados podem ser de dois tipos, duplos ou simples, sendo essa característica importante a nível de isolamento. As paredes podem ser de vários tipos, mas só se fará aqui a apresentação daqueles que foram ensaiados.

Com o decorrer dos anos, tem-se evoluído cada vez para elementos mais esbeltos, o que nem sempre é a melhor opção para o isolamento acústico. Contudo, a maior parte dos edifícios avaliados ainda utilizam o velho sistema de parede dupla de tijolo furado com caixa-de-ar e isolamento térmico no interior desta. Este sistema foi encontrado em 27 das 35 fachadas (77% do universo total de amostras), sendo que 24 dessas fachadas apresentavam como isolamento placas de poliestireno extrudido (com nome comercial de *wallmate*) e tinham 34cm de espessura, e as outras 3 fachadas tinham como isolamento placas de poliuretano e tinham uma espessura de 35cm. Foram também encontradas soluções de paredes duplas com isolamento pelo exterior, que correspondem a 8.6% do universo total de amostras (3 das 35 fachadas). Além destas, foram ainda encontradas mais quatro diferentes tipos de soluções.

A primeira, uma parede simples de tijolo cerâmico furado com placas de gesso cartonado pelo interior.

A segunda, constituída por um pano exterior de blocos de pedra (neste caso de granito) forrado pelo interior com placas de gesso cartonado.

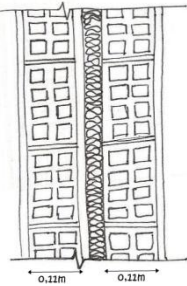
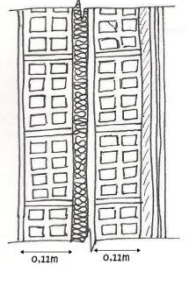
A terceira, uma parede dupla constituída por um pano de tijolo furado pelo interior e um pano de bloco térmico exterior, com isolamento pelo exterior, comumente conhecido como “capoto”.

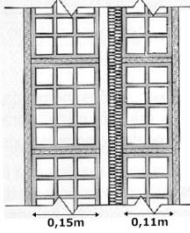
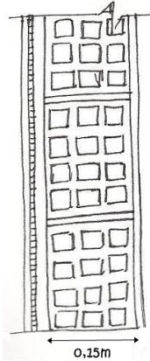
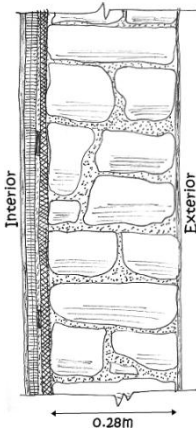
A última, constituída por um único pano de blocos de pedra (granito) apresentando uma espessura total de 75cm.

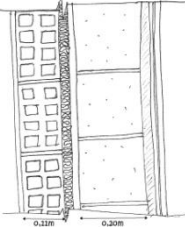
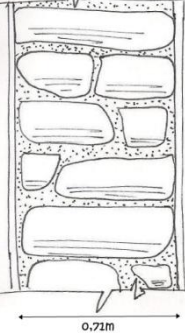
Na Tabela 10, pretende-se apresentar de forma resumida as soluções encontradas ao longo do estágio, incluindo também esquemas para que seja entendido mais facilmente. Note-se que algumas das espessuras dos elementos da fachada tiveram que ser arbitradas pois não foi possível aceder ao projeto, outras foram questionadas ao dono de

obra ou responsável. Nos raros casos em que foi possível consultar o projeto térmico, aí foram encontrados dados detalhados.

Tabela 10 - Soluções de fachadas encontradas no decorrer do estágio

Nomenclatura	Nº de Fachadas ensaiadas	Descrição da solução (do interior para o exterior)	Esquema da solução
F1	24	<ul style="list-style-type: none"> - estuque interior com 0,02m de espessura; - pano interior: tijolo cerâmico com 0,11m espessura; - painel de wallmate com 0,06m espessura; - caixa-de-ar com 0,02m espessura; - pano exterior: tijolo cerâmico furado com 0,11m espessura; - reboco tradicional exterior com 0,02m espessura. <p style="text-align: right;">Espessura total da parede: 0,34m</p>	
F2	3	<ul style="list-style-type: none"> - estuque interior com 0,02m de espessura; - pano interior: tijolo cerâmico com 0,11m de espessura; - painel de wallmate com 0,03m de espessura; - caixa-de-ar com 0,02m espessura; - pano exterior: tijolo cerâmico furado com 0,11m espessura; - isolamento pelo exterior (“capotto”) com 0,05m espessura; - reboco tradicional exterior com 0,02m espessura; <p style="text-align: right;">Espessura total da parede: 0,37m</p>	

Nomenclatura	Nº de Fachadas ensaiadas	Descrição da solução (do interior para o exterior)	Esquema da solução
F3	3	<ul style="list-style-type: none"> - estuque interior com 0,02m de espessura; - pano interior: tijolo cerâmico com 0,11m de espessura; - painel de poliuretano com 0,03m de espessura; - caixa-de-ar com 0,02m espessura; - pano exterior: tijolo cerâmico furado com 0,15m espessura; - reboco tradicional exterior com 0,02m espessura; <p style="text-align: center;">Espessura total da parede: 0,35m</p>	
F4	1	<ul style="list-style-type: none"> - estuque interior com 0,02m de espessura; - placa de gesso cartonado com 0,015m espessura; - manta de lã mineral com 0,025m de espessura; - alvenaria de tijolo cerâmico furado com 0,15m de espessura; - reboco tradicional exterior com 0,02m de espessura. <p style="text-align: center;">Espessura total da parede: 0,23m</p>	
F5	1	<ul style="list-style-type: none"> - estuque interior com 0,02m de espessura; - placa de gesso cartonado com 0,015m espessura; - manta de lã mineral com 0,025m de espessura; - alvenaria de blocos de granito com 0,28m de espessura; - reboco tradicional exterior com 0,02m de espessura. <p style="text-align: center;">Espessura total da parede: 0,36m</p>	

Nomenclatura	Nº de Fachadas ensaiadas	Descrição da solução (do interior para o exterior)	Esquema da solução
F6	1	<ul style="list-style-type: none"> - estuque interior com 0,015m de espessura; - pano interior: tijolo cerâmico furado com 0,11m de espessura; - painel de wallmate com 0,03m de espessura; - caixa-de-ar com 0,02m de espessura; - bloco térmico com 0,20m de espessura; - sistema de isolamento pelo exterior, conhecido por “capoto” com 0,06m de espessura;. - reboco tradicional exterior com 0,015m espessura. <p style="text-align: right;">Espessura total da parede: 0,45m</p>	
F7	2	<ul style="list-style-type: none"> - estuque com 0,02m de espessura; - alvenaria de um pano de pedra com 0,71m de espessura; - reboco tradicional pelo exterior com 0,02m de espessura. <p style="text-align: right;">Espessura total da parede: 0,75m</p>	

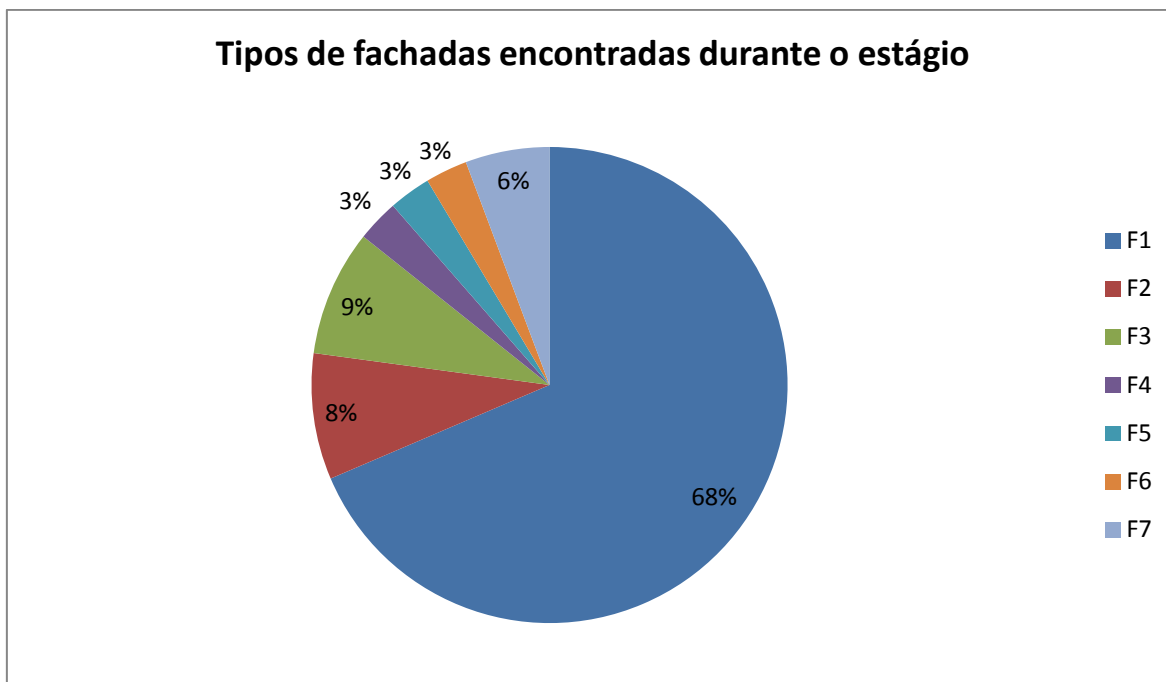


Figura 20 - Soluções de fachadas ensaiadas no decorrer do estágio

São de importância extrema parâmetros como as dimensões, tipo e caixilharia dos envidraçados, pois é através deles que se dá a percentagem maior de transmissão do ruído. A existência de caixas de estores é um fator quase decisivo para a qualidade sonora dentro do compartimento, pois se não forem bem isoladas permitem a transmissão de grande parte do ruído.

4.2.1.1. Envidraçados

O isolamento a sons aéreos numa construção depende em grande parte dos elementos das fachadas, como as alvenarias, painéis ou vidro, e dos sistemas de abertura.

Recchia(2001) investigou o isolamento sonoro dos componentes das fachadas constatando que a principal causa de perda de eficiência está nas caixilharias, pela falta de estanqueidade ao ar dos sistemas de abertura que, caso fossem estanques, o isolamento seria referente apenas ao vidro.

O uso do vidro na arquitetura tem cada vez mais destaque e tem vindo a aumentar a importância do seu papel no isolamento acústico. A partir do século XX, o vidro começou a ser aplicado em fachadas de grandes edifícios, surgindo os designados “panos de

vidro”. Isto deve-se ao facto de o vidro ser um material transparente proporcionando a possibilidade de troca de luz e comunicação entre ambientes. Além disso, o vidro tornou-se símbolo de modernidade, avanço tecnológico e estética perfeita.

O isolamento do vidro aos ruídos aéreos depende da sua espessura e composição. Cada tipo de vidro possui uma frequência crítica para a qual este vibra e ocorre uma queda de isolamento. Essa frequência situa-se nas mais altas frequências quanto menor for a espessura do vidro. A frequência crítica deve ser tida em consideração no tratamento acústico de superfícies envidraçadas, de modo a conseguir-se uma performance mais homogénea em todas as frequências. Isso é conseguido aumentando a espessura do vidro e utilizando vidros duplos ou triplos assimétricos, ou seja, com vidros de espessuras ou tipos diferentes. Isso fará com que as frequências críticas não coincidam, aumentando a capacidade de isolamento. Um outro aspeto importante é a espessura da camada de ar entre vidros duplos ou triplos.

A empresa Saint-Gobain glass, líder mundial na indústria vidreira, realizou testes, nos laboratórios do centro de desenvolvimento industrial, a vidros monolíticos comuns com várias espessuras e a vidros laminados, apresentando-se nas Tabelas 11 e 12 as características referentes aos dois tipos de vidros por esta ensaiados, bem como respetivos níveis de isolamento.

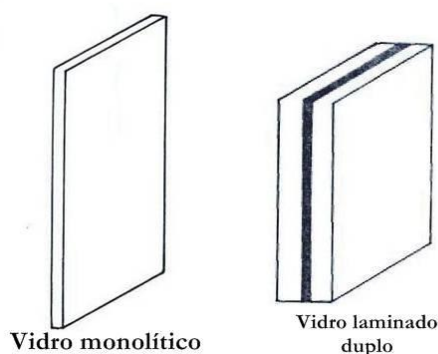


Figura 21 - Vidro monolítico vs vidro laminado

O vidro monolítico é obtido por processo de imersão em banho de estanho e apresenta-se liso, incolor e com duas faces paralelas. Na Tabela 11, apresentam-se os índices de redução acústica, R_w , obtidos nesses testes, conforme a ISO 717.

Tabela 11 - Índices de redução acústica para vidros monolíticos comuns (Scherer, 2005)

Espessura [mm]	Massa superficial [kg/m ²]	R _w [dB]
3	7,5	29
4	10,0	30
5	12,5	30
6	15,0	31
8	20,0	32
10	25,0	33
12	30,0	34
15	37,5	36
19	47,5	37

Os vidros laminados são constituídos por 2 ou mais vidros monolíticos colados entre si com filmes de butiral de polivinil (PVB), que após a colagem são submetidos a um tratamento térmico sob pressão para se obter uma aderência perfeita. Os filmes de PVB são bastante usados como vidros de segurança, pois retêm fragmentos de vidro quando quebrados. Estes podem-se apresentar incolores, opacos ou até coloridos. A Tabela 12 apresenta os valores dos índices de redução, R_w, para os vidros laminados.

Tabela 12 - Índices de redução acústica para vidros laminados (Scherer, 2005)

Produto	Espessura [mm]	Massa superficial [kg/m ²]	R _w [dB]
(3 + 3 .1)*	6	15,5	32
(4 + 4 .1)*	8	20,5	33
(5 + 5 .1)*	10	25,5	35
(6 + 6 .1)*	12	30,5	35
(3 + 3 .2)*	7	16,0	33
(4 + 4 .2)*	9	21,0	34
(5 + 5 .2)*	11	26,0	35
(6 + 6 .2)*	13	31,0	35
(4 + 4 .4)*	10	21,5	34
*(espessura 1º vidro comum + espessura 2º vidro comum .nº de filmes de PVB entre vidros)			

No decorrer do estágio, constatou-se que o tipo de vidro mais utilizado nos edifícios recorrentes de habitação unifamiliar é o vidro laminado duplo. Dos 35 ensaios realizados, 34 eram deste tipo, tendo-se apenas encontrado uma fachada do tipo F5 com vidro

monolítico comum. Quanto às espessuras dos vidros, não se conseguiu obter informação, pelo que não serão aqui consideradas.

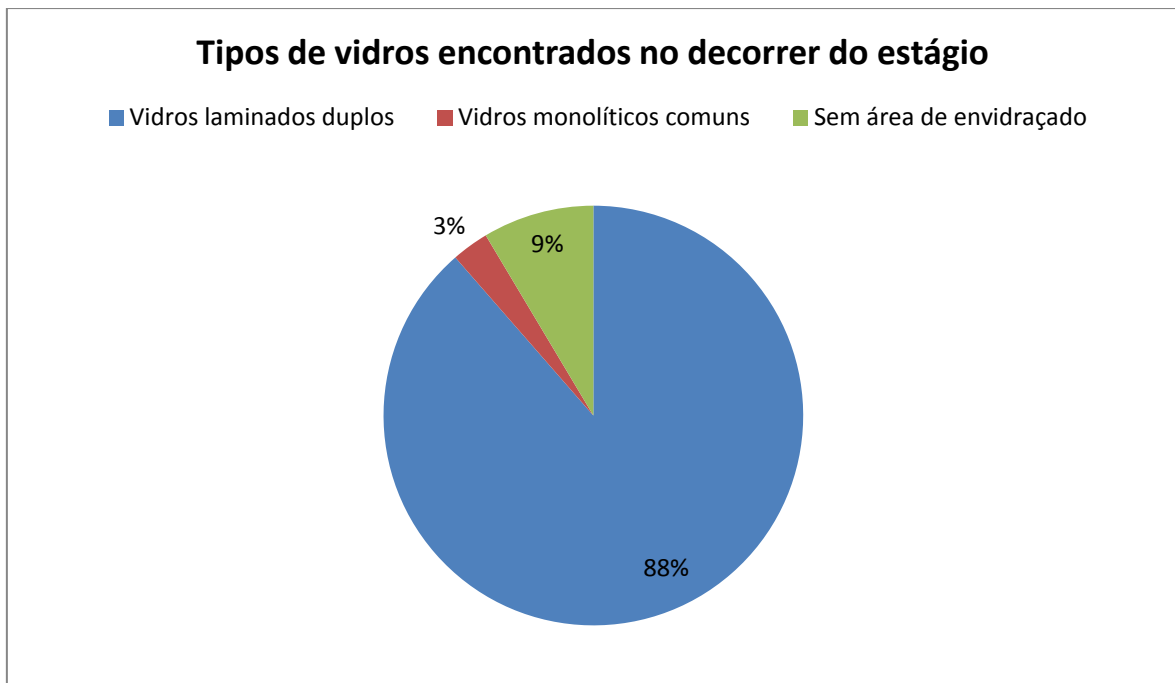


Figura 22 - Tipos de vidros encontrados no decorrer do estágio

Nos cálculos é importante conhecer a razão entre a área de envidraçado e a área de parede (em %), como se verá adiante. Como tal, achou-se interessante apresentar aqui um gráfico com as paredes que apresentam uma área de envidraçado >60% e aquelas que apresentam uma área de envidraçado <60%.

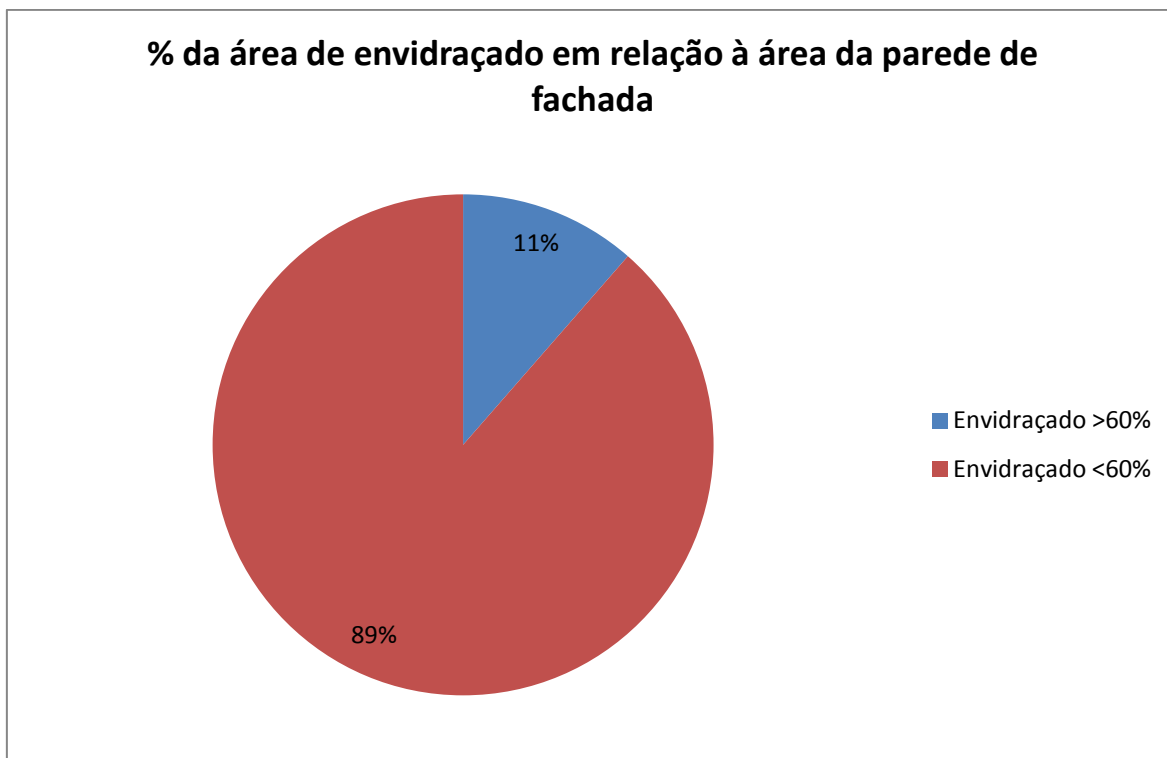


Figura 23 - Gráfico representativo das percentagens de envidraçamento nas fachadas ensaiadas no decorrer do estágio

O gráfico da Figura 23 apresenta de um modo geral a quantidade de fachadas com envidraçado de área >60% e de área <60% da área da fachada. No entanto, esses dados não são suficientes para entrar no estudo. Como tal, decidiu-se elaborar mais dois gráficos onde se pretende diferenciar as fachadas, quantificando os envidraçados para cada tipo.

Como se pode observar no gráfico da Figura 23, existem muito mais envidraçados com área <60% do que envidraçado com área >60% da área da fachada, ou seja, 32 fachadas apresentam envidraçados com área <60% e apenas 3 fachadas com envidraçados de área >60%. Das 32 fachadas com envidraçados de área inferior a 60% da sua área, 22 correspondem a fachadas do tipo F1, 3 correspondem a fachadas do tipo F2, 2 correspondem a fachadas do tipo F3, e o mesmo se passa para fachadas do tipo F7, e finalmente, apenas existe uma amostra para cada um dos tipos de fachada F4, F5 e F6. Esta distribuição encontra-se representada nos dois gráficos circulares das Figuras 24 e 25 em percentagem e na tabela 13 em quantidades.

Tabela 13 - Quantidade de fachadas ensaiadas no decorrer do estágio, com áreas de envidraçado <60% e >60% da sua área

Tipo de fachada	Envidraçado <60%	Envidraçado >60%
F1	22	2
F2	3	0
F3	2	0
F4	1	0
F5	1	0
F6	1	1
F7	2	0

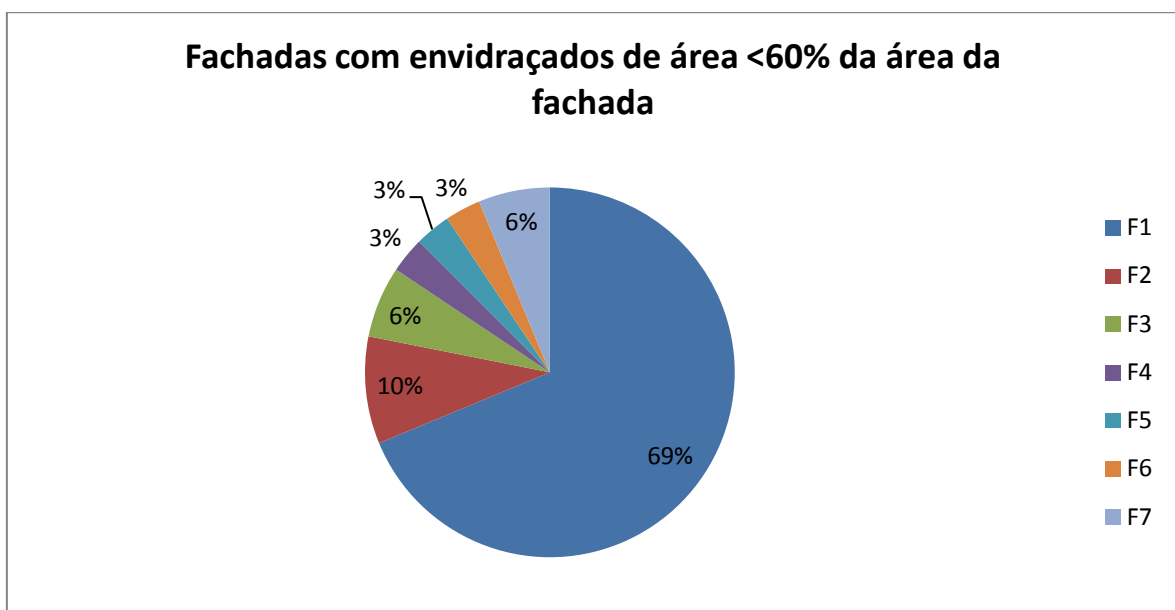


Figura 24 - Gráfico representativo de fachadas com envidraçados de área <60% da área da fachada, ensaiadas no decorrer do estágio

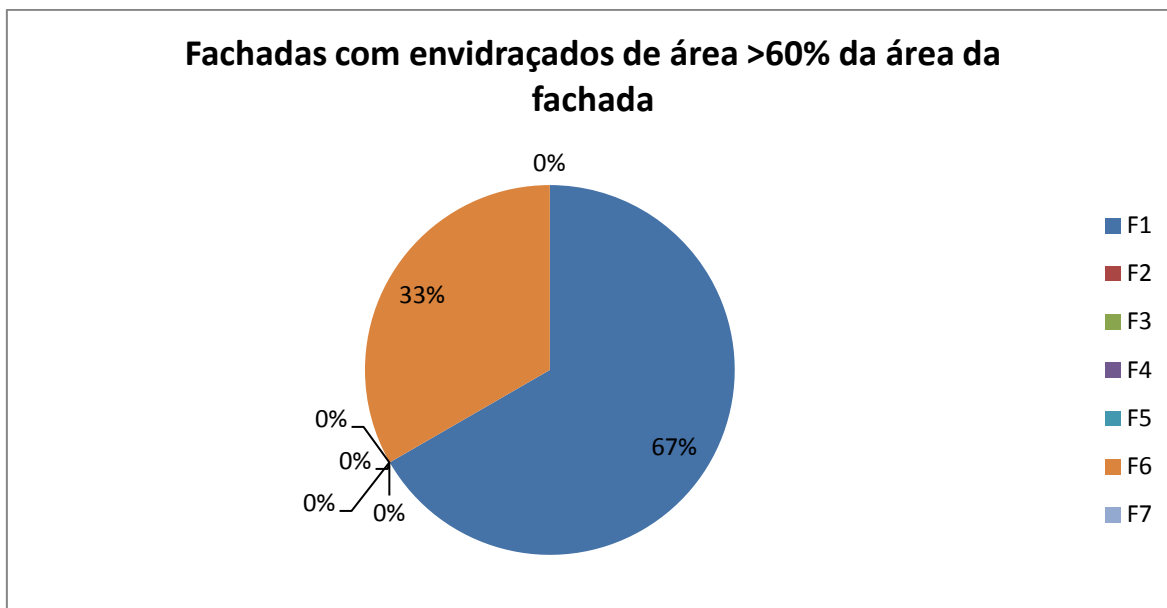


Figura 25 - Gráfico representativo de fachadas com envidraçados de área >60% da área da fachada, ensaiadas no decorrer do estágio

Daqui pode-se concluir que apenas se poderão fazer comparações sobre a influência do tamanho dos envidraçados, entre as fachadas do tipo F1, bem como entre fachadas do tipo F6 (apenas existe uma com envidraçado >60% e uma com envidraçado <60%).

Existem diversos tipos de caixilharia, tendo-se encontrado durante o estágio caixilhariarias de alumínio, PVC e alumínio com corte térmico. Das 35 fachadas ensaiadas, 24 tinham envidraçado com caixilharia em alumínio, 6 tinham caixilharia em PVC e 2 tinham caixilharia em alumínio com corte térmico, sendo que as restantes 3 fachadas não apresentavam envidraçados e por conseguinte nem caixilharia. O gráfico da Figura 26 apresenta estes tipos de caixilhariarias de uma forma global, em percentagem.

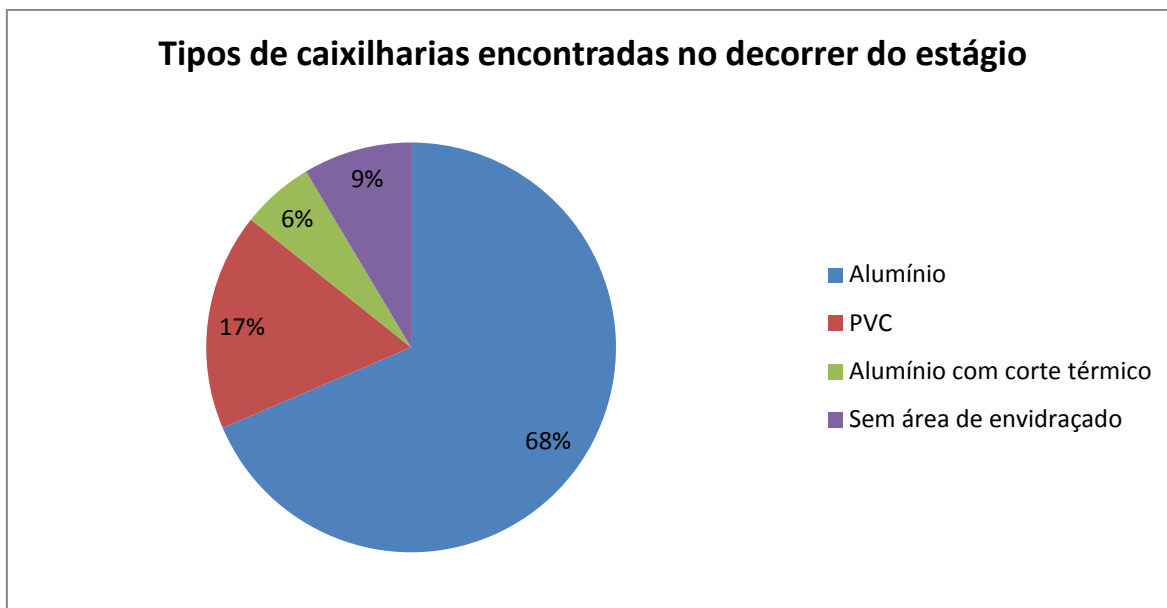


Figura 26 - Tipos de caixilharias encontradas no decorrer do estágio

Para se poder efetuar uma análise ou estudo, foi necessário efetuar uma distribuição mais detalhada dos tipos de caixilharias nos diferentes tipos de fachadas. Para tal, elaborou-se o gráfico da Figura 27, onde se encontram apresentados os tipos de caixilharia, relacionando-os com o tipo e quantidade de fachadas em que estavam presentes.

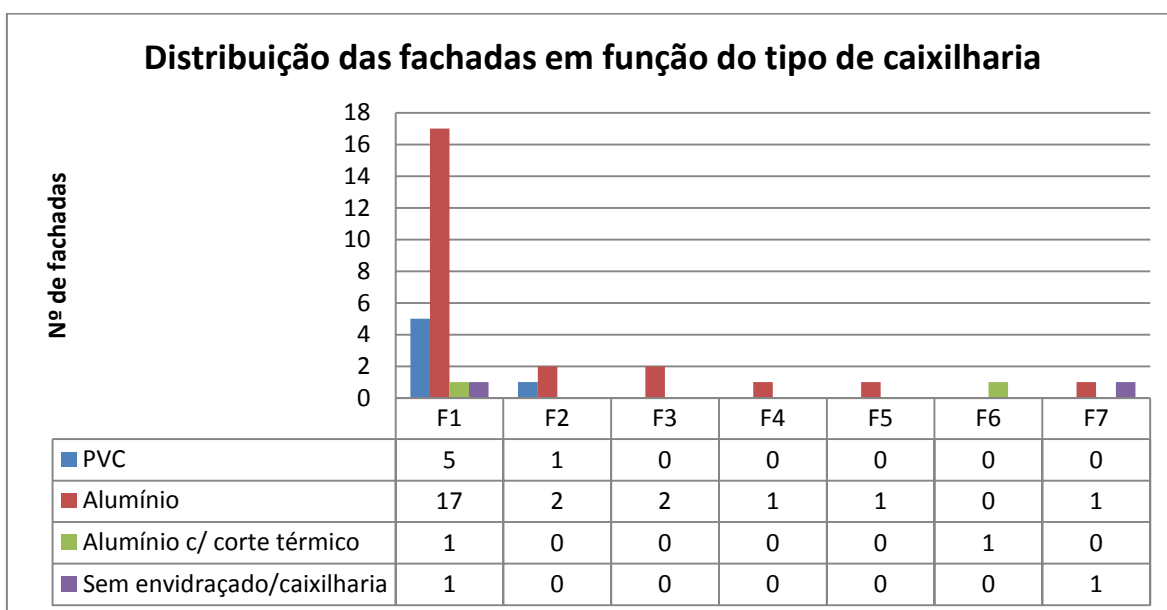


Figura 27 - Gráfico representativo dos tipos de caixilharias, fazendo-as corresponder ao tipo de fachada

No entanto, estes dados não são ainda suficientes uma vez que é também importante considerar a existência ou não de caixa de estores, pois são estes os principais “meios” de transmissão do som. No decorrer do estágio, metade das fachadas com envidraçados tinha caixa de estores e a outra metade não tinha. Na Figura 28 encontra-se representado, em percentagem, um gráfico com as quantidades de fachadas que têm caixa de estores e que não têm caixa de estores.

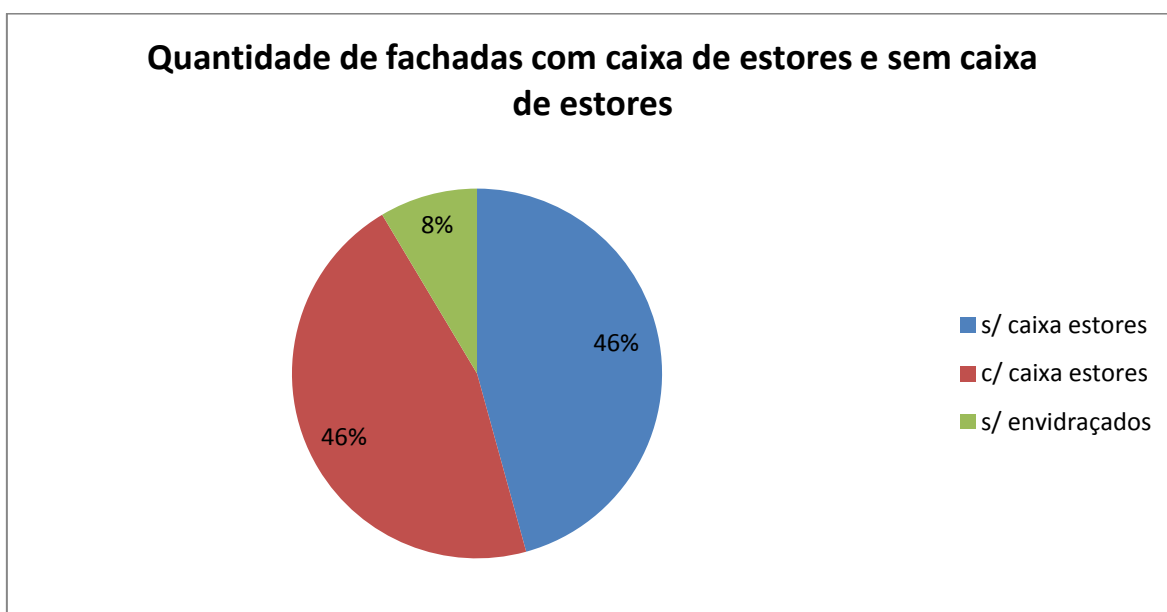


Figura 28 - Gráfico representativo da quantidade de fachadas com e sem caixa de estores

No gráfico da Figura 29 pretendeu-se apresentar de forma mais detalhada a relação dos diferentes tipos de fachadas com a presença de caixa de estores. Assim, no eixo das abcissas encontram-se os diferentes tipos de fachadas e no eixo das ordenadas a quantidade de fachadas com e sem estores, e ainda aquelas que não têm envidraçado.

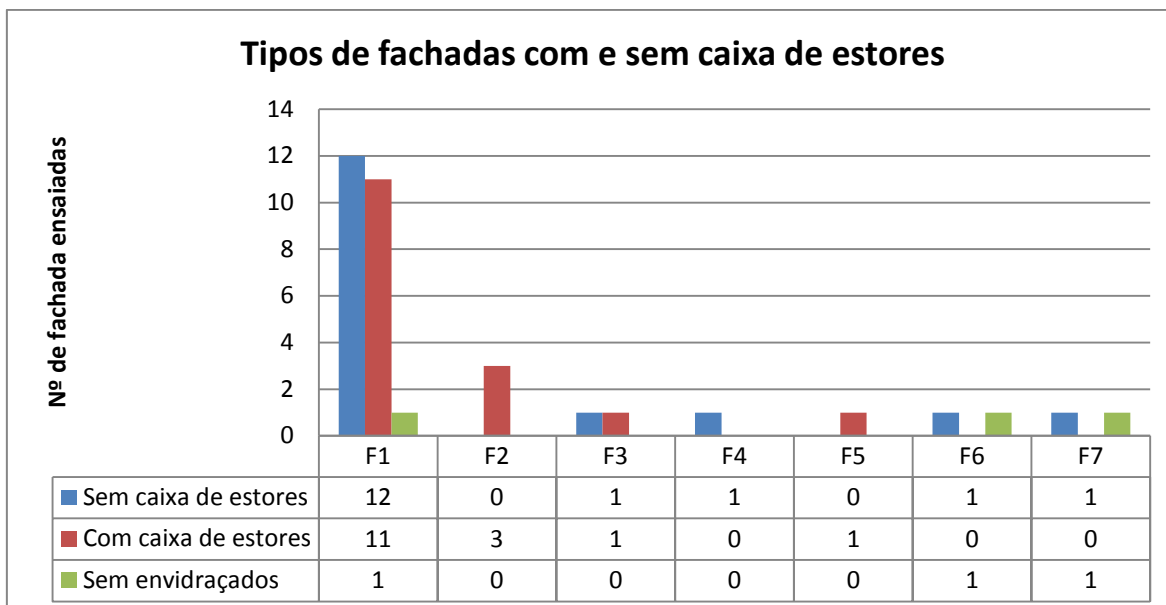


Figura 29 - Gráfico detalhado relacionando os tipos e quantidades de fachadas com a existência de caixa de estores

Uma outra questão que tem influência nos valores dos ensaios é o tipo de janela, mais propriamente o seu modo de abertura. Existem diversos tipos de janelas, tendo sido apenas encontrados 4 deles, nomeadamente as janelas fixas, as janelas de correr, de abrir e basculantes. Deste modo, far-se-á apenas uma breve descrição de cada um destes tipos, não se achando necessário apresentar uma descrição exaustiva de todos os tipos.

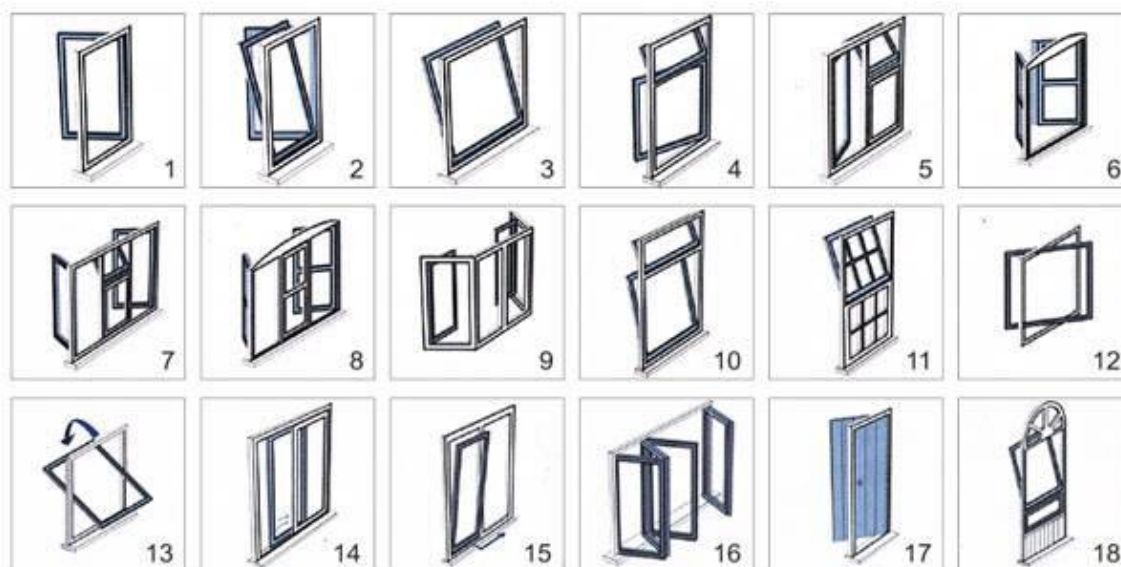
As janelas fixas caracterizam-se pela imobilidade tanto dos vidros como dos caixilhos, garantindo a passagem de luz, a estanqueidade e segurança, mas não permitindo arejamento.

As janelas de correr são caracterizadas por se moverem ao longo de trilhos. Designam-se de deslizantes quando se deslocam para os lados e de guilhotinas quando se deslocam na vertical, para baixo e para cima.

As janelas de abrir têm a característica de poderem permitir uma abertura de 100%, por meio de dobradiças, permitindo uma boa ventilação.

As janelas basculantes projetam-se para dentro ou para fora, num movimento de rotação em torno de um eixo horizontal ou por meio de um braço de articulação.

Na Figura 30, encontram-se representados vários tipos de janelas, incluindo também as acima indicadas.



1. Janela de abrir; 2. Janela oscilo-batente; 3. Janela basculante;
4. Janela compostade abrir e basculante; 5. Janela composta com parte fixa;
6. Janela abrir duas folhas; 7. Janela composta abrir, fixa e basculante;
8. Janela composta abrir e fixa; 9. Janela com forma de mirador;
10. Janela basculante dupla folha; 11. janela com quadrícula;
12. Janela pivotante vertical; 13. Janela de correr horizontal; 14. Porta correr;
15. Osciloparalela com fixo lateral; 16. Porta harmónio; 17. Porta com painel;

Figura 30 - Tipos de janelas existentes no mercado (Domusobras, 2011)

Uma vez que ao longo do estágio não se registaram os tipos de janelas para cada tipo de fachada, não será possível, neste estudo, efetuar uma análise tendo essa característica em consideração.

De qualquer modo, esse não é um dos fatores mais condicionantes, tendo muito pouca influência nos resultados.

4.2.2. Paredes de compartimentação

Os ensaios aéreos entre compartimentos apenas foram realizados entre casas geminadas. Foram somente realizados três ensaios deste género, pelo que não se

poderão obter resultados em número suficiente para realizar qualquer estudo estatístico. Além disso, não foi possível ter conhecimento dos tipos de sistemas usados, pelo que não se poderá estabelecer uma relação entre o tipo de sistema e os resultados obtidos.

4.2.3. Lajes

A transmissão do ruído de impacto faz-se essencialmente através da estrutura do edifício, sendo a laje o primeiro meio de transmissão. O ruído transmitido será bastante condicionado pelo tipo de revestimento assente na laje.

Foram já realizados diversos estudos neste âmbito, nomeadamente um realizado por (Conrad, 2002) em que se concluiu que os materiais que apresentam melhor isolamento são aqueles que são mais resilientes e não aqueles com maior espessura como seria de esperar. (Pedroso, 2007) realizou um estudo em laboratório com o objetivo de quantificar e comparar o desempenho dos materiais resilientes usados na composição de pisos flutuantes, concluindo que a lã de vidro é o mais eficiente. Estão sempre a ser testadas novas aplicabilidades de materiais resilientes no revestimento de pavimentos. É o caso de uma investigação recente levada a cabo por Carvalho(2008) para avaliar a utilização de resíduo de pneu como material resiliente, resultando que este é tão eficiente como a lã de vidro relativamente ao desempenho acústico, apresentando mais vantagens por ser uma boa empregabilidade do ponto de vista ecológico. (Patrício, 2010) afirma que o tempo de impacto está relacionado com as características dos materiais de revestimento principalmente nas baixas frequências. As propriedades elásticas do revestimento fazem aumentar a duração do impacto, diminuindo conseqüentemente a força total transmitida.

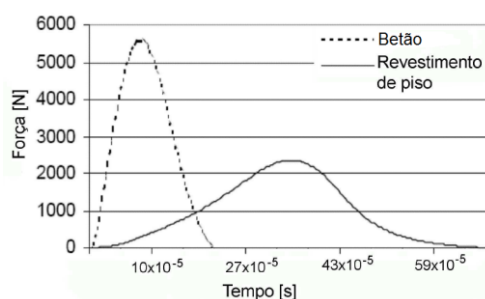


Figura 31 - Força transmitida e duração de uma batida numa superfície rígida e numa superfície com revestimento. Fonte adaptada: Patrício e Piedade (2000)

O mesmo autor refere que o índice de redução sonora de impacto, medido para um mesmo revestimento assente numa mesma laje, apresenta valores diferentes quer comparando resultados *in situ* com resultados obtidos em laboratório, quer comparando resultados obtidos para diferentes situações *in situ*. Esta característica agrava-se mais em situações em que as lajes são heterogéneas, justificando-se pelo facto dos níveis de impacto ponderado, L'_{nw} e L'_{nTw} , serem fundamentalmente influenciados pelas curvas de ponderação da ISO 717-2, sofrendo variação ao longo da faixa de frequência. Tal característica pode causar problemas, pois um mesmo tipo de revestimento pode apresentar níveis diferentes quando utilizado em casos distintos, o que é principalmente preocupante para os projetistas e ocupantes na hora da escolha do tipo de revestimento.

Nos três ensaios realizados, todos eles tinham revestimento da laje com pavimento em parquet flutuante de madeira. Das lajes ensaiadas, uma apresentava uma área de 50m², e outras duas de 12m².

Tabela 14 - Tipos de lajes e áreas de amostra respetivas

Nome da laje	Área de amostra [m ²]
C10	50
C1	12
C2	12

Considerou-se importante estabelecer aqui um nome par cada laje, de modo a facilitar a apresentação dos resultados no ponto 4.4.4. mais à frente.

4.2.4. Revestimentos

Os revestimentos têm influência na acústica dos edifícios, nomeadamente no que diz respeito à transmissão de ruídos por percussão entre pisos e no que diz respeito a ruídos aéreos resultantes da reverberação dos espaços, podendo esta ser excessiva ou não.

No decorrer do estágio, encontraram-se essencialmente como revestimentos de pavimentos o mosaico cerâmico e o parquet de madeira flutuante. Houve ainda dois que não tinham qualquer revestimento, apresentando-se ainda em betão. O tipo de revestimento do pavimento toma maior relevância se se estiver a estudar o isolamento

sonoro aos sons de percussão. Durante o estágio, tal como indicado anteriormente, apenas se ensaiaram pavimentos de parquet de madeira flutuante.

O que determina a maior ou menor transmissão ou absorção de ruídos de um revestimento é o fator de absorção, α , o qual já foi apresentado na secção 3.1 do presente documento.

No entanto, tem-se que ter em conta a estrutura de suporte e a existência de isolamento acústico. O que ditará os resultados, será a influência do conjunto. Por exemplo, um revestimento cerâmico que é muito pouco absorvente, se aplicado sobre um suporte rígido, pode apresentar um comportamento distinto relativamente ao caso em que o suporte tiver alguma flexibilidade, em particular para determinadas bandas de frequência (normalmente de valores baixos), devido à vibração do conjunto (Sousa, et al., 2003).

Quanto aos revestimentos das paredes dos compartimentos ensaiados, apenas se encontraram paredes estucadas. Quanto aos tetos dos compartimentos, na sua grande maioria eram estucados, tendo-se encontrado alguns com aplicação de teto falso. Não se registaram os revestimentos para todos os casos, mas também não é uma das características mais relevantes porque foi efetuada a medição do tempo de reverberação, o qual entra já em consideração as características do espaço, como foi já apresentado anteriormente.

4.3. Apresentação dos cálculos

Neste ponto far-se-á uma apresentação dos procedimentos de cálculo usados no programa de cálculo elaborado, bem como o algoritmo usado. Será apresentado em anexo (Anexo A) um exemplo prático da sua utilização.

O programa de cálculo possui na página inicial um menu onde é possível optar entre o cálculo do isolamento de fachadas e o cálculo do isolamento entre compartimentos (sons aéreos ou de percussão).

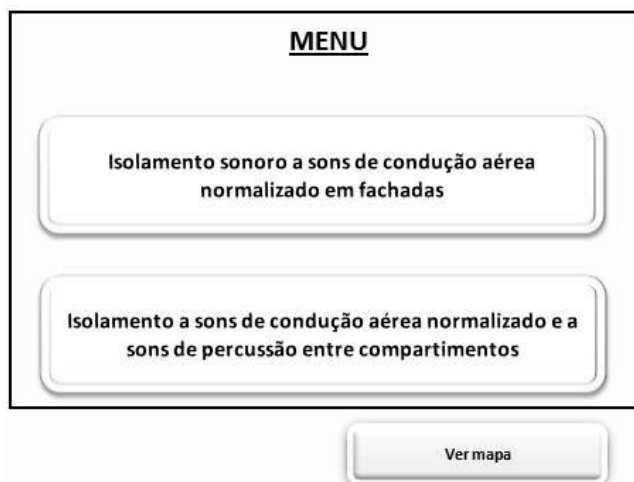


Figura 32 - Menu inicial do programa de cálculo elaborado em Excel

Ao selecionar qualquer um dos botões, abre-se um submenu que permitirá ter acesso às páginas para introdução dos dados de emissão, recepção, T_r e Ruído de fundo extraídos do sonómetro, bem como ver o relatório final e os resultados. Na Figura 33 é possível observar a configuração do submenu relativo ao isolamento da fachada.

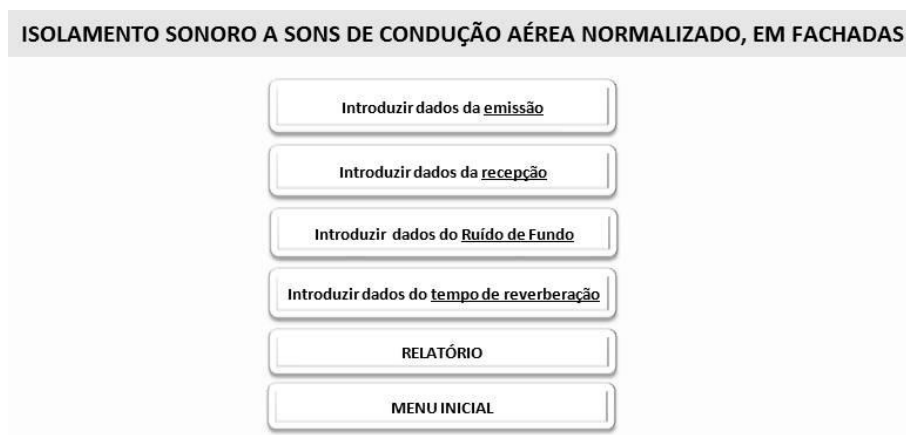


Figura 33 - Submenu referente ao isolamento sonoro a sons aéreos em fachadas do programa de cálculo elaborado em Excel

A Figura 34 ilustra o submenu referente ao isolamento entre compartimentos.

ISOLAMENTO SONORO A SONS DE CONDUÇÃO AÉREA E DE PERCUSSÃO PADRONIZADOS, ENTRE COMPARTIMENTOS

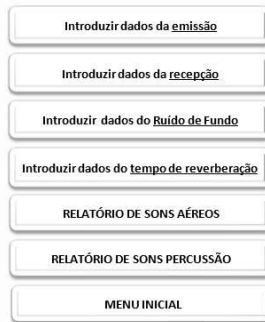


Figura 34 - Submenu referente ao isolamento sonoro entre compartimentos do programa de cálculo elaborado em Excel

Cada um dos botões “Introduzir dados...” dá acesso a uma folha de cálculo onde é possível introduzir os dados do sonómetro. Na Figura 35, encontra-se representado o procedimento de introdução dos dados, que deve ser iniciado após a introdução do número de medições na célula E2 da folha de cálculo.

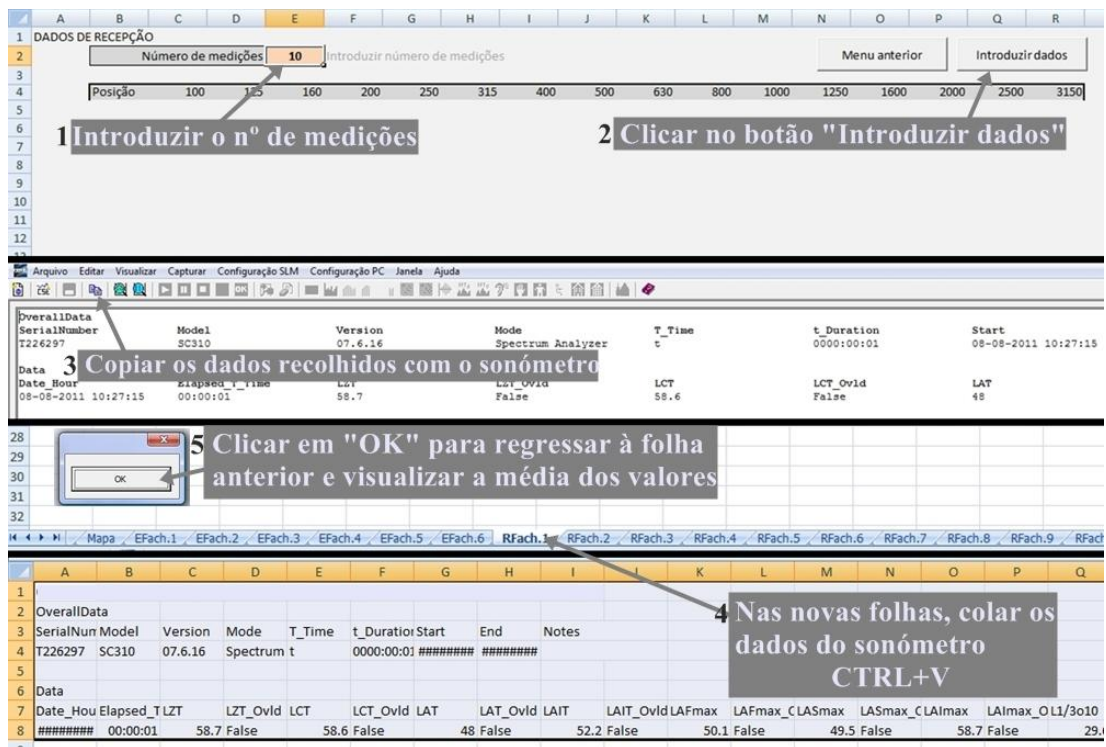


Figura 35 - Procedimento para introdução de dados do sonómetro no software de cálculo elaborado com o Excel

Após a introdução dos dados, o programa calcula automaticamente a média e o desvio padrão, sendo a média calculada para o tempo de reverberação com decaimentos de 30dB (T_{30}). Utilizam-se os valores T_{30} em vez de para decaimentos de 60dB, pois por vezes pode não ser possível registar tal decaimento devido a elevados níveis de ruído de fundo. Assim, evitam-se interferências nos resultados finais (Patrício, 2010).

A média do tempo de reverberação é então calculada pela seguinte equação:

$$\bar{T}_r = \frac{\sum_{j=1}^n T_{r,j}}{n} \quad (4.4)$$

em que,

- n é o número de medições do tempo de reverberação efetuadas;
- $T_{r,j}$ são os valores do tempo de reverberação obtidos em cada medição para decaimentos de 30dB (T_{30}) ou de 20dB (T_{20}).

Já a média dos níveis de isolamento sonoro de emissão, de receção e do ruído de fundo, é calculada pela seguinte equação:

$$L = 10 \times \log \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{(L_j/10)} \right) \quad (4.5)$$

em que,

n é o número de medições realizadas;

L_j são os valores obtidos em cada leitura, para uma determinada frequência.

Uma vez conhecidas as médias, devem-se efetuar as correções necessárias, começando pela correção do nível de isolamento devido ao ruído de fundo, seguindo as indicações dadas na página 11 da NP EN ISO 140-5 (2000) e que se encontram resumidas abaixo.

$$se \begin{cases} L_{sb} < 10 \text{ e } L_{sb} > 6 \\ L_{sb} \leq 6 \\ L_{sb} \geq 10 \end{cases} \begin{array}{l} \text{então } L_{corr.} = 10 \cdot \log(10^{(L_{sb}/10)} - 10^{(L_b/10)}) \\ \text{então} \\ \text{então} \end{array} \begin{array}{l} L_{corr.} = L_{sb} - 1.3 \\ L_{corr.} = L \end{array} \quad (4.6)$$

em que,

L_{sb} é o nível do sinal e do ruído de fundo combinados [dB], dado por: $L_{sb} = L - L_b$;

$L_{corr.}$ é o nível do sinal corrigido devido ao ruído de fundo [dB];

L_b é o nível de ruído de fundo [dB].

Finalmente, pode-se calcular o nível de isolamento sonoro tendo em consideração a correção do ruído de fundo e o tempo de reverberação.

O nível de isolamento sonoro padronizado ponderado aos sons aéreos da fachada é então calculado pela equação:

$$D_{2m,nTw} = L_{1,2m} - L_{corr.} + 10 \cdot \log\left(\frac{\bar{T}_r}{T_0}\right) \quad (4.7)$$

em que,

- $L_{1,2m}$ é o nível médio do sinal no exterior, registado a 2m da fachada;

- T_0 é o tempo de reverberação padrão que, nos edifícios de habitação unifamiliar, é sempre igual a 0,5s. Para outras situações deve-se consultar o decreto-lei 96/2008 de 9 de Junho. Os mesmos valores encontram-se resumidos na Tabela 5 do presente documento;

- T_r é a média dos tempos de reverberação medidos;

- $L_{corr.}$ - é o nível do sinal corrigido devido ao ruído de fundo, já apresentado acima.

O nível de isolamento sonoro padronizado ponderado a sons aéreos em elementos de compartimentação (entre compartimentos) é calculado por:

$$D_{nTw} = L_1 - L_{2,corr.} + 10 \cdot \log\left(\frac{\bar{T}_r}{T_0}\right) \quad (4.8)$$

em que,

- L_1 é o nível médio de pressão sonora no compartimento emissor;
- $L_{2,corr.}$ é o nível médio de pressão sonora no compartimento recetor, corrigido devido ao ruído de fundo;
- T_r é a média dos tempos de reverberação medidos;
- T_0 é o tempo de reverberação padrão que, nos edifícios de habitação unifamiliar, é sempre igual a 0,5s. Para outras situações deve-se consultar o decreto-lei 96/2008 de 9 de Junho. Os mesmos valores encontram-se resumidos na Tabela 5 do presente documento.

Finalmente, o nível de isolamento sonoro padronizado ponderado a sons de percussão entre compartimentos é calculado pela equação:

$$L'_{nT_w} = L_{p,corr.} - 10 \cdot \log\left(\frac{\bar{T}_r}{T_0}\right) \quad (4.9)$$

em que,

- $L_{p,corr.}$ é o nível de pressão sonora gerado pela máquina de martelos, no compartimento recetor, corrigido devido ao ruído de fundo;
- T_r é a média dos tempos de reverberação medidos;
- T_0 é o tempo de reverberação padrão que, nos edifícios de habitação unifamiliar, é sempre igual a 0,5s. Para outras situações deve-se consultar o decreto-lei 96/2008 de 9 de Junho. Os mesmos valores encontram-se resumidos na Tabela 5 do presente documento.

Depois disso, deve ser calculado o termo de adaptação correspondente, C ou C_{tr} , tendo em consideração o espectro respetivo (ver Figuras 9 e 10 da página 22 do presente documento). No programa de cálculo, consideraram-se sempre os espectros em bandas de 1/3 de oitava (Figura 9).

No cálculo do isolamento de fachadas, o termo de adaptação a usar deve ser o C_{tr} , pois corresponde ao ruído de tráfego urbano, e no cálculo do isolamento em elementos de compartimentação deve-se usar o C . No entanto, podem-se representar ambos os valores (C e C_{tr}) tal como sugerido na ISO 717-1 (1996) e apresentado no ponto 3.3.6. (página 23) do presente documento.

Os termos de adaptação, para sons aéreos, são determinados por:

$$C_j = X_{Aj} - X_w \quad (4.10)$$

em que,

j é o índice para os espectros de som $n^{\circ}1$ ou $n^{\circ}2$, sendo que o $n^{\circ}1$ corresponde ao espectro para o cálculo de C e o $n^{\circ}2$ ao espectro para o cálculo de C_{tr} ;

X_{Aj} é calculado a partir de $X_{Aj} = -10 \cdot \log \sum 10^{(L_{ij} - X_i)/10}$ [dB];

X_w é o valor da curva de referência correspondente à frequência de 500Hz, para a condição de que o módulo do somatório dos valores negativos da diferença entre os valores da curva de referência e os valores obtidos nas medições seja inferior a 32dB.

$$\left| \sum (D_{ref^a} - D_n)_{negativos} \right| < 32dB \quad (4.11)$$

O termo de adaptação deverá ser considerado igual a 0 caso a percentagem de área de envidraçado em relação à área da fachada que se está a avaliar, for inferior a 60%.

$$se \quad \frac{A_{envidraçado}}{A_{fachada}} \times 100 \leq 60 \quad então \quad C_{tr} = 0 \quad (4.12)$$

O termo de adaptação a usar quando se determina o isolamento sonoro a sons de percussão, representa-se por C_l , e é determinado por:

$$C_l = L - 15 - L'_{nT,w} \quad (4.13)$$

em que,

- $L'_{nT,w}$ é o valor da curva de referência correspondente à frequência de 500Hz, para a condição de que a soma dos valores negativos em módulo da diferença entre a curva de referência e o L_n obtido, ser inferior a 32dB, ou seja, $|\sum(L_{ref} - L_n)_{negativos}| < 32dB$, sendo L_{ref} os valores da curva de referência e L_n os valores obtidos nas medições dos sons de percussão.

Elaborou-se ainda uma folha de cálculo para determinação das incertezas. Antes de apresentar a forma de cálculo, achou-se importante fornecer alguma informação teórica acerca das incertezas.

O seu cálculo é fundamental para que se conheça a qualidade dos resultados obtidos. Sem essa indicação, os resultados não podem ser comparados entre si nem com outros valores de referência.

Uma medição é normalmente acompanhada de incorreções que originam um erro no resultado, que pode ocorrer de forma aleatória ou de forma sistemática.

O erro aleatório é originado por fatores imprevisíveis que afetam a medição. Este pode ser minimizado aumentando o número de medições.

O erro sistemático pode ser quantificado e portanto é possível corrigir o resultado com um fator de correção.

Os fenómenos que contribuem para a incerteza são designados de origens de incerteza e deles destacam-se os seguintes:

- padrão;
- método;
- condições ambientais da medição;
- operador;
- instrumentos a calibrar.

Uma vez expostos estes conceitos teóricos, pode-se agora apresentar a forma de cálculo das incertezas dos vários parâmetros.

O cálculo do valor da incerteza para o tempo de reverberação é feito, para decaimentos de 20dB (considerado no programa de cálculo devido ao facto de serem menos influenciados pelo ruído de fundo), por:

$$u(T_{20,f}) = 0,88 \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{1,90}{n}\right)}{N \cdot 0,23 \cdot f \cdot T_{20}}} \quad (4.14)$$

em que,

- n é o número de decaimentos;
- N é o número de pontos de medição;
- f é a frequência.

O valor da incerteza devido ao arredondamento é de 0,03dB e devido a erros do sonómetro de 0,7dB (ver as partes respectivas da norma NP EN ISO 140).

O cálculo da incerteza final para os resultados obtidos na medição do isolamento sonoro de fachadas é feito do modo seguinte:

Se $L_{sb} \geq 10dB$ ou $L_{sb} \leq 6dB$: (4.15)

$$u(D_{2m,nT,f}) = \sqrt{u^2(L_{1,2m,f}) + u^2(L_{2,f}) + \left(\frac{\partial D_{2m,nT,f}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}}\right)^2 \cdot u^2(\bar{T}_{20dB,f}) + u^2(son.) + u^2(arr.);}$$

Se $6dB < L_{sb} < 10dB$: (4.16)

$$u(D_{2m,nT,f}) = \sqrt{u^2(L_{1,2m,f}) + \left(\frac{\partial D_{2m,nT,f}}{\partial L_{eq,f}}\right)^2 + u^2(L_{eq,f}) + \left(\frac{\partial D_{2m,nT,f}}{\partial L_{eq,f}(RF)}\right)^2 + u^2(L_{eq,f}(RF)) + \left(\frac{\partial D_{2m,nT,f}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}}\right)^2 + u^2(\bar{T}_{20dB,f}) + u^2(son.) + u^2(arr.)}$$

em que,

$\frac{\partial D_{2m,nT,f}}{\partial L_{eq,f}} = \frac{10^{L_{eq,f}/10}}{10^{L_{eq,f}/10} - 10^{L_{eq,f}(RF)/10}}$ é o coeficiente de sensibilidade devido ao nível sonoro na receção;

$\frac{\partial D_{2m,nT,f}}{\partial L_{eq,f}(RF)} = \frac{10^{L_{eq,f}(RF)/10}}{10^{L_{eq,f}/10} - 10^{L_{eq,f}(RF)/10}}$ é o coeficiente de sensibilidade devido ao ruído de fundo (RF);

$\frac{\partial D_{2m,nT,f}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}} = \frac{4.34}{\bar{T}_{20dB,f}}$ é o coeficiente de sensibilidade devido ao tempo de reverberação (Tr);

$u(L_{1,2m,f}) = \frac{\sigma(L_{1,2m,f})}{\sqrt{n}}$ é a incerteza devido ao nível sonoro medido no exterior a 2m da fachada;

$u(L_{2,f}) = \frac{\sigma(L_{2,f})}{\sqrt{n}}$ é a incerteza devido ao nível de pressão sonora na receção, nas medições para obtenção do isolamento de fachadas;

$u(L_{eq,f}) = \frac{\sigma(L_{eq,f})}{\sqrt{n}}$ é a incerteza devido ao nível de sonoro na receção;

$u(L_{eq,f}(RF)) = \frac{\sigma(L_{eq,f}(RF))}{\sqrt{n}}$ é a incerteza devido ao RF;

$u(\bar{T}_{20dB,f})$ é a incerteza devida ao tempo de reverberação, obtida pela equação (4.14);

$u(son.) = 0.7dB$ é a incerteza devida ao sonómetro;

$u(arr.) = \frac{0.05}{\sqrt{3}} \approx 0.03dB$ é a incerteza devida ao arredondamento do valor final.

onde,

- $L_{eq,f}$ é o nível de pressão sonora na receção;
- $L_{eq,f}(RF)$ é o valor do ruído de fundo medido na receção;
- n é o nº de medições realizadas para determinação do parâmetro respetivo;
- $L_{1,2m,f}$ é o nível sonoro medido no exterior a 2m da fachada, obtido no ensaio para determinação do nível de isolamento sonoro das fachadas.
- $L_{2,f}$ é o nível sonoro obtido medido na receção, obtido no ensaio para determinação do nível de isolamento sonoro das fachadas;

- $\bar{T}_{20dB,f}$ é a média do tempo de reverberação do compartimento recetor para decaimentos de 20dB;

O cálculo da incerteza final para os resultados obtidos na medição do isolamento sonoro entre compartimentos é feito do modo seguinte:

Se $L_{sb} \geq 10dB$ ou $L_{sb} \leq 6dB$:

$$u(D_{nT,f}) = \sqrt{u^2(L_{1,f}) + u^2(L_{2,f}) + \left(\frac{\partial D_{nT,f}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}}\right)^2 + u^2(\bar{T}_{20dB,f}) + u^2(son.) + u^2(arr.)}; \quad (4.17)$$

Se $6dB < L_{sb} < 10dB$:

$$u(D_{nT,f}) = \sqrt{u^2(L_{1,f}) + \left(\frac{\partial D_{nT,f}}{\partial L_{eq,f}}\right)^2 + u^2(L_{eq,f}) + \left(\frac{\partial D_{nT,f}}{\partial L_{eq,f(RF)}}\right)^2 + u^2(L_{eq,f(RF)}) + \left(\frac{\partial D_{nT,f}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}}\right)^2 + u^2(\bar{T}_{20dB,f}) + u^2(son.) + u^2(arr.)} \quad (4.18)$$

em que,

$\frac{\partial D_{nT,f}}{\partial L_{eq,f}} = \frac{10^{L_{eq,f}/10}}{10^{L_{eq,f}/10} - 10^{L_{eq,f(RF)}/10}}$ é o coeficiente de sensibilidade devido ao nível de pressão sonora na receção;

$\frac{\partial D_{nT,f}}{\partial L_{eq,f(RF)}} = \frac{10^{L_{eq,f(RF)}/10}}{10^{L_{eq,f}/10} - 10^{L_{eq,f(RF)}/10}}$ é o coeficiente de sensibilidade devido ao RF;

$\frac{\partial D_{nT,f}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}} = \frac{4.34}{\bar{T}_{20dB,f}}$ é o coeficiente de sensibilidade devido ao Tr;

$u(L_{1,f}) = \frac{\sigma(L_{1,f})}{\sqrt{n}}$ é a incerteza em relação ao nível de pressão sonora na emissão.

$u(\bar{T}_{20dB,f})$ é a incerteza devida ao tempo de reverberação, obtida pela equação (4.14);

$u(son.) = 0.7dB$ é a incerteza devida ao sonómetro;

$u(arr.) = \frac{0.05}{\sqrt{3}} \approx 0.03dB$ é a incerteza devida ao arredondamento do valor final.

Onde,

- $L_{1,f}$ é o nível de pressão sonora na emissão;
- $L_{eq,f}$ é o nível de pressão sonora na receção;
- $L_{eq,f(RF)}$ é o valor do ruído de fundo medido na receção;
- n é o nº de medições realizadas para determinação do parâmetro respetivo;
- $L_{2,f}$ é o nível de pressão sonora obtido medido na receção, obtido no ensaio para determinação do nível de isolamento sonoro de paredes de compartimentação;
- $\bar{T}_{20dB,f}$ é a média do tempo de reverberação do compartimento recetor para decaimentos de 20dB;

O cálculo da incerteza final para os resultados obtidos na medição do isolamento sonoro a sons de percussão entre compartimentos é feito do modo seguinte:

$$\text{Se } L_{sb} \geq 10dB \text{ ou } L_{sb} \leq 6dB : \quad (4.19)$$

$$u(L_{nT,f}) = \sqrt{u^2(L_{eq,f}) + \left(\frac{\partial L'_{nT,f}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}}\right)^2 + u^2(\bar{T}_{20dB,f}) + u^2(son.) + u^2(arr.)};$$

$$\text{Se } 6dB < L_{sb} < 10dB : \quad (4.20)$$

$$u(L'_{nT,f}) = \sqrt{\left(\frac{\partial L'_{nT,f}}{\partial L_{eq,f}}\right)^2 + u^2(L_{eq,f}) + \left(\frac{\partial L'_{nT,f}}{\partial L_{eq,f(RF)}}\right)^2 + u^2(L_{eq,f(RF)}) + \left(\frac{\partial L'_{nT,f}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}}\right)^2 + u^2(\bar{T}_{20dB,f}) + u^2(son.) + u^2(arr.)}$$

em que,

$\frac{\partial L'_{nT,f}}{\partial L_{eq,f}} = \frac{10^{L_{eq,f}/10}}{10^{L_{eq,f}/10} - 10^{L_{eq,f(RF)}/10}}$ é o coeficiente de sensibilidade devido ao nível de pressão sonora;

$\frac{\partial L'_{nT,f}}{\partial L_{eq,f(RF)}} = \frac{10^{L_{eq,f(RF)}/10}}{10^{L_{eq,f}/10} - 10^{L_{eq,f(RF)}/10}}$ é o coeficiente de sensibilidade devido ao ruído de fundo;

$\frac{\partial L'_{nT,f}}{\partial \bar{T}_{20dB,f}} = \frac{4.34}{\bar{T}_{20dB,f}}$ é o coeficiente de sensibilidade devido ao tempo de reverberação;

$u(L_{eq,f}) = \frac{\sigma(L_{eq,f})}{\sqrt{n}}$ é a incerteza em relação ao nível de pressão sonora na receção;

$u(\bar{T}_{20dB,f})$ é a incerteza devida ao tempo de reverberação, obtida pela equação (4.14);

$u(son.) = 0.7dB$ é a incerteza devida ao sonómetro;

$u(arr.) = \frac{0.05}{\sqrt{3}} \approx 0.03dB$ é a incerteza devida ao arredondamento do valor final.

onde,

- $L_{eq,f(RF)}$ é o valor do ruído de fundo medido na receção;
- $L_{eq,f}$ é o nível de pressão sonora na receção;
- n é o nº de medições realizadas para determinação do parâmetro respetivo;
- $\bar{T}_{20dB,f}$ é a média do tempo de reverberação do compartimento recetor para decaimentos de 20dB;

Uma vez apresentadas todas as definições e considerações que se acharam mais relevantes, segue-se no subcapítulo 4.4 a apresentação e análise dos resultados.

4.4. Apresentação e análise dos resultados

Nesta secção, apresentar-se-ão os resultados obtidos com o software da CESVA, tendo-se também utilizado o Excel quando necessário, para juntar gráficos e comparar valores.

A Tabela 15 apresenta de forma resumida, todos os compartimentos avaliados, fazendo-se corresponder as respetivas fachadas e lajes estudadas. Note-se que foram realizadas medições para 29 edifícios, sendo que em 6 deles foi necessário ensaiar duas das suas fachadas, completando assim um total de 35 fachadas ensaiadas.

Tabela 15 - Lista de compartimentos ensaiados, fachadas, paredes de separação e lajes

Nomenclatura	Fachada	Parede separação	Laje
C1	F1	PS1	L2
C2	F1	PS2	L3
C3	F1		
C4	F4		
C5	F1		
C6	F1 + F1 (duas fachadas)		
C7	F1		
C8	F2		
C9	F1		
C10	F1	PS3	L1
C11	F1		
C12	F1		
C13	F3		
C14	F1 + F1 (duas fachadas)		
C15	F1		
C16	F3		
C17	F1		
C18	F2		
C19	F1		
C20	F1		
C21	F5		
C22	F1		
C23	F1		
C24	F6 + F6 (duas fachadas)		
C25	F7 + F7 (duas fachadas)		
C26	F1		
C27	F1 + F1 (duas fachadas)		
C28	F2		
C29	F1 + F1 (duas fachadas)		

4.4.1. Análise do tempo de reverberação

A análise do tempo de reverberação permite avaliar como ocorre o decaimento do som no ambiente, em diferentes faixas de frequência, em função das características internas do compartimento. Na Figura 36, é possível observar as diferentes curvas do T_r de todos os compartimentos ensaiados.

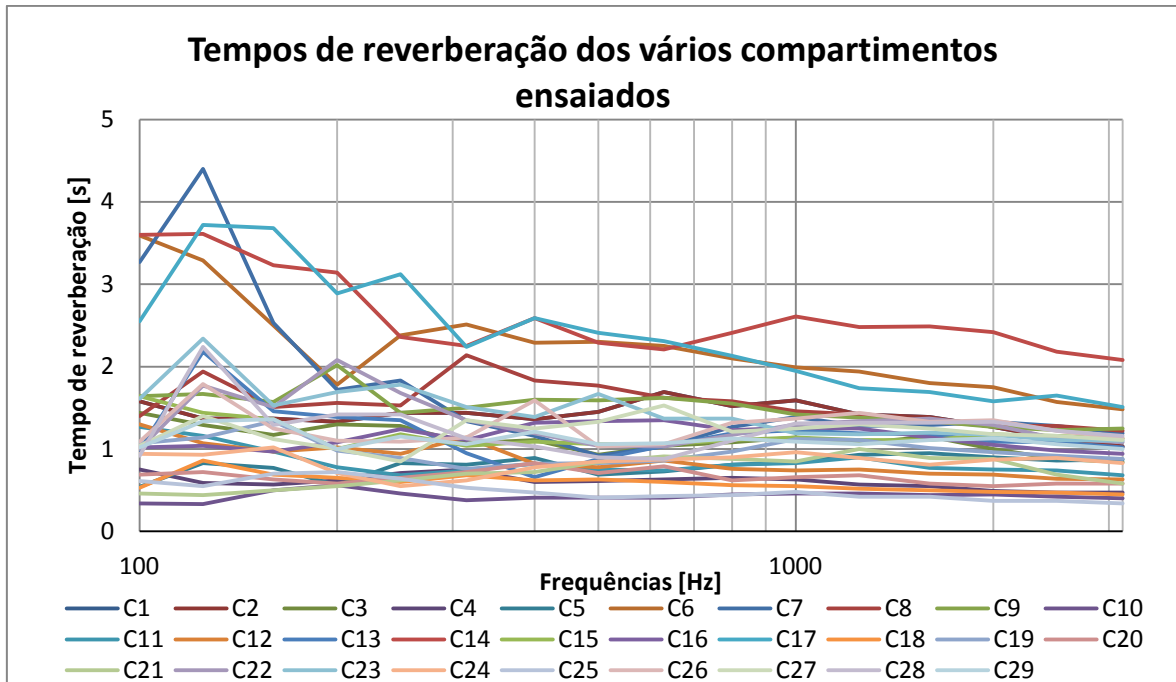


Figura 36 - Gráfico representativo das curvas dos tempos de reverberação obtidos em todos os compartimentos, ao longo da faixa de frequências

Pode-se observar que em alguns compartimentos a variação do tempo de reverberação ao longo das frequências não é relevante, enquanto que noutros compartimentos se registaram grandes discrepâncias entre os valores das baixas frequências e os valores das altas frequências. Estas diferenças podem ser justificadas pelo facto de os compartimentos conterem materiais mais absorventes ou menos absorventes, considerando a existência ou não de mobiliário, respetivamente.

A Figura 37 ilustra o gráfico que contém as curvas dos tempos de reverberação referentes aos compartimentos sem mobiliário.

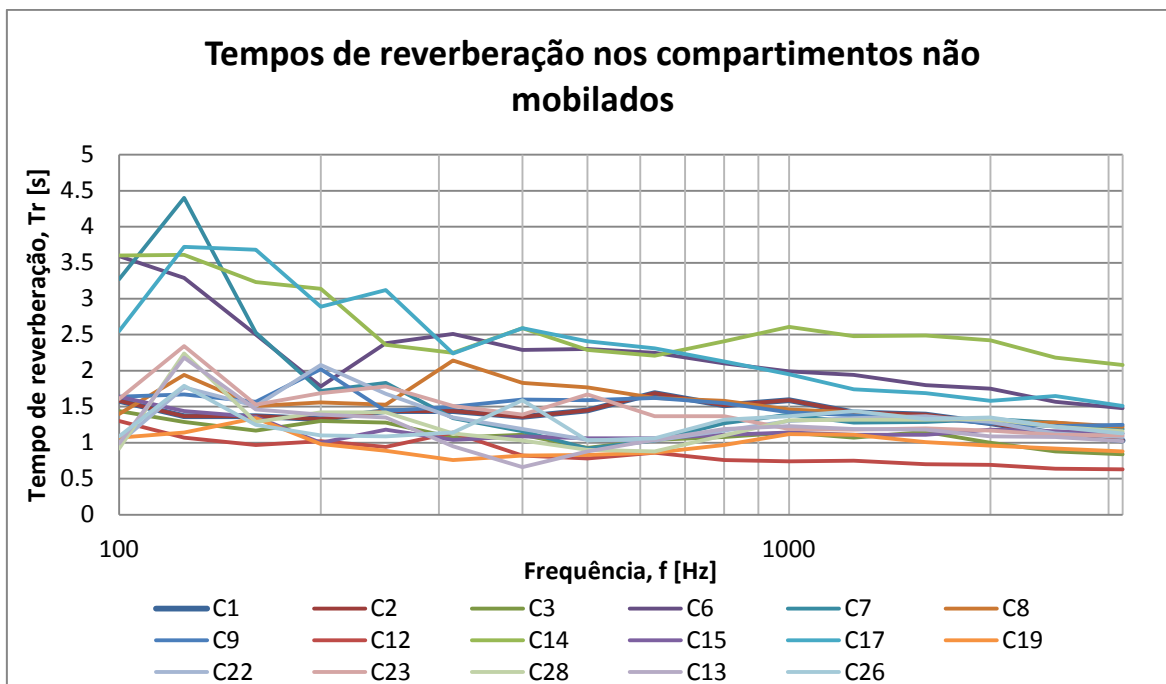


Figura 37 - Gráfico representativo das curvas dos tempos de reverberação obtidos nos compartimentos não mobiliados, ao longo da faixa de frequências

Observa-se que todas as curvas apresentam valores de T_r mais elevados nas baixas frequências, e menores nas médias e altas frequências. Observa-se também que a maioria das curvas apresenta uma tendência nas altas frequências, à exceção da curva referente ao compartimento C14 que se apresenta com valores acentuadamente mais elevados do que as restantes, devendo ser uma das principais razões, o facto de se poder estar perante dados espúrios. No entanto, observa-se também que nas baixas frequências os dados são mais dispersos. Isto pode ser observado na Figura 38, onde se apresenta o gráfico da média dos tempos de reverberação entre as amostras dos quartos sem mobiliário, e o desvio padrão para cada banda de frequência.

Nota-se que o desvio padrão é mais elevado nas baixas frequências, tomando o valor de 1.01 segundos para a frequência de 125Hz, sendo este o valor mais elevado encontrado entre as amostras dos quartos vazios. Já para a frequência de 3.15Hz, o desvio padrão é de apenas 0.32s o que mais uma vez comprova a convergência anteriormente mencionada.

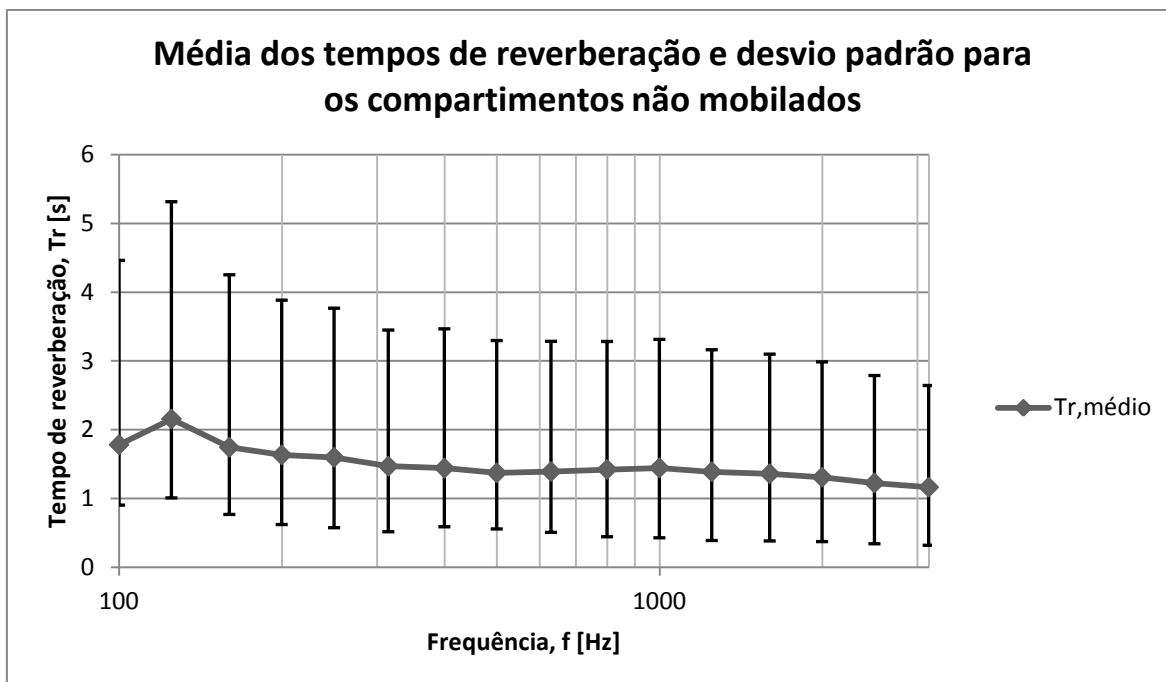


Figura 38 - Gráfico representativo da curva média dos tempos de reverberação nos compartimentos não mobilados, ao longo da faixa de frequências

Na Figura 39 pode-se observar o gráfico referente aos tempos de reverberação característicos dos compartimentos mobilados.

De um modo geral, observa-se que os valores do tempo de reverberação não sofrem oscilações significativas ao longo da faixa de frequências como no caso dos compartimentos não mobilados. Além disso, observa-se que a maioria das amostras apresenta valores de T_r abaixo de 1 segundo, ao contrário do observado para compartimentos vazios. Isto deve-se ao facto de os quartos vazios possuírem elementos com mais características refletoras, o que provoca tempos de reverberação mais elevados, ao contrário dos quartos mobilados que apresentam maiores superfícies absorventes diminuindo os valores de T_r .

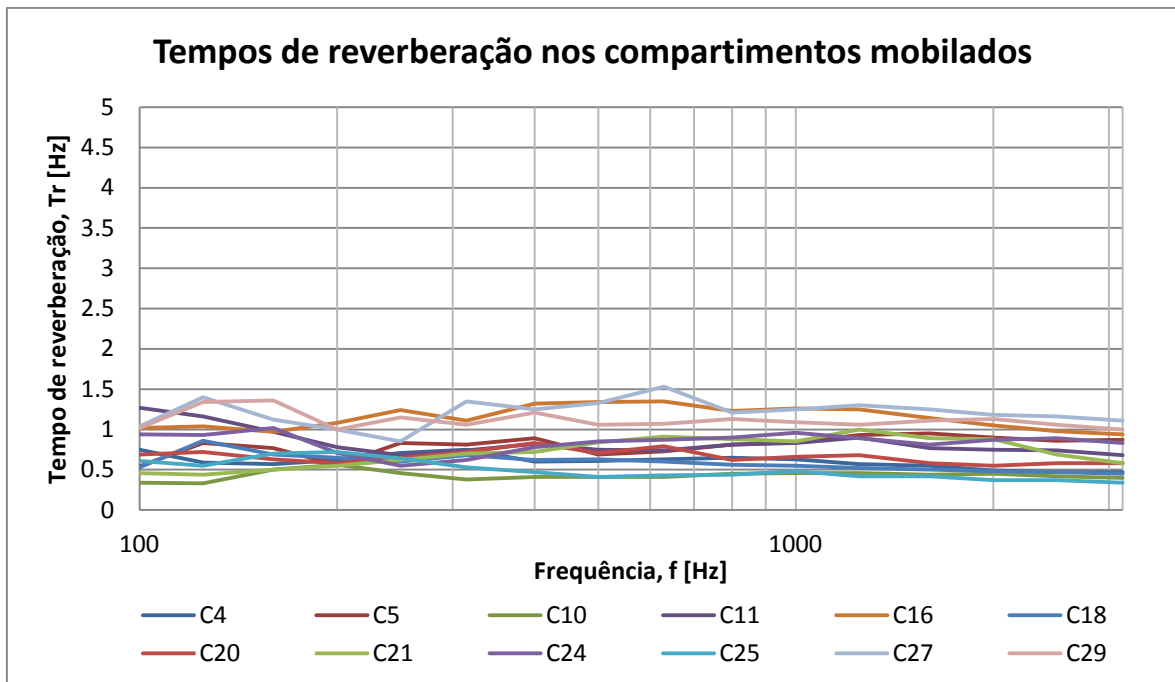


Figura 39 - Gráfico representativo das curvas dos tempos de reverberação obtidos nos compartimentos mobilados, ao longo da faixa de frequências

A Figura 40 apresenta a média do tempo de reverberação e o desvio padrão ao longo das bandas de frequências, podendo-se comprovar o que acima foi dito. Mais uma vez, observando o gráfico, pode-se constatar que há uma menor dispersão de valores ao longo da faixa de frequências, tendo-se obtido um valor máximo de desvio padrão de 0.34s para a frequência de 125Hz, e um desvio padrão mínimo de 0.19s para a frequência de 200Hz.

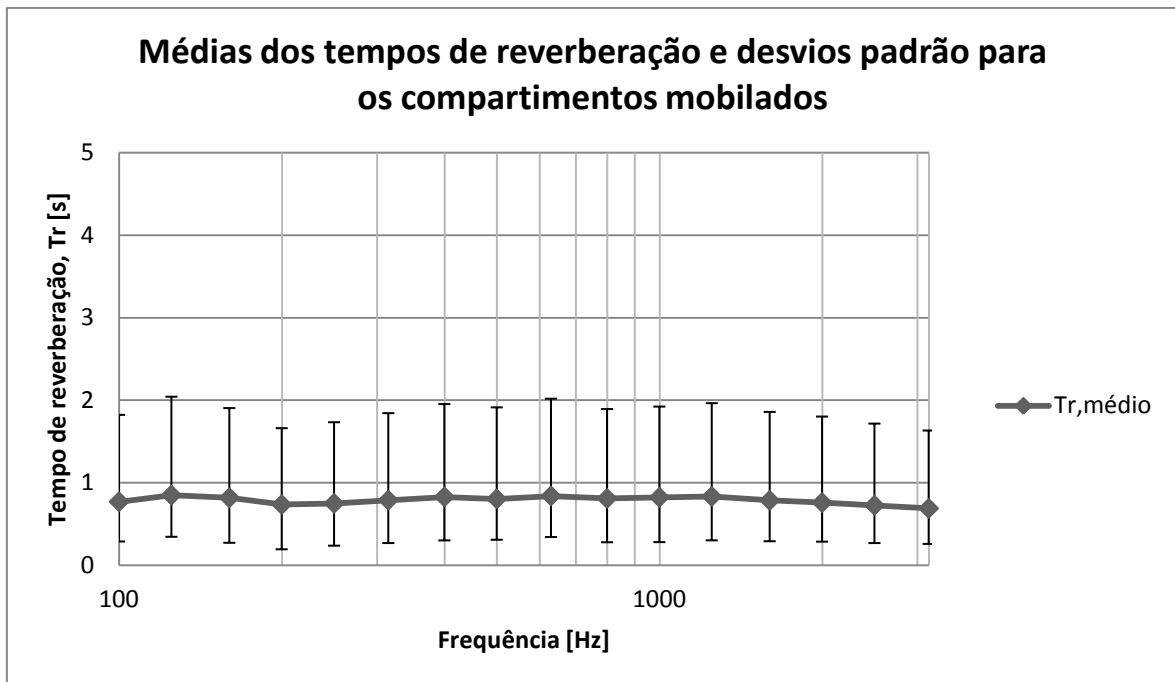


Figura 40 - Gráfico representativo da curva média dos tempos de reverberação nos compartimentos mobilados, ao longo da faixa de frequências

Pode-se então concluir, a partir das Figuras 38 e 40, que o desvio padrão nos quartos mobilados é inferior ao obtido para os quartos não mobilados, em todas as bandas de frequências.

Na Tabela 16 encontram-se os valores das médias do tempo de reverberação e os valores do desvio padrão obtidos para ambos os casos.

Tabela 16 - Valores dos tempos de reverberação e desvio padrão para os compartimentos mobilados e não mobilados

Frequência [Hz]	Compartimentos não mobilados		Compartimentos mobilados	
	$T_{r,médio}$ [s]	Desvio padrão [s]	$T_{r,médio}$ [s]	Desvio padrão [s]
100	1.78	0.90	0.77	0.29
125	2.15	1.01	0.85	0.34
160	1.74	0.77	0.82	0.27
200	1.63	0.62	0.73	0.19
250	1.60	0.57	0.75	0.23
315	1.47	0.51	0.79	0.27
400	1.44	0.59	0.83	0.30
500	1.37	0.55	0.80	0.31
630	1.39	0.51	0.84	0.34
800	1.42	0.44	0.81	0.28
1000	1.44	0.43	0.82	0.28
1250	1.39	0.39	0.83	0.30
1600	1.36	0.38	0.78	0.29
2000	1.31	0.37	0.76	0.28
2500	1.22	0.34	0.72	0.27
3150	1.16	0.32	0.69	0.26

Concluindo, com base na Tabela 16, o tempo de reverberação e o desvio padrão são maiores em compartimentos não mobilados do que em compartimentos mobilados.

4.4.2. Análise do nível sonoro a sons aéreos em fachadas

4.4.2.1. Fachadas do tipo F1

O tipo de fachada que permite fazer uma análise estatística é a fachada F1, pois é a que apresenta maior número de ensaios. Na Figura 41, encontram-se representadas as diferentes características registadas ao longo do estágio.

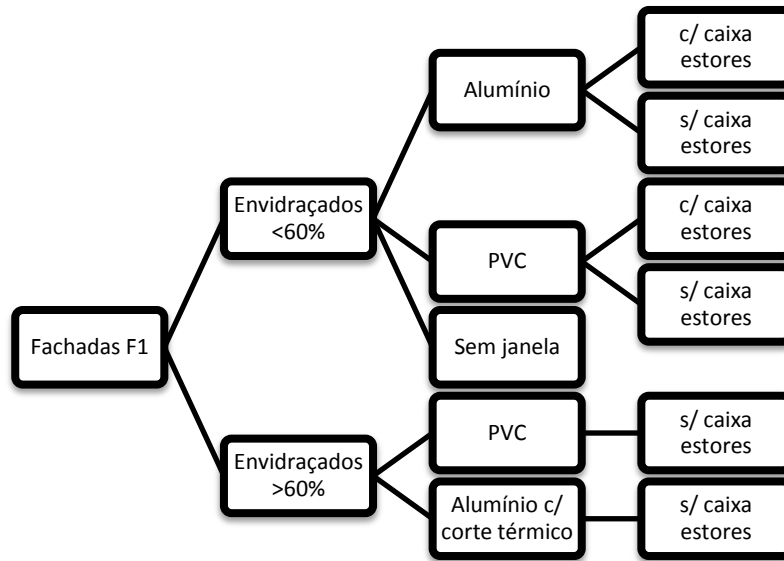


Figura 41 - Características das fachadas do tipo F1 encontradas no decorrer do estágio

A Figura 42 apresenta os níveis de isolamento sonoro padronizado a sons de condução aérea, obtidos para todas as fachadas F1, em bandas de 1/3 de oitava.

Nota-se que todas as curvas apresentam uma tendência ascendente ao longo das faixas de frequências. No entanto, nas baixas frequências ocorre sempre um pequeno decréscimo, começando a partir daí a subir.

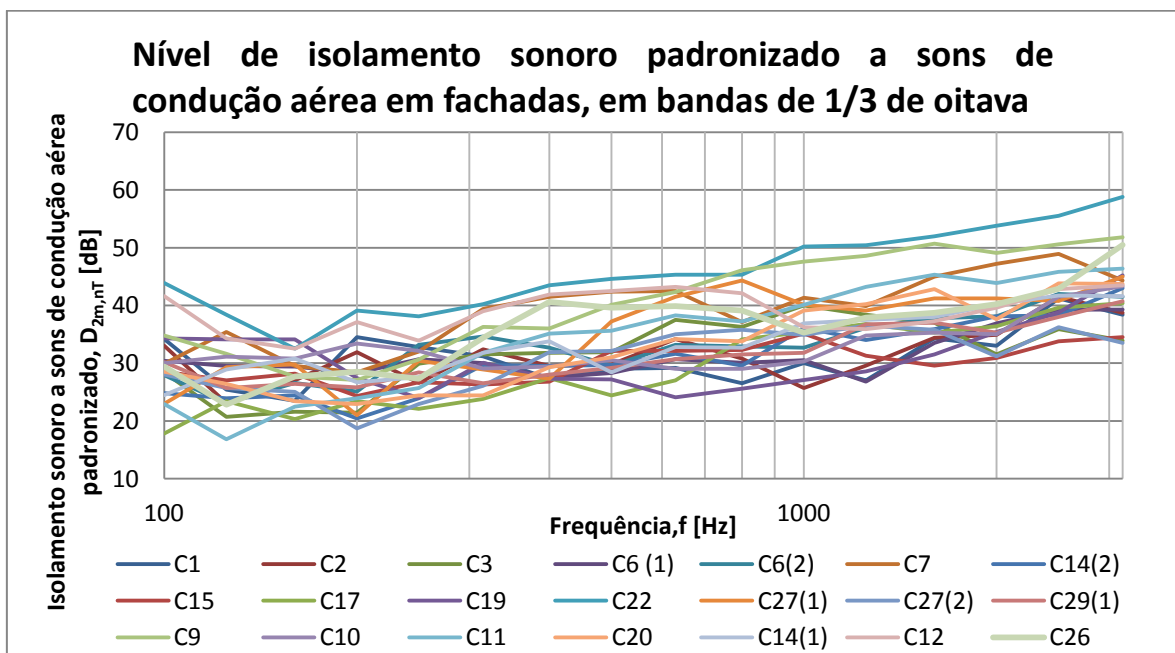


Figura 42 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizado a sons de condução aérea, em fachadas

A Figura 43 apresenta as curvas referentes ao nível de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, em fachadas do tipo F1 com envidraçados de área inferior a 60% da área da fachada e caixilharia em alumínio.

Observa-se que algumas das curvas apresentam-se mais estáveis ao longo da faixa de frequências, enquanto que outras ascendem mais rapidamente a partir das baixas a médias frequências. Esta característica deve-se, à partida, ao facto de algumas possuírem caixa de estores e outras não.

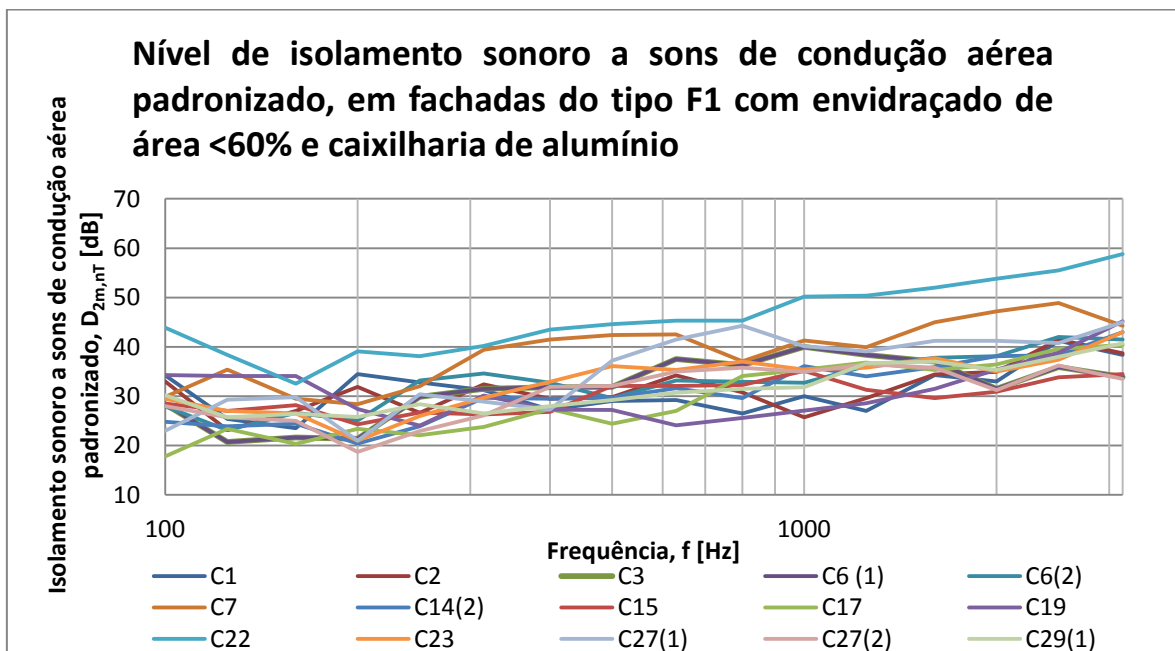


Figura 43 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizado a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F1 com envidraçados de área <60% da área da fachada e caixilharia em alumínio

Nas Figuras 44 e 46 apresentam-se os gráficos referentes aos níveis de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizados, em fachadas F1, com envidraçados de área <60% da área da fachada, caixilharia em alumínio e com ou sem caixa de estores.

Na Figura 46, na qual se representam as curvas relativas ao caso sem caixa de estores, observa-se que uma curva apresenta valores bastante elevados, sendo esta referente à fachada do compartimento C22. Tal característica não é normal em fachadas deste tipo e em envidraçados com caixilharia de alumínio. Provavelmente, ocorreram erros de medição ou então a fachada tinha alguma componente de isolamento não mencionada. No entanto, sendo o envidraçado a zona de maior criticidade acústica, pensa-se que não

seria uma componente de isolamento da fachada que alteraria assim de forma tão exagerada os valores.

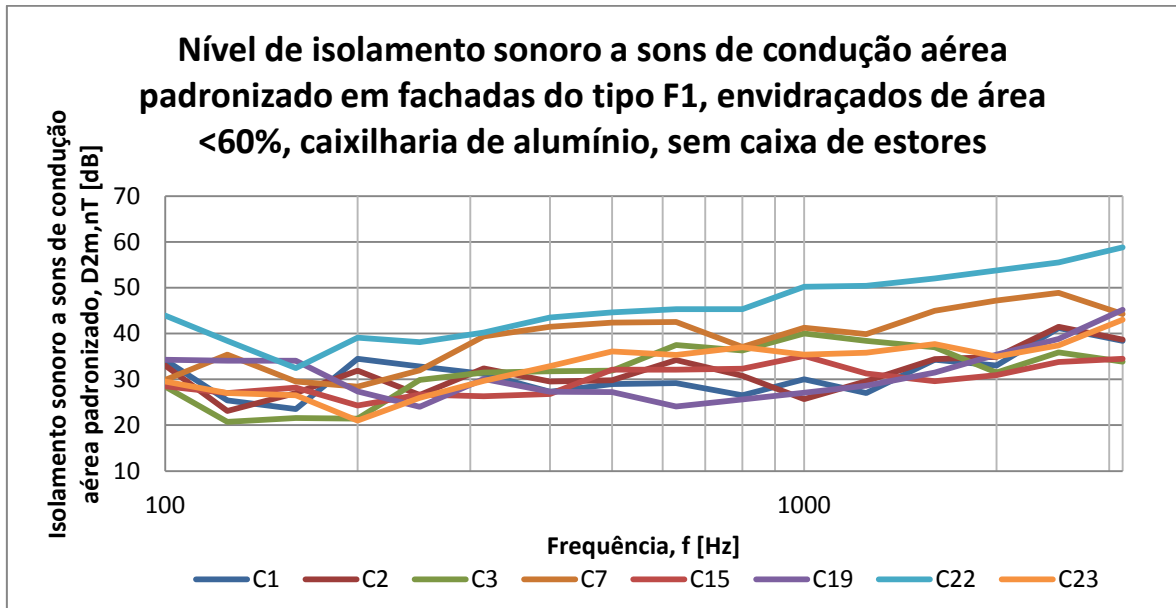


Figura 44 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F1 com envidraçados de área <60% da área da fachada, caixilharia em alumínio e sem caixa de estores

Representando agora o isolamento sonoro com o valor único proposto na norma, pode-se observar na Figura 45 que a maioria das fachadas ensaiadas apresenta um valor de $D_{2m,nTw}$ entre os 30dB e os 40dB, com exceção das fachadas dos compartimentos C7 e C22 que se situam acima dos 40dB. Assim, o valor mínimo encontrado foi para a fachada do compartimento C19 com 33dB e o valor máximo foi o da fachada C22 com 51dB, podendo-se concluir que fachadas com esta característica podem variar muito no seu isolamento, havendo uma diferença de 18dB. Esta diferença pode dever-se a erros de medição ou à presença de alguma componente de isolamento não conhecida.

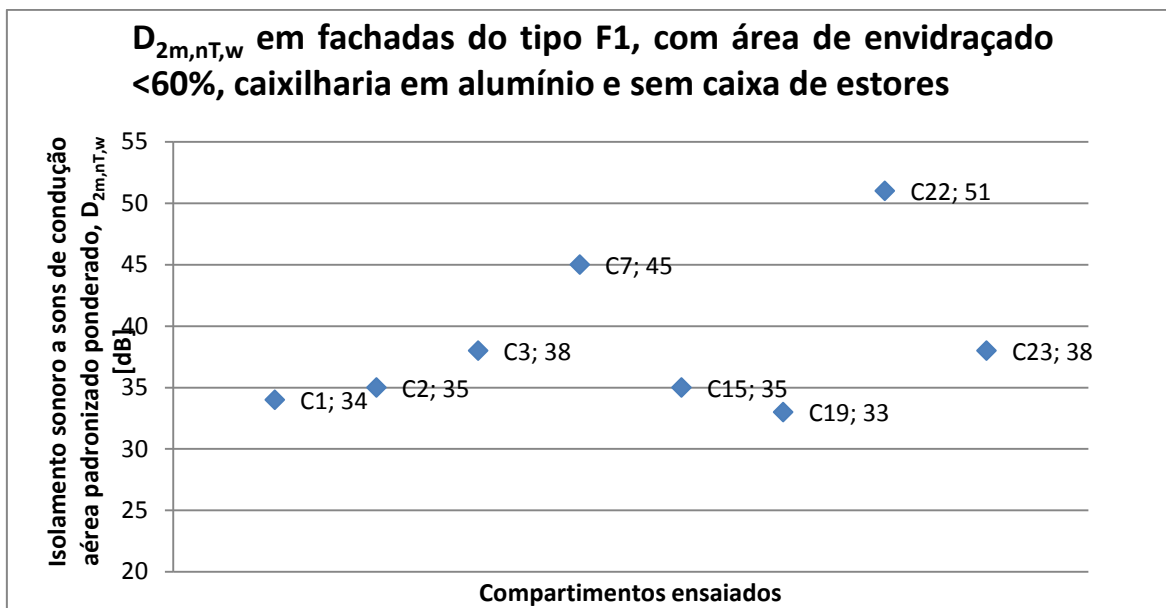


Figura 45 - Gráfico representativo dos valores únicos de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado ponderado, para as fachadas do tipo F1 com envidraçados <60% da área da fachada e sem caixa de estores

Na Figura 46 pode-se observar um crescimento do nível de isolamento sonoro ao longo da faixa de frequências, o que é de esperar na situação com caixa de estores. Existe, no entanto, uma curva referente à fachada 2 do compartimento C27, que se apresenta sem grandes oscilações ao longo da faixa de frequências. Esta característica deve-se, à partida, às dimensões do envidraçado que, neste caso tem apenas 1,8m². Já para a fachada 1 do compartimento C27, obtiveram-se níveis sonoros mais elevados e que variam muito mais ao longo da faixa de frequências.

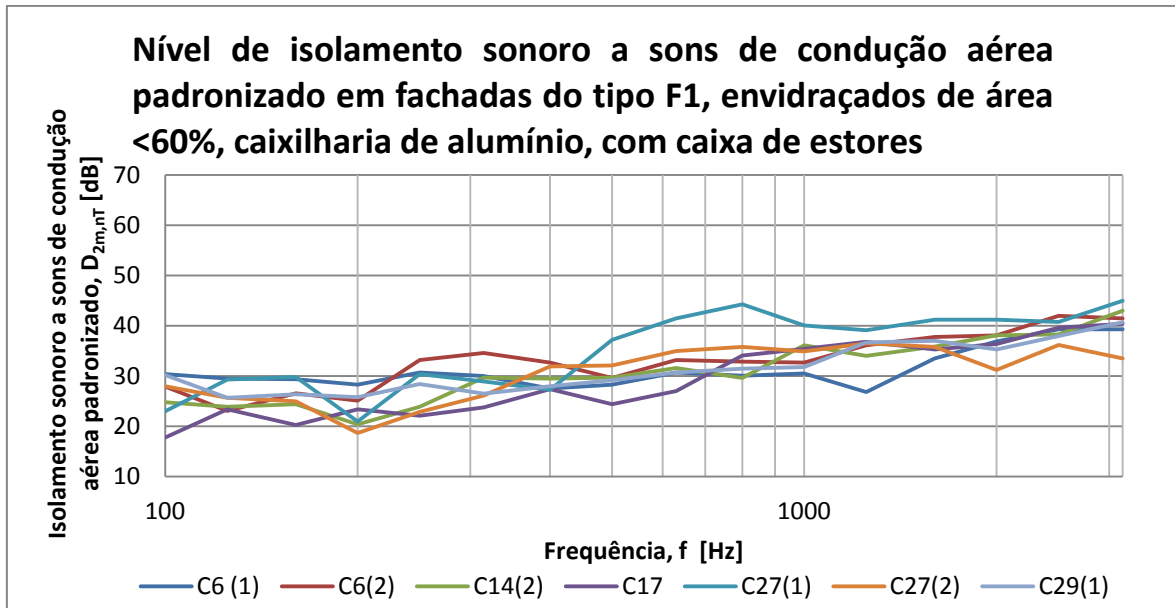


Figura 46 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F1 com envidraçados de área <60% da área da fachada, caixilharia em alumínio e com caixa de estores

Pode-se observar agora na Figura 47, um gráfico com os valores únicos obtidos para cada fachada, de acordo com a norma. É notável o facto de a maioria dos valores estarem concentrados entre os 35dB e 40dB, havendo apenas um valor acima destes, correspondente à fachada 1 do compartimento C27. O valor mínimo de isolamento foi encontrado para as fachadas dos compartimentos C17 e C6(1) com o valor de 35dB, e o valor máximo foi encontrado para a fachada do compartimento C27 com 41dB. A diferença entre estes dois é de 6dB, pelo que se pode concluir que há uma menor dispersão de valores do que no caso anterior em que não existem caixas de estores.

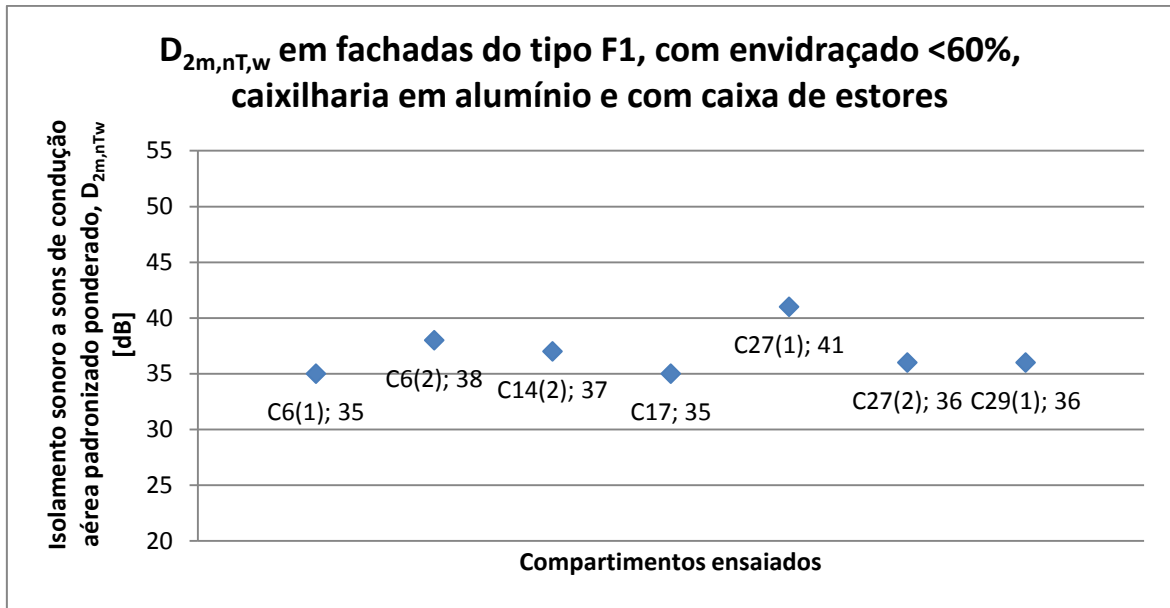


Figura 47 - Gráfico representativo dos valores únicos de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado ponderado, para as fachadas do tipo F1 com envidraçados <60% da área da fachada, caixilharia em alumínio e com caixa de estores

A Figura 48 representa as curvas do nível de isolamento sonoro a sons aéreos padronizado, obtidas para as fachadas F1 com envidraçados de área <60% da área da fachada, vidro duplo e caixilharia em PVC.

Observando agora as janelas que possuíam caixa de estores e as que não possuíam, nota-se uma ligeira diferença. As janelas dos compartimentos C9, C11 e C20 são aquelas que tinham caixa de estores e a C10 não tinha. As curvas referentes às fachadas dos compartimentos C9, C11 e C20 apresentam um ligeiro decréscimo nas frequências baixas, crescendo depois a partir das médias frequências. Quanto à curva referente à fachada do compartimento C10, observa-se que esta apresenta-se sem grandes variações ao longo das frequências baixas e médias, crescendo apenas nas frequências altas.

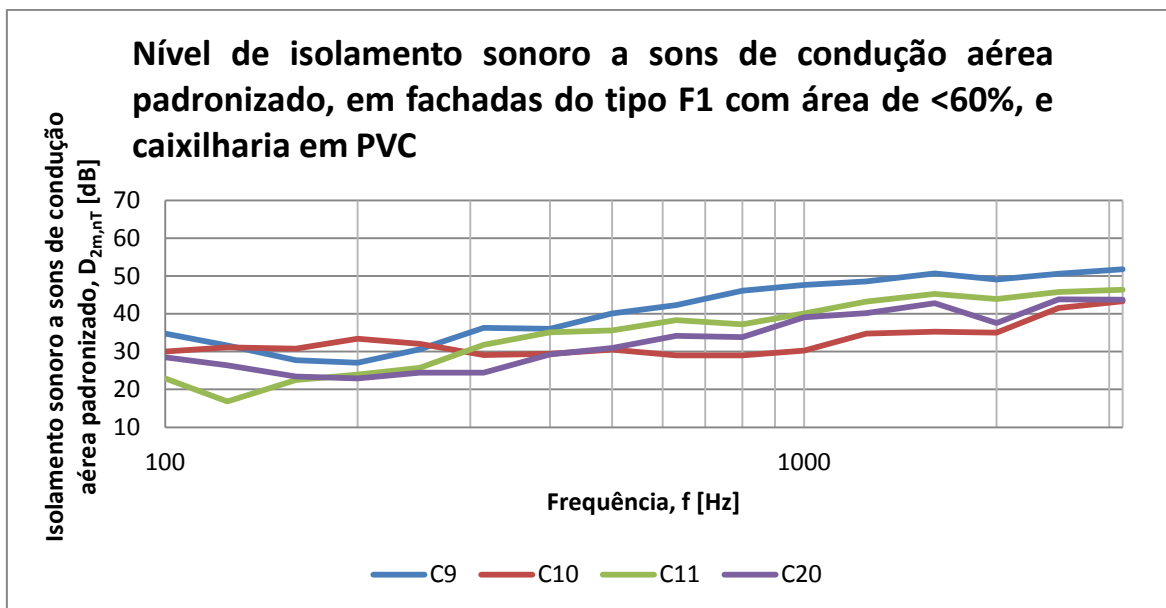


Figura 48 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F1 com envidraçados de área <60% da área da fachada e caixilharia em PVC

A Figura 49 apresenta os valores únicos das fachadas acima apresentadas. Ao contrário do que seria de esperar, a fachada do compartimento C10, que é a única que não apresenta caixa de estores, é aquela que apresenta um isolamento menor. No entanto, importa referir que as janelas deste edifício ainda não tinham sido completamente terminadas e faltava aplicar o vedante em torno da caixilharia, pelo que era expectável haver uma quebra no isolamento. Quanto às restantes fachadas, apresentaram bons isolamentos, podendo-se concluir à partida que as caixilharias em PVC contribuem com eficácia para um bom isolamento.

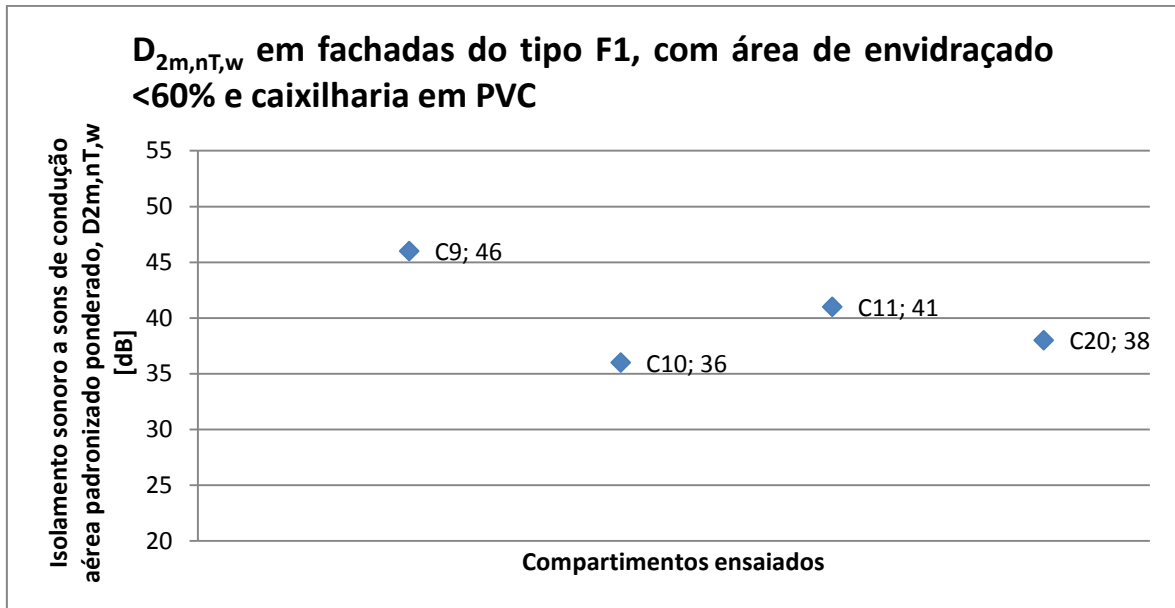


Figura 49 - Gráfico representativo dos valores únicos de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado ponderado, para as fachadas do tipo F1 com envidraçados <60% da área da fachada e com caixilharia em PVC

Finalmente, para as fachadas F1, segue-se a Figura 50 na qual se encontra representada a curva referente ao nível de isolamento sonoro obtido para a fachada 1 do compartimento C14, que não possui qualquer envidraçado (0% de área de envidraçado).

Sabe-se que seriam necessárias mais amostras para obter uma conclusão mais adequada, mas uma vez que apenas se conseguiu realizar um ensaio, é essa curva que aqui é apresentada. Para esta fachada, obteve-se um nível de isolamento sonoro padronizado ponderado, $D_{2m,nT,w}$, de 39dB, que é superior ao valor de 37dB obtido com envidraçado em alumínio anteriormente apresentado, tal como esperado.

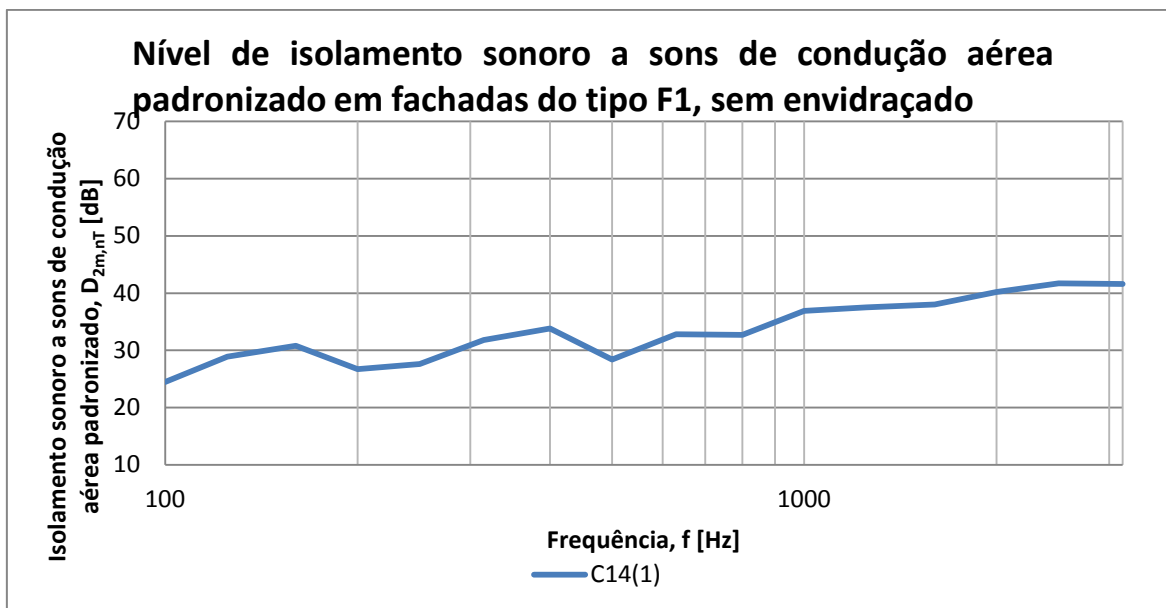


Figura 50 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F1 sem envidraçados

Uma vez apresentados e analisados os dados dos níveis sonoros para as fachadas com envidraçado <60% da área da fachada, apresentar-se-á agora os gráficos referentes às fachadas que apresentam envidraçados com área >60% da sua área, embora os ensaios tenham sido apenas dois.

Na Figura 51 apresentam-se as curvas representantes de ambos os compartimentos ensaiados, C12 e C26. O envidraçado da fachada do compartimento C12 é constituído por vidro duplo e caixilharia em PVC e o da fachada do compartimento C26 é constituído por vidro duplo e caixilharia em alumínio com corte térmico.

Através das curvas dos níveis de isolamento sonoro a sons aéreos, é possível determinar que a fachada do compartimento C12 apresenta melhor isolamento ao ruído do que a fachada do compartimento C26 até, aproximadamente, à frequência de 1000Hz, sendo que a partir desse ponto observa-se que ambas apresentam a mesma eficiência. Nota-se que a fachada do compartimento C12 tem um comportamento com oscilações pouco significativas ao longo da faixa de frequências, enquanto que a fachada do compartimento C26 apresenta uma tendência ascendente à medida que se evolui nas frequências, ou seja, quanto maior a frequência, melhor isola os ruídos.

Embora sabendo que apenas estas duas amostras não permitem retirar conclusões suficientemente fundamentadas, observa-se à partida uma melhor eficiência dos envidraçados com caixilharia em alumínio com corte térmico.

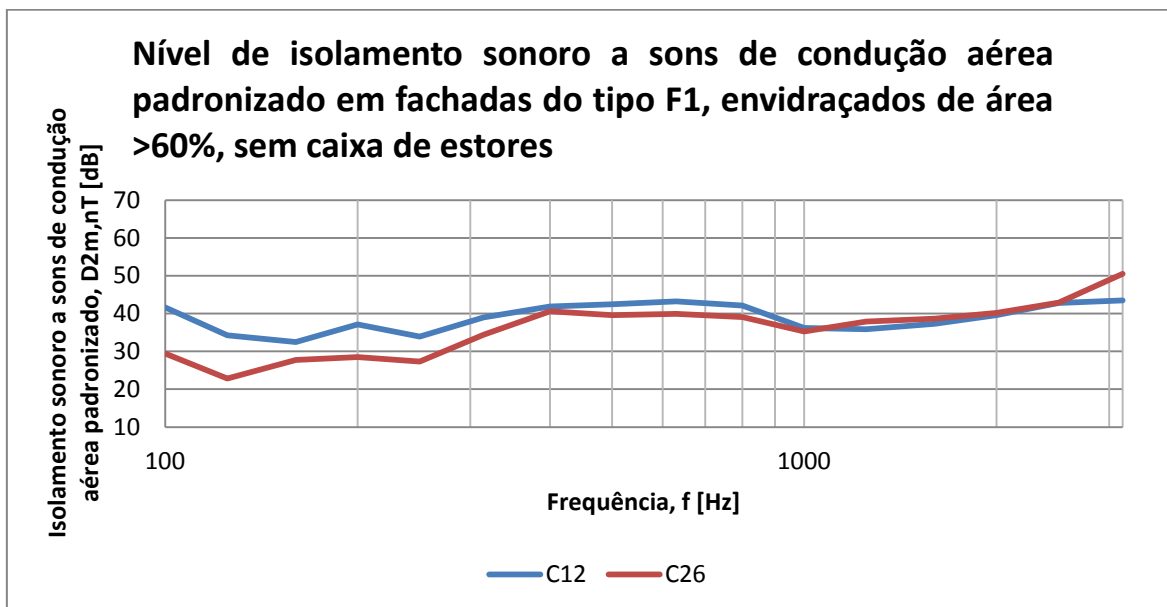


Figura 51 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F1 com envidraçados de área >60% à área da fachada

Olhando agora para os valores únicos do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado ponderado, $D_{2m,nT,w}$, ilustrados na figura, estes são bastante parecidos, sendo o valor da fachada do compartimento C12 igual a 43dB e da fachada do compartimento C26 igual a 42dB. Uma vez que os envidraçados apresentam aproximadamente as mesmas dimensões, pode-se concluir que o isolamento da caixilharia em PVC é de qualidade bastante semelhante da caixilharia em alumínio com corte térmico.

4.4.2.2. Fachadas do tipo F2

Ao longo do estágio, apenas foram realizados três ensaios a este tipo de fachada, todas com envidraçados de área <60% da sua área. De forma resumida, apresenta-se na Figura 52 um esquema com os casos ensaiados.



Figura 52 - Características das fachadas do tipo F2 encontradas no decorrer do estágio

A figura 53 apresenta as curvas referentes aos níveis de isolamento sonoro padronizado das três fachadas do tipo F2 ensaiadas. Importa referir que os envidraçados das três são compostos por vidro duplo e possuem caixa de estores. As fachadas dos compartimentos C8 e C28 possuem envidraçados com caixilharia de alumínio, enquanto que a fachada do compartimento C18 possui envidraçado com caixilharia em PVC. É possível observar a diferença entre ambas as situações, nomeadamente é possível verificar que nas baixas e médias frequências a fachada com envidraçado com caixilharia em PVC mantém-se mais constante do que as outras em que é usado o alumínio, apresentando estas últimas um comportamento mais oscilante. Nas altas frequências ocorre um acréscimo do nível de isolamento para as duas situações, mas de modo diferente, tal como se observa.

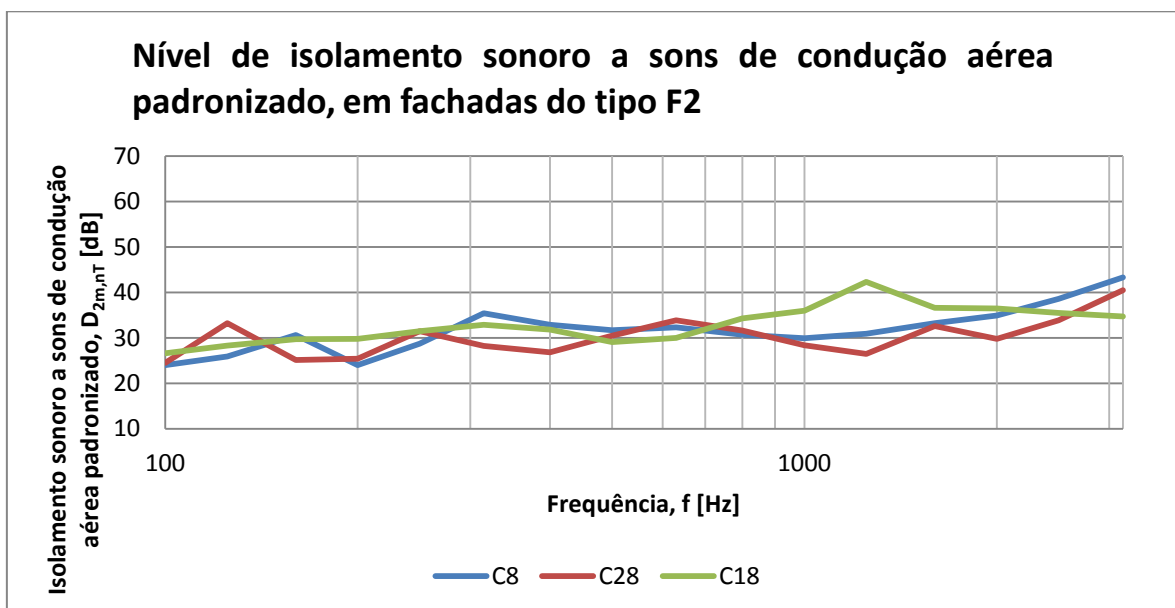


Figura 53 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F2

A Figura 54 apresenta os valores únicos do isolamento sonoro padronizado ponderado nas fachadas do tipo F2. Pode-se observar que os valores são bastante próximos uns dos outros, sendo que o isolamento da fachada do compartimento C18, cujo envidraçado possui caixilharia em PVC é o melhor dos três. Este é um resultado concordante com o esperado, visto o PVC ter melhor desempenho do que o alumínio.

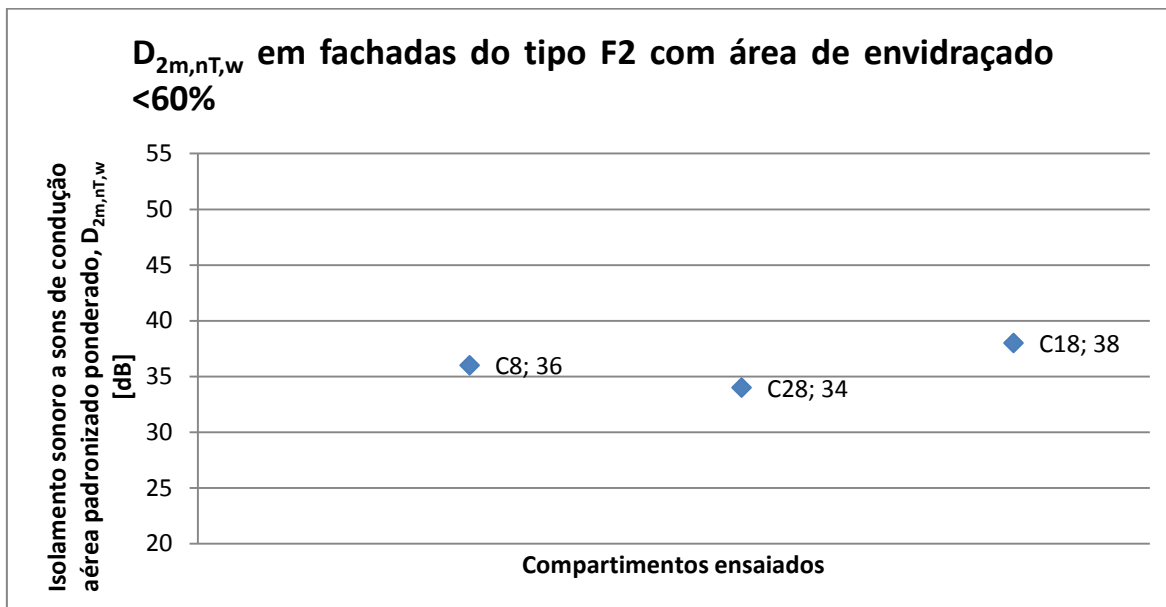


Figura 54 - Gráfico representativo dos valores únicos de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado ponderado, para as fachadas do tipo F2 com envidraçados <60% da área da fachada

4.4.2.3. Fachadas do tipo F3

Deste tipo de fachadas, apenas foi possível ensaiar duas, sendo que ambas possuíam envidraçados com vidro duplo e caixilharia de alumínio. A fachada pertencente ao compartimento C13 possui envidraçado com caixa de estores, enquanto que o envidraçado pertencente à fachada do compartimento C16 não possui caixa de estores. Na Figura 55 é possível observar as curvas de nível de isolamento sonoro a sons aéreos em fachadas de ambos os casos.

Observa-se que de um modo geral, as curvas são quase coincidentes, ou seja, apresentam praticamente o mesmo nível de isolamento ao longo das faixas de frequências. No entanto, existe uma característica que se destaca, que é o facto de que a curva referente à fachada do compartimento C13 apresenta uma maior dispersão de valores, ocorrendo um pico mínimo nas frequências baixas, nomeadamente entre as

frequências de 100Hz e 125Hz, em oposição à outra curva que se apresenta mais ou menos constante e com melhor isolamento nessa zona.

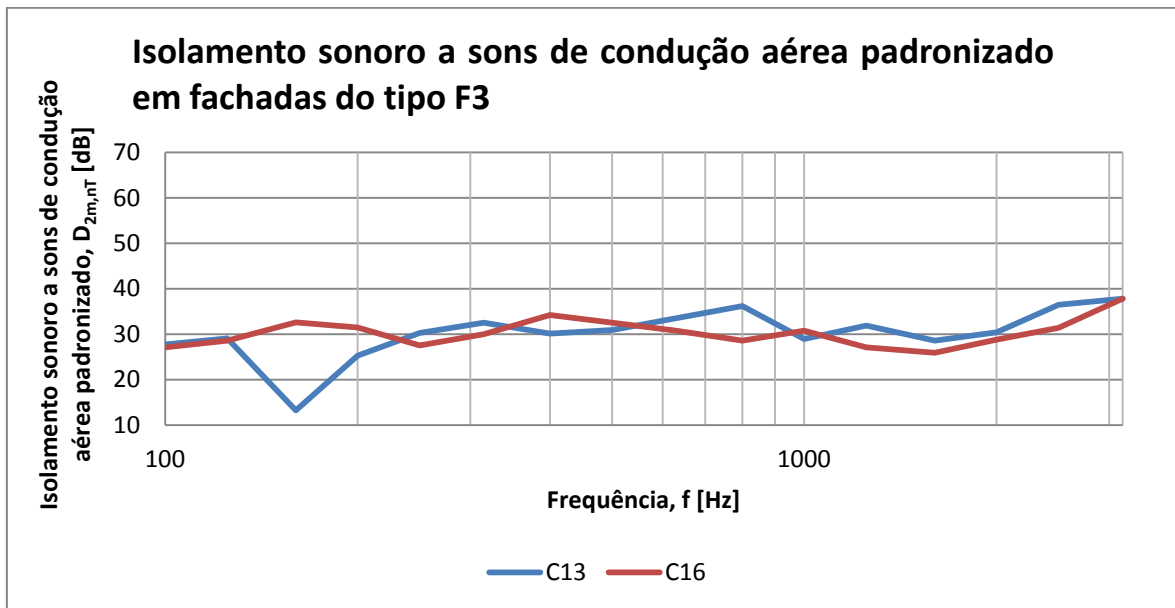


Figura 55 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F3

Comparando os valores únicos de ambas as fachadas, chega-se à conclusão de que são bastante próximos. O valor de isolamento da fachada do compartimento C13 é igual a 35dB e o da fachada C16 é de 33dB.

4.4.2.4. Fachadas do tipo F4

Foi apenas ensaiada uma fachada do tipo F4, sendo esta constituída por um envidraçado com vidro duplo com área <60% da área da fachada, e caixilharia de alumínio, sem caixa de estores. A Figura 56 representa a curva referente ao isolamento sonoro padronizado dessa fachada, podendo-se observar que nas baixas frequências apresenta um pior isolamento e apresentado melhor isolamento nas médias e altas frequências, sendo o seu desempenho ascendente à medida que aumenta a frequência.

Visto que esta fachada apresenta apenas uma espessura de 23cm, seria de esperar um pior isolamento em relação às restantes apresentadas. No entanto, o facto de conter lã mineral proporciona um muito melhor isolamento, pois esse é um material bastante absorvente.

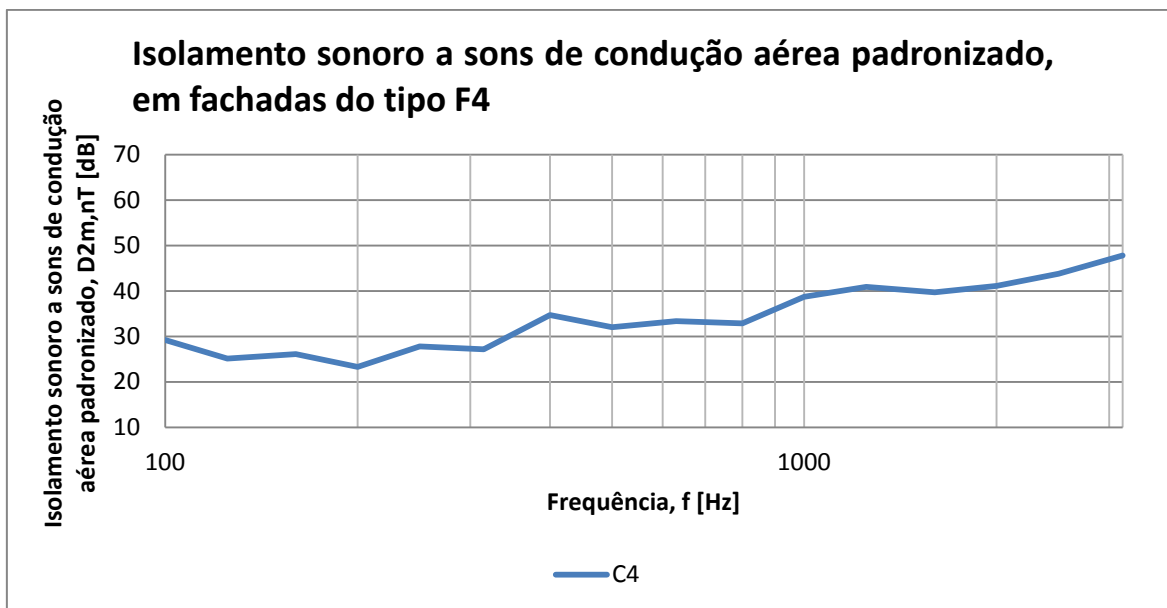


Figura 56 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F4

Em termos de valor único, para a fachada do compartimento C4, obteve-se um isolamento de 40dB. Um valor elevado de isolamento como era de prever devido à presença da lã mineral.

4.4.2.5. Fachadas do tipo F5

Tal como o caso anterior, apenas foi realizado um ensaio a este tipo de fachadas. A fachada ensaiada possuía uma janela constituída por vidro duplo, com caixilharia de alumínio e com caixa de estores, sendo a sua área <60% da área da fachada.

A Figura 57 apresenta a curva de isolamento sonoro dessa fachada, onde é possível observar que este tende a melhorar com o aumento da frequência, ou seja, a curva é ascendente ao longo da faixa de frequências.

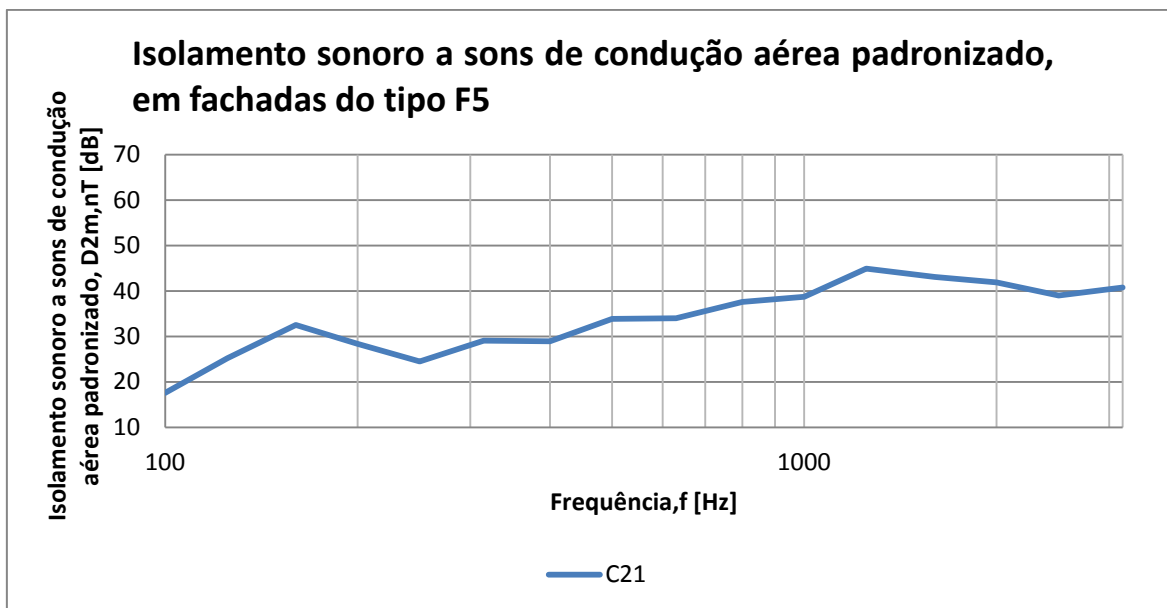


Figura 57 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F5

O valor único de isolamento sonoro padronizado ponderado para a fachada do compartimento C21 é igual a 40dB.

4.4.2.6. Fachadas do tipo F6

Para este tipo de fachada foram realizados dois ensaios no mesmo compartimento, C24, uma com 0% de área de envidraçado e outra com 100%, sendo esta última constituída por um envidraçado com vidro duplo e com caixilharia em alumínio com corte térmico, não possuindo caixa de estores.

Na Figura 58 são apresentadas as curvas de isolamento de ambas as fachadas. Pode-se observar que a fachada sem envidraçado, fachada 1, apresenta uma curva mais uniforme ao longo da faixa de frequências, ao contrário da outra, fachada 2, que apresenta uma configuração ascendente, possuindo um pico mínimo entre a frequência de 100Hz e 125Hz, indicando que o pior isolamento acontece para essa frequência.

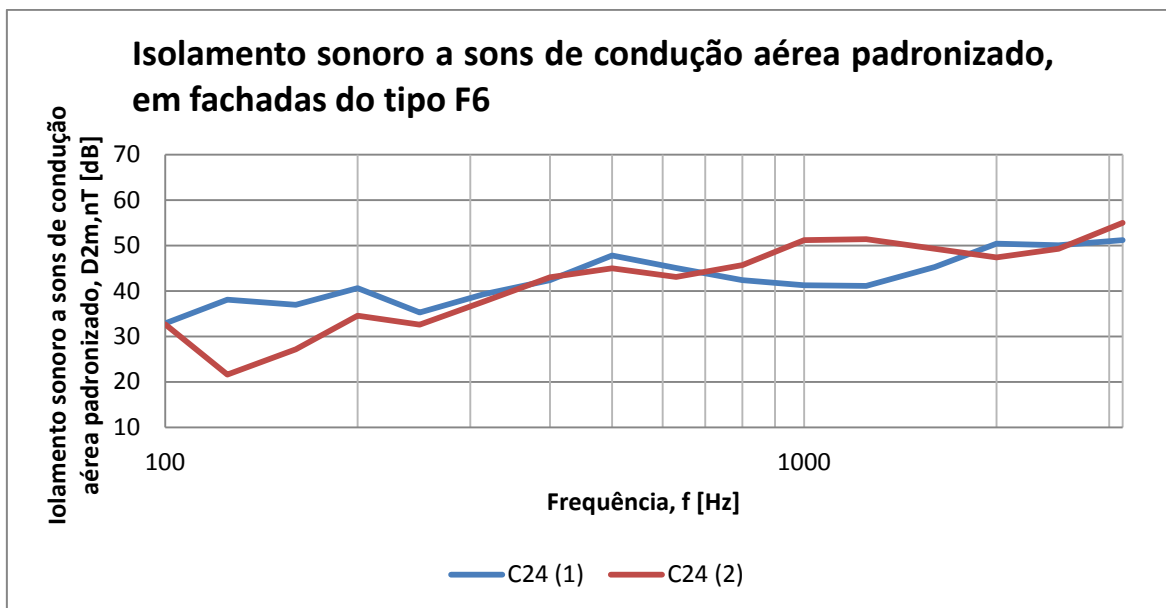


Figura 58 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F6

O valor único de isolamento sonoro padronizado ponderado para ambas as fachadas, quer com envidraçado quer sem envidraçado, é de 48dB, podendo-se concluir que o envidraçado é de boa qualidade e a sua aplicação foi bem concebida, pois mesmo na presença de envidraçado, mantêm-se os níveis de isolamento.

4.4.2.7. Fachadas do tipo F7

Foram ensaiadas apenas duas fachadas deste tipo, para o compartimento C25, sendo uma delas, constituída por um envidraçado de área <60% da área da fachada, cuja caixilharia era em alumínio e sem caixa de estores. A outra, fachada 2, não possui janela.

Na Figura 59 observa-se que a curva de C25(2) apresenta-se acima da curva de C25(1), tal como esperado, visto a fachada 2 do compartimento C25 não possuir janela apresentando desse modo um melhor isolamento do que a fachada 1 na qual a janela permite uma maior transmissão do ruído.

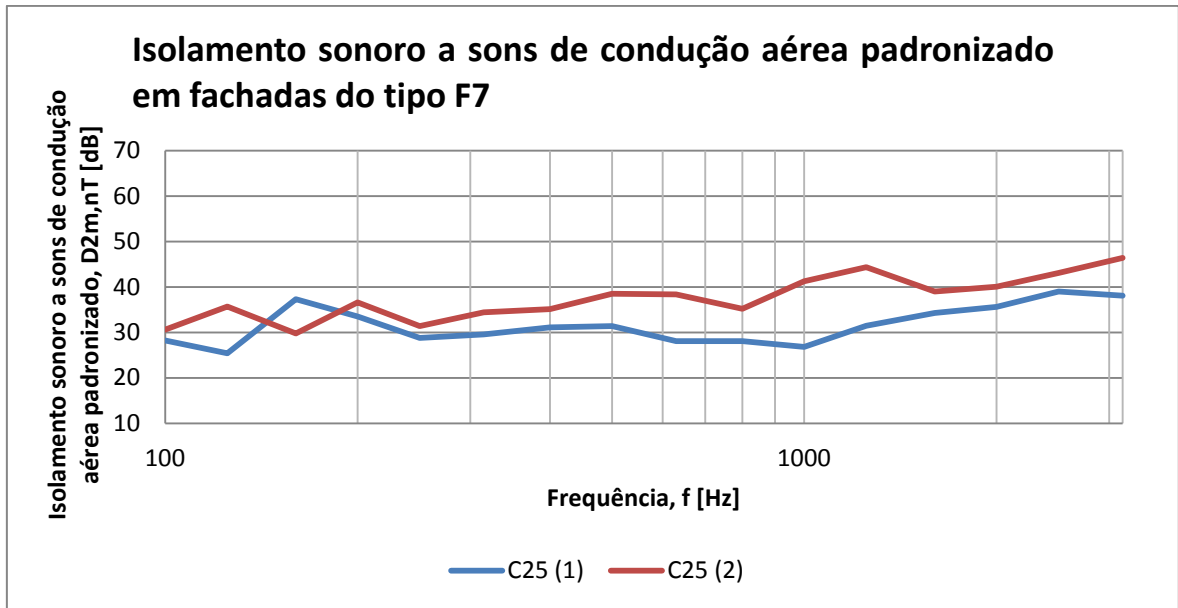


Figura 59 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea, em fachadas do tipo F7

Em termo de valor único, percebe-se uma grande diferença entre ambas as fachadas. O valor do isolamento da fachada 1 é de 35dB, enquanto que da fachada 2 é de 43dB. A diferença é notável, devido ao facto da fachada 2 não possuir envidraçado enquanto que a outra possui envidraçado com caixilharia em alumínio permitindo a transmissão ruído com maior facilidade.

4.4.2.8. Comparação de fachadas

Neste ponto fazem-se as possíveis comparações entre as fachadas ensaiadas, a partir das curvas de isolamento e dos valores únicos de isolamento propostos pela norma.

Na Figura 60 apresentam-se as características comuns às fachadas dos tipos F1, F2, F3 e F5 e que as permitirão comparar entre si.

Características comuns às fachadas dos tipos F1, F2, F3 e F5:

- caixilharia em alumínio;
- envidraçado <60%
- com caixa de estores

Figura 60 - Características que permitem comparar o desempenho das fachadas dos tipos F1, F2, F3 e F5

Na Figura 61 apresenta-se um gráfico com as curvas médias de isolamento sonoro a sons aéreos padronizado obtidas para cada tipo de fachada.

Pode-se observar que as curvas relativas às fachadas F2 e F3 são quase coincidentes ao longo da faixa de frequências, exceto nas baixas entre os 100Hz e os 200Hz. A curva da fachada F5 apresenta-se acima das restantes na maioria das frequências, deduzindo-se à partida que é aquela que apresenta um melhor desempenho de isolamento. A curva referente à fachada F1 não sofre tantas oscilações ao longo da faixa de frequências como as restantes e situa-se mais ou menos ao nível das outras nas médias e baixas frequências, comportando-se melhor que as fachadas F2 e F3 nas altas frequências e pior que a fachada F5 nessas mesmas frequências.

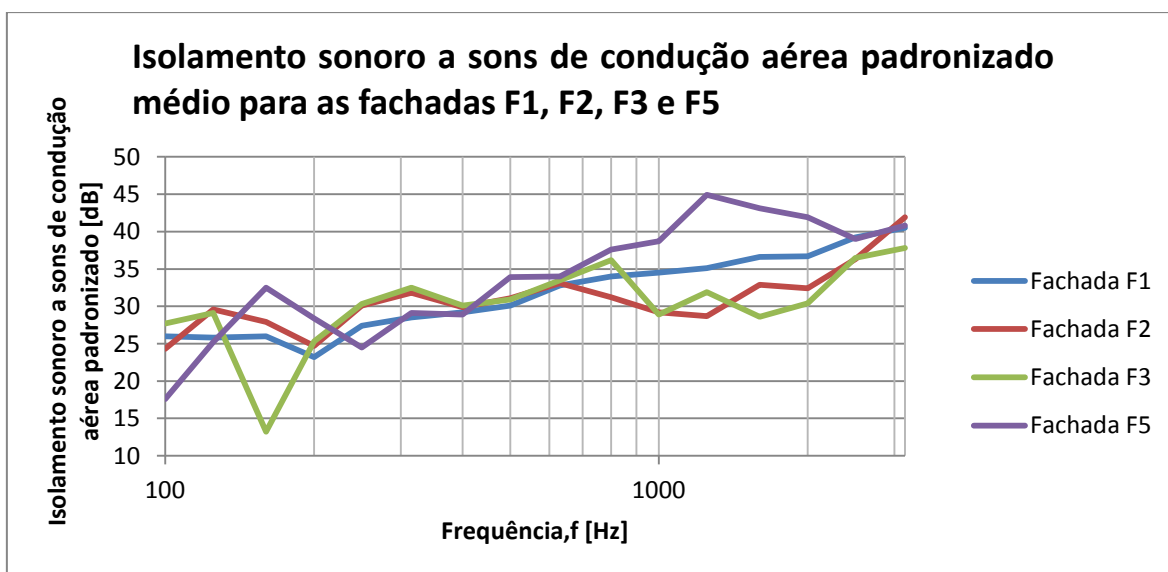


Figura 61 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea médios, para as fachadas dos tipos F1, F2, F3 e F5

De seguida, apresenta-se a Figura 62, onde é possível visualizar um gráfico com os valores únicos de isolamento para as várias fachadas. Pode-se concluir aqui que as fachadas com melhor isolamento acústico são as do tipo F5, seguindo-se as do tipo F1. As fachadas dos tipos F2 e F3 apresentam-se com o mesmo nível de isolamento.

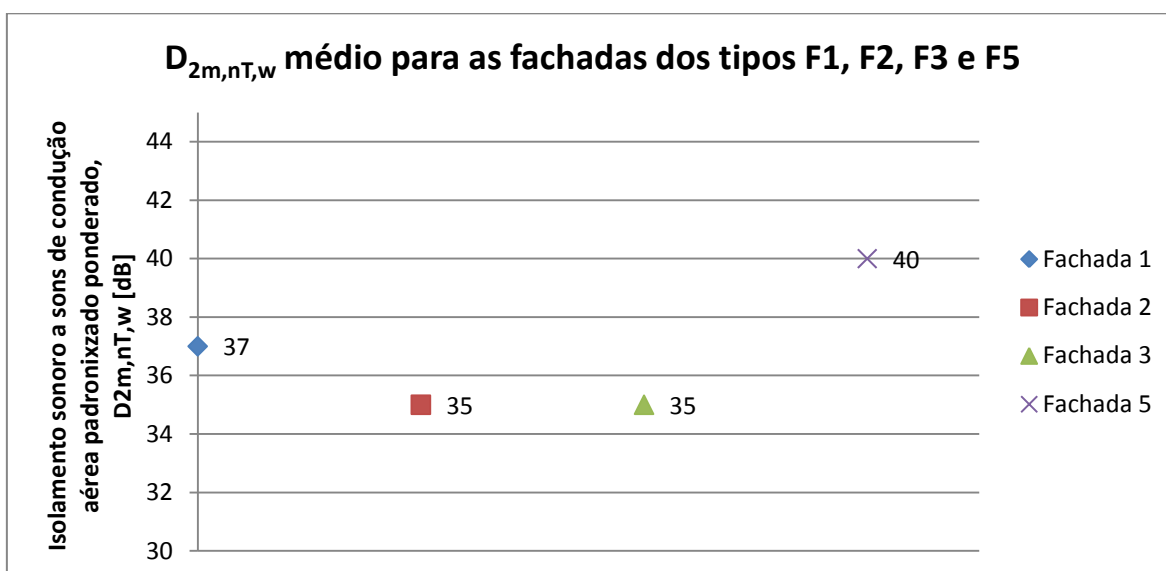


Figura 62 - Gráfico representativo dos valores únicos dos níveis de isolamento sonoro padronizados ponderados a sons de condução aérea médios, para as fachadas dos tipos F1, F2, F3 e F5

Agora serão comparadas as fachadas que apresentam as características mencionadas na Figura 63.

Características comuns às fachadas dos tipos F1, F3, F4 e F7:

- caixilharia em alumínio;
- envidraçado <60%
- sem caixa de estores

Figura 63 - Características comuns às fachadas dos tipos F1, F3, F4 e F7, e que as permite comparar

Na Figura 64 apresentam-se as curvas de isolamento padronizado a sons de condução aérea médias das fachadas F1, F3, F4 e F7.

Observa-se que as curvas apresentam, todas elas, grandes oscilações ao longo da faixa de frequências. Entre os 160Hz e os 250Hz todas as fachadas apresentam um isolamento compreendido entre os 25dB e os 35dB. Nas altas frequências distinguem-se com facilidade as fachadas com melhor isolamento das que têm pior. Assim, olhando apenas para as altas frequências, observa-se que a fachada com melhor isolamento é a F4, seguida da F1, da F7 e finalmente a que apresenta menor isolamento a F3.

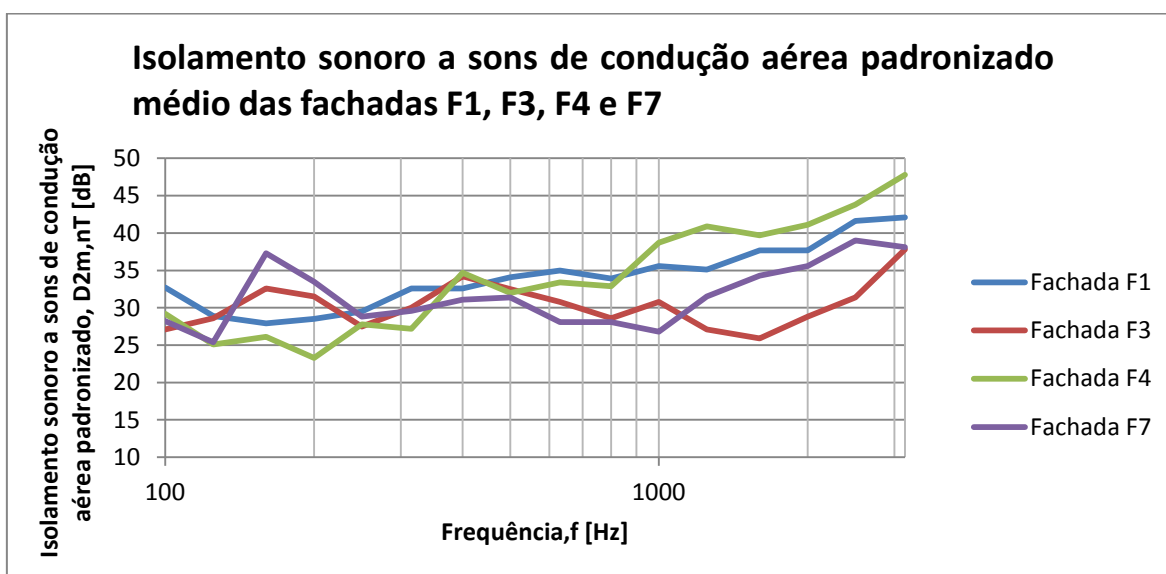


Figura 64 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea médios, para as fachadas dos tipos F1, F3, F4 e F7

Para confirmar o que acima foi dito, apresentam-se na Figura 65, os valores únicos médios de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado ponderado das diferentes fachadas.

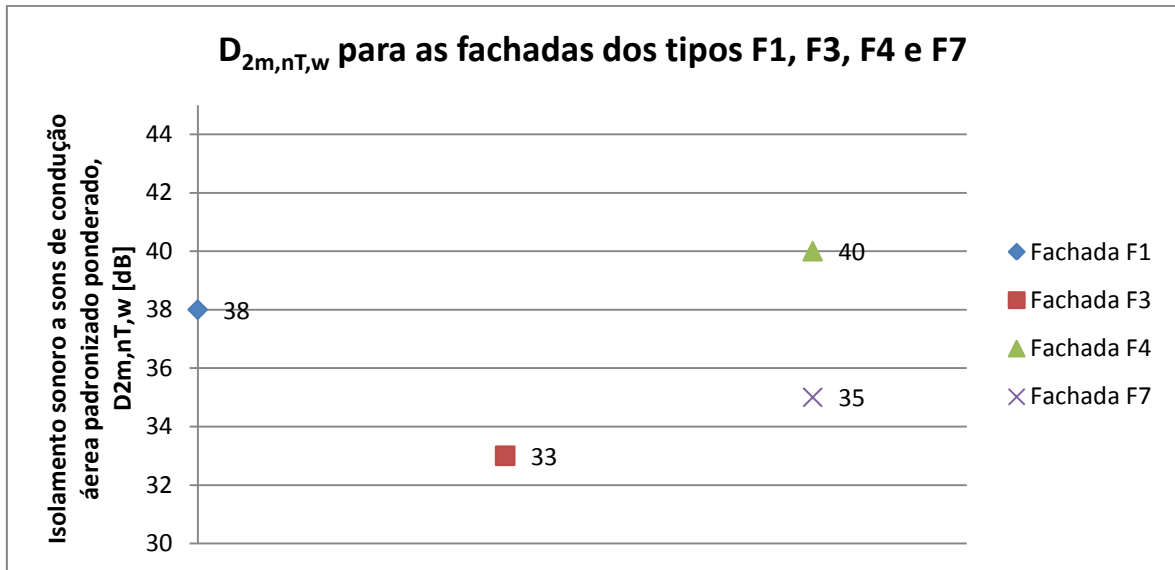


Figura 65 - Gráfico representativo dos valores únicos médios dos níveis de isolamento sonoro padronizados ponderados a sons de condução aérea, para as fachadas dos tipos F1, F3, F4 e F7

Na Figura 66 apresentam-se as características das fachadas F1 e F2, que vão ser comparadas adiante.

Características comuns às fachadas dos tipos F1 e F2:

- caixilharia em PVC;
- envidraçado <60%
- com caixa de estores

Figura 66 - Características comuns às fachadas dos tipos F1 e F2, e que as permite comparar

A Figura 67 apresenta as curvas referentes ao isolamento das fachadas do tipo F1 e F2, podendo-se concluir que nas baixas frequências a fachada F2 apresenta melhor isolamento do que a fachada F1, sendo que nas médias e altas frequências as fachadas do tipo F1 são mais eficientes.

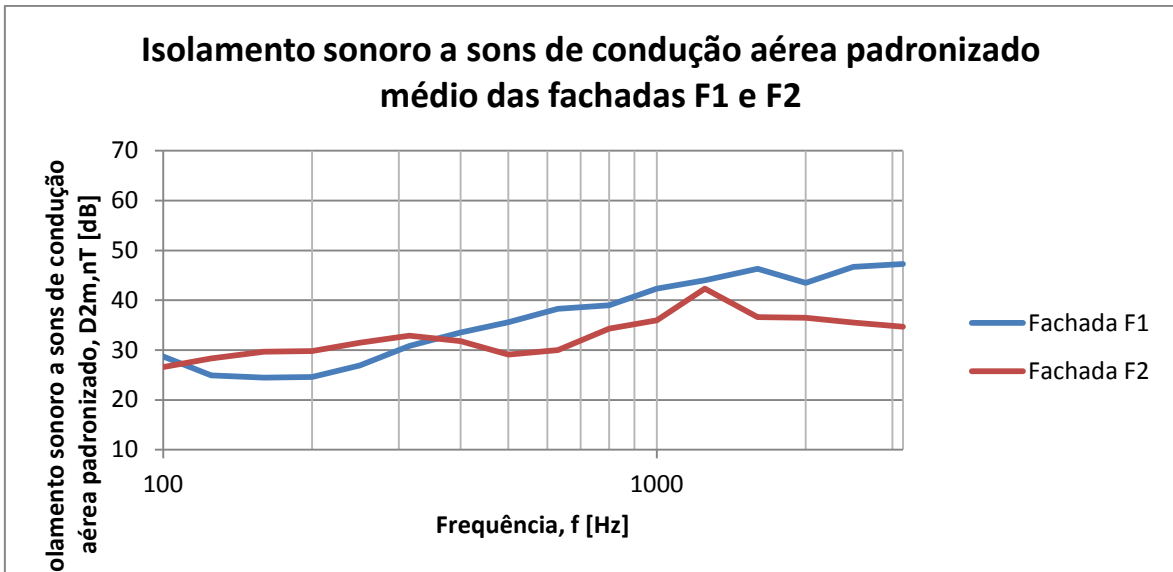


Figura 67 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea médios, para as fachadas dos tipos F1 e F2

A Figura 68 apresenta os valores únicos referentes às fachadas F1 e F2, podendo-se concluir mais uma vez que a fachada F1 apresenta melhor isolamento que a fachada F2.

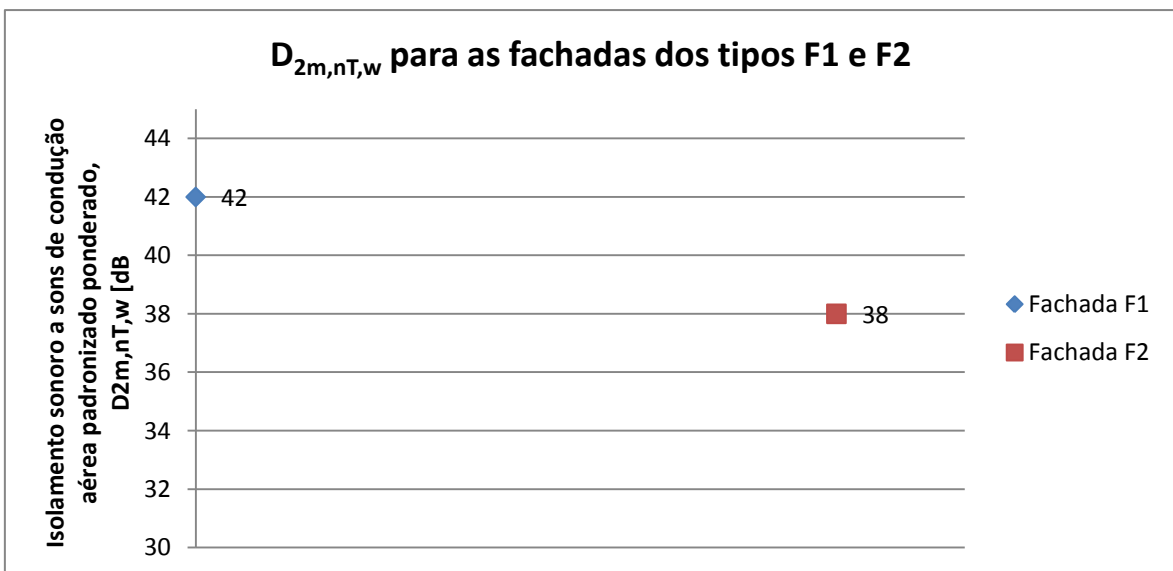


Figura 68 - Gráfico representativo dos valores únicos médios dos níveis de isolamento sonoro padronizados ponderados a sons de condução aérea, para as fachadas dos tipos F1 e F2

A Figura 69 apresenta as características das fachadas F1, F6 e F7, que serão posteriormente comparadas.

Características comuns às fachadas dos tipos F1, F6 e F7:

- fachada sem envidraçado

Figura 69 - Características comuns às fachadas dos tipos F1, F6 e F7, e que as permite comparar

Observando o gráfico da Figura 70, pode-se concluir imediatamente que a fachada F6 é a que apresenta um melhor isolamento sonoro, seguida da fachada F7 e finalmente, da fachada F1.

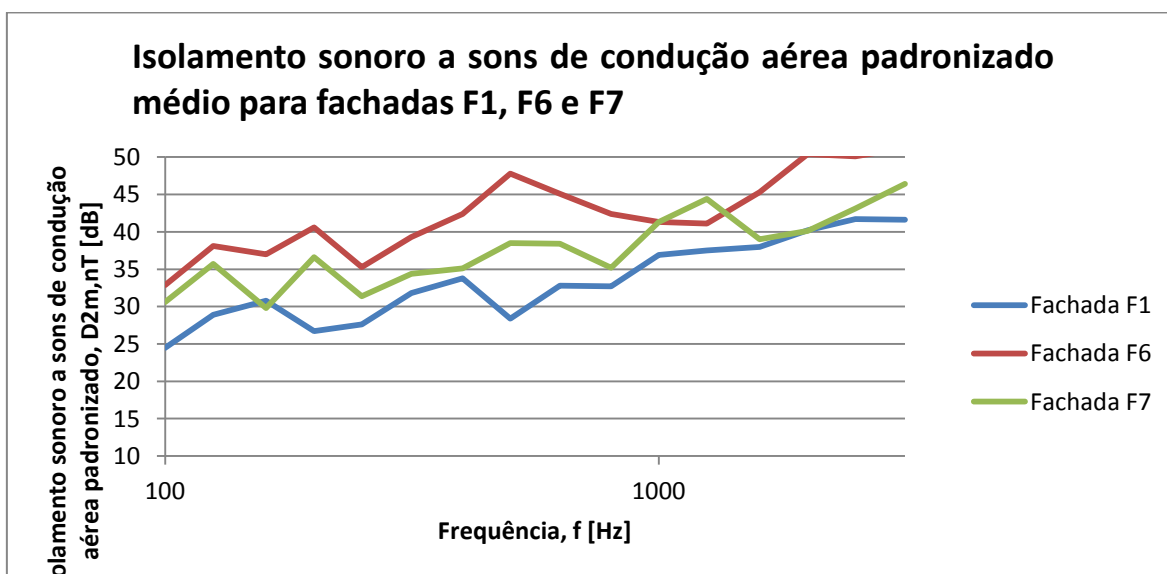


Figura 70 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea médios, para as fachadas dos tipos F1, F6 e F7

Na Figura 71 podem-se observar os valores únicos do isolamento sonoro das mesmas fachadas, comprovando o que atrás foi dito.

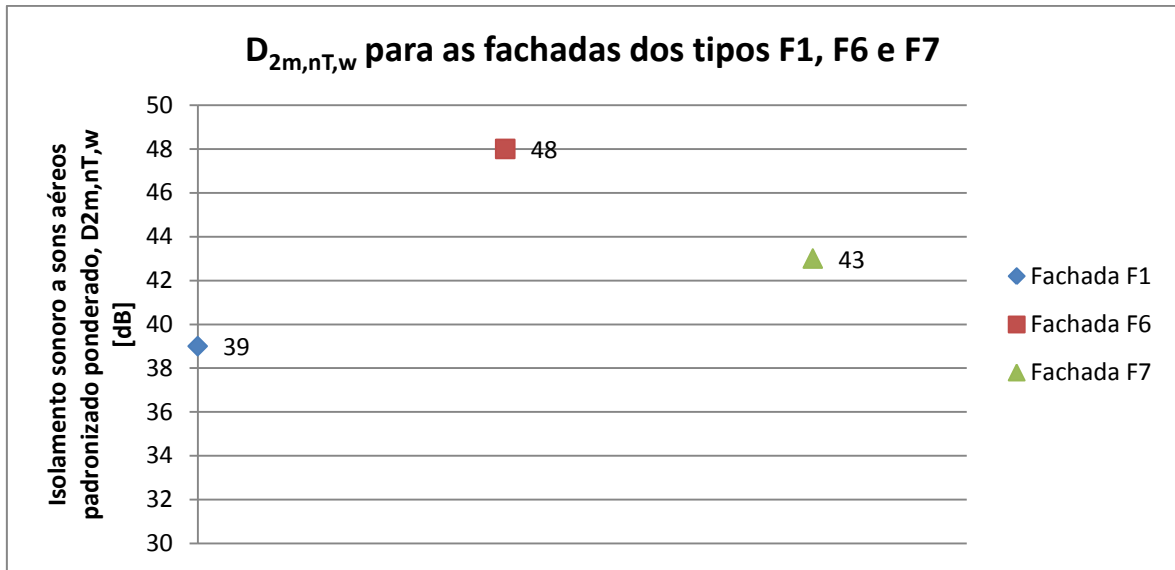


Figura 71 - Gráfico representativo dos valores únicos médios dos níveis de isolamento sonoro padronizado ponderado a sons de condução aérea, para as fachadas dos tipos F1, F6 e F7

Quanto à comparação entre fachadas que possuem caixilharia em alumínio com corte térmico, apenas existem duas comparáveis, a fachada F1 e a fachada F6. Não se considerou relevante apresentar aqui a comparação entre ambas neste sentido, pois já foram comparadas anteriormente. No entanto, apresentam-se aqui os valores únicos de isolamento que, para a fachada F6 é de 48dB e para a fachada F1 é de 42dB, comprovando mais uma vez que a fachada F6 tem melhor isolamento que a fachada F1.

4.4.3. Análise do nível sonoro a sons aéreos entre compartimentos

Neste ponto apenas se fará uma apresentação dos resultados, não se podendo efetuar uma análise estatística pelo facto de não se ter conhecimento da solução construtiva utilizada nas paredes de separação dos edifícios geminados ensaiados.

Pode-se observar, na Figura 72, que as curvas de isolamento a sons aéreos entre compartimentos são semelhantes às curvas de isolamento para as fachadas. No entanto, pode-se observar no mesmo gráfico e no gráfico da Figura 73, que os valores de isolamento obtidos são bastante superiores aos das fachadas, tal como esperado e de acordo com a norma e regulamentos.

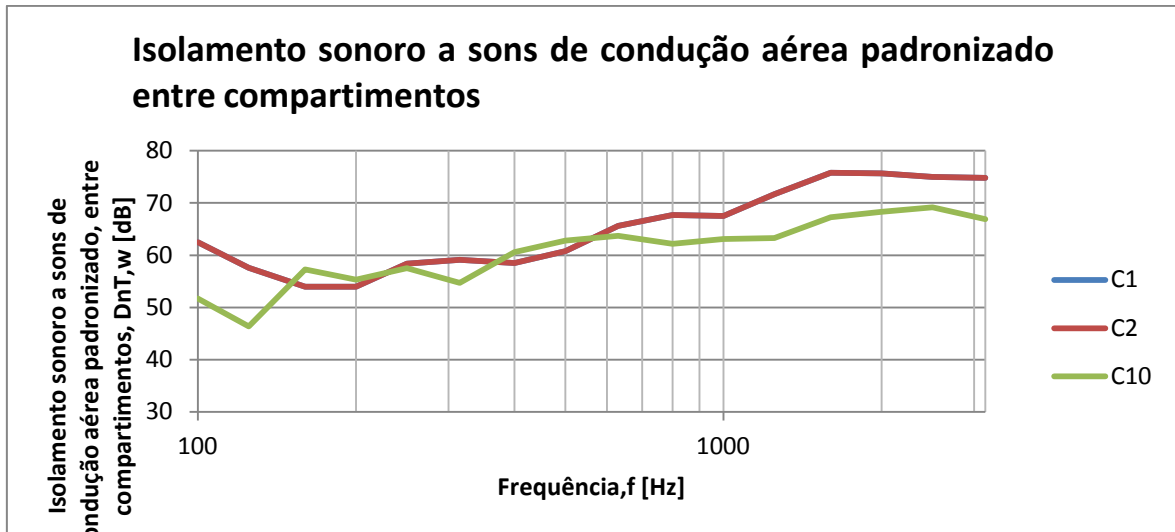


Figura 72 - Gráfico representativo dos níveis de isolamento sonoro padronizados a sons de condução aérea entre compartimentos na horizontal, para os compartimentos C1, C2 e C10

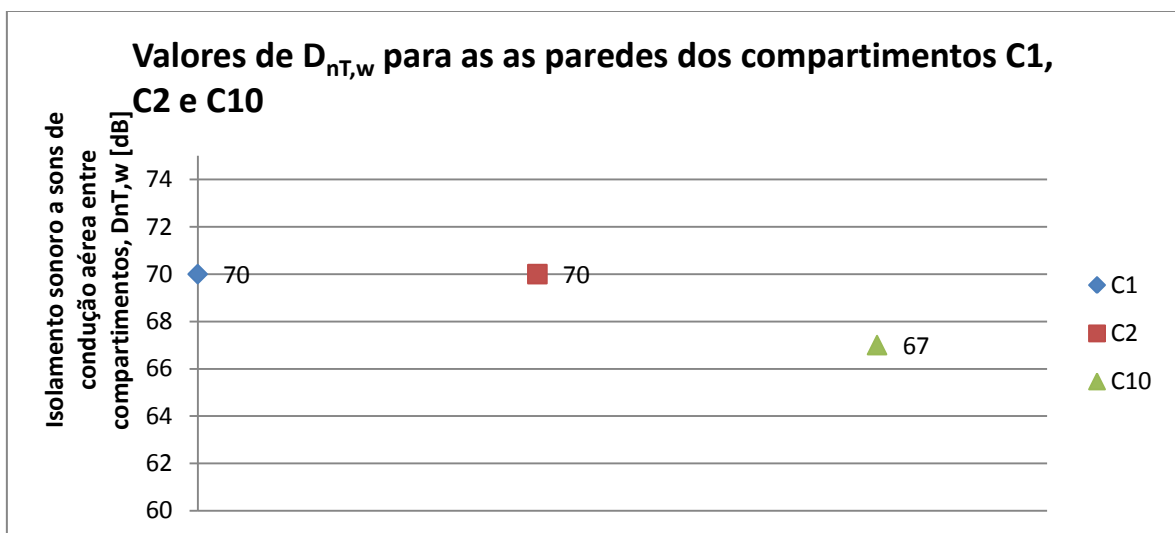


Figura 73 - Gráfico representativo dos valores únicos médios dos níveis de isolamento sonoro padronizados ponderados a sons de condução aérea entre compartimentos, para os compartimentos C1, C2 e C10

4.4.4. Análise do nível sonoro a sons de percussão entre compartimentos

Neste ponto faz-se uma apresentação das curvas de nível sonoro de percussão entre compartimentos e dos valores únicos de nível sonoro tal como sugerido na norma.

Neste caso, quanto menores os valores, melhor será o isolamento, ou seja, neste tipo de medição, o que se está realmente a medir não é o isolamento, mas sim o nível sonoro

registado no compartimento vizinho. Assim, pode-se concluir que foi para os compartimentos C1 e C2 que se registou uma melhor qualidade de isolamento acústico. Isso pode ser verificado nos gráficos apresentados nas Figuras 74 e 75, nos quais se pode observar que os níveis sonoros registados para os compartimentos C1 e C2 são inferiores aos registados para o compartimento C10.

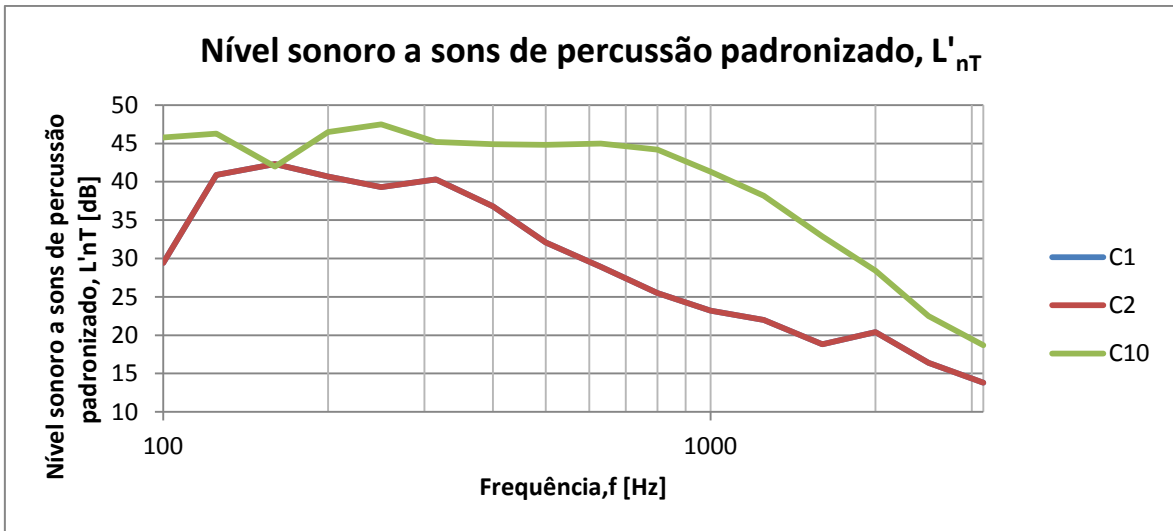


Figura 74 - Gráfico representativo dos níveis sonoros padronizados a sons de percussão entre compartimentos na horizontal, para os compartimentos C1, C2 e C10

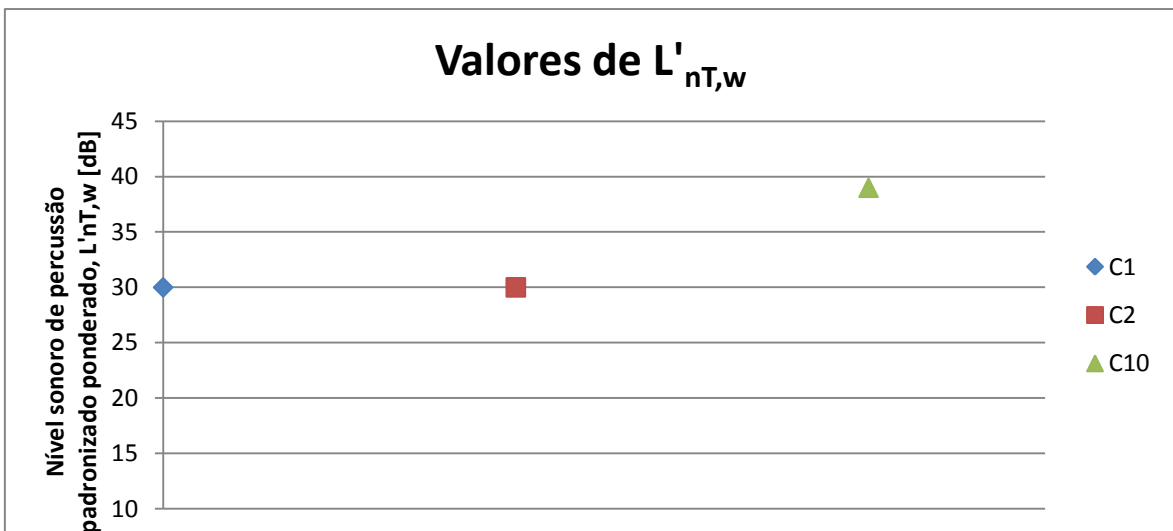


Figura 75 - Gráfico representativo dos valores únicos médios dos níveis sonoros padronizados ponderados a sons de percussão entre compartimentos, para os compartimentos C1, C2 e C10

5. MEDIDAS A ADOPTAR NO CASO DE NÃO VERIFICAÇÃO DO REGULAMENTO

Quando os dados são tratados e o resultado obtido não cumpre os requisitos regulamentares, a empresa certificadora reprova o edifício. Neste caso, os responsáveis pelo mesmo devem realizar as alterações devidas para que numa próxima avaliação este satisfaça os requisitos mínimos. Fatores como a montagem, técnica construtiva e projeto interferem de maneira significativa, devendo por isso serem utilizados procedimentos específicos.

Uma questão que se revela importante abordar neste capítulo é o tratamento acústico. Este consiste em, através de um conjunto de operações, tentar obter uma atenuação do nível de energia sonora entre a fonte e o recetor. A minimização do ruído pode ser conseguida incorporando essencialmente dois tipos de soluções. Assim, quando a fonte se situa no exterior do compartimento recetor, deve-se recorrer à aplicação de barreiras ou painéis isolantes, proporcionando assim uma barreira à decorrente da fonte. Quando a fonte se situa no mesmo compartimento ou ambiente do recetor, deve-se realizar um tratamento absorvente, ou seja, minimizar os níveis de ruído recorrendo ao uso de materiais de revestimento absorventes, nas superfícies internas do compartimento. Outros casos há em que se tem que fazer uso dos dois tipos de tratamento acima indicados.

Para seleccionar o tipo de isolamento ideal, é necessário conhecer previamente a natureza dos ruídos e os caminhos pelos quais é suposto penetrarem no recinto a proteger.

O isolamento a aplicar dependerá do tipo de sons a tratar: sons aéreos ou sons de percussão. O isolamento a sons aéreos define-se como sendo a perda de energia que experimentam as ondas sonoras ao atravessar um elemento, e o isolamento a sons de percussão como sendo a perda de energia que experimentam as vibrações ao propagar-se através de um material.

Existem fatores que diminuem o isolamento sonoro de uma parede, nomeadamente a existência de condutas de ventilação ou de ar condicionado, a existência de janelas, caixas de estores, fendas, orifícios, portas ou a transmissão marginal.

5.1. Isolamento a sons aéreos

No que diz respeito ao tratamento acústico a sons aéreos, apenas se dará ênfase à transmissão horizontal que se dá através das paredes, janelas e portas. Em Portugal, não é em geral relevante a transmissão de sons aéreos através dos pavimentos, visto as soluções serem por norma bastante pesadas, fornecendo geralmente suficiente isolamento a sons aéreos. No entanto, importa referir a aplicação de tetos falsos muitas vezes realizada para corrigir problemas acústicos de espaços fechados, embora nos edifícios de habitação unifamiliar estes sejam essencialmente utilizados para ocultar instalações técnicas e não pela razão acima referida.

Uma forma de isolar o som transmitido através de paredes, é a aplicação de filtros acústicos (ver Figura 76). Estes são compostos por uma associação de materiais leves, materiais rígidos e ainda um material poroso ou resiliente que, pelo efeito de amortecimento, atenuam o nível de ruído, principalmente devido à estrutura porosa no interior dos materiais, dissipando a energia.



Figura 76 - Filtros acústicos do tipo "sanduíche" (Leão, 2011)

Quando existem caixas de estores e estas tenham sido executadas sem cuidados especiais, estas são uma das principais zonas de transmissão sonora na envolvente exterior do edifício. A baixa massa dos elementos verticais, a necessidade de uma fenda para funcionamento do estore, a baixa massa do elemento removível para manutenção, a existência de uma fenda para funcionamento da fita de comando e as juntas entre o elemento removível, a caixilharia e a parede, são os principais fatores que contribuem para o fraco desempenho acústico das caixas de estores. Sempre que se verificarem problemas acústicos na presença de caixa de estores, é necessário verificar e corrigir sempre que necessário, os erros feitos na sua instalação, nomeadamente, revestir o interior da caixa com material absorvente sonoro e aplicar vedantes nas juntas do elemento removível.

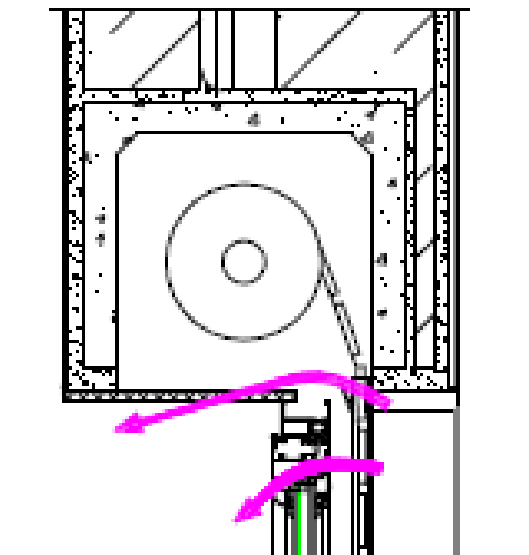


Figura 77 - Caixa de estores mal executada (Mateus, 2009)

As janelas são os principais meios de transmissão dos sons aéreos, visto serem elementos leves. Estas são constituídas pelo vidro, pelo caixilho e pela vedação de todas as juntas de funcionamento. Tal como foi já referido no Capítulo 4 do presente documento, existem diferentes espessuras de vidros e diferentes combinações possíveis de vidros para proporcionar um melhor isolamento. Existem também diferentes tipos de caixilhos, nomeadamente aqueles encontrados no decorrer do estágio, sejam em alumínio, em PVC ou em alumínio com corte térmico. Sempre que se verificarem problemas acústicos da presença de janelas, deve-se optar pela sua substituição por

janelas de melhor qualidade, garantindo que as vedações são realizadas com qualidade. No decorrer do estágio, constatou-se que as janelas com caixilho em PVC ou em alumínio com corte térmico têm qualidade superior àquelas em alumínio normal.

O tratamento da cobertura a sons aéreos apenas se torna importante no caso de existir tráfego aéreo.

As portas são um dos elementos que, se não forem bem instaladas, poderão também permitir uma fácil transmissão de ruído. Os problemas podem surgir devido a uma deficiente selagem do aro da porta, devendo este ser recolocado com os corretos procedimentos. Uma outra solução passa por aplicar um dispositivo de vedação de soleira, caso este não exista ou seja insuficiente. Em casos extremos, pode-se optar pela substituição da porta antiga por uma porta acústica, que possui já um sistema “sanduíche” melhorando bastante a qualidade acústica.

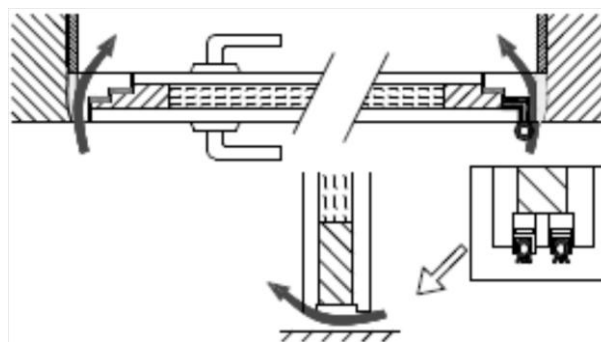


Figura 78 - Esquema representativo de portas mal executadas (Mateus, 2009)

5.2. Isolamento a sons de percussão

Quando ocorrem problemas de ruído a sons de percussão, a sua transmissão poderá ser reduzida criando um corte elástico entre o revestimento e a estrutura de suporte. Esse corte pode ser conseguido utilizando como revestimentos da face superior um material elástico, ou criando um corte elástico entre a laje estrutural e o revestimento do piso, designando-se este último por pavimento flutuante. O corte elástico poderá ser conseguido através de uma camada de material resiliente com capacidade para amortecer vibrações. Como materiais resilientes, destacam-se as cortiças e seus derivados, as lãs minerais, as borrachas e os polietilenos.

A Figura 79 apresenta um dos principais erros cometidos em obra e a forma correta de aplicação do isolamento entre dois fogos, no caso de pavimentos flutuantes que se mencionou acima. É possível então observar, na situação de má execução, que não existe o tal elemento a criar o corte elástico, deixando assim que os sons sejam transmitidos através da estrutura, sem qualquer impedimento, de um compartimento para o compartimento vizinho. Na situação correta é possível observar o corte efetuado com o material elástico, bloqueando assim a transmissão de vibrações de um compartimento para o outro, pois estas são na sua maioria absorvidas por esse material.

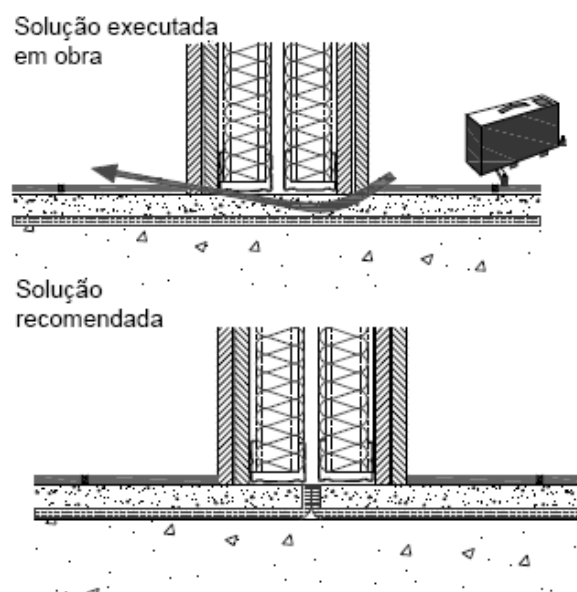


Figura 79 - Esquema comparativo entre uma solução bem executada de pavimento e uma solução mal executada (Mateus, 2009)

A Figura 80 representa os gráficos relativos às duas situações anteriores, podendo-se verificar que se a laje for executada de forma interrompida, colocando o isolamento corretamente, obtém-se um nível de isolamento bastante melhor do que se a laje for contínua entre os dois compartimentos.

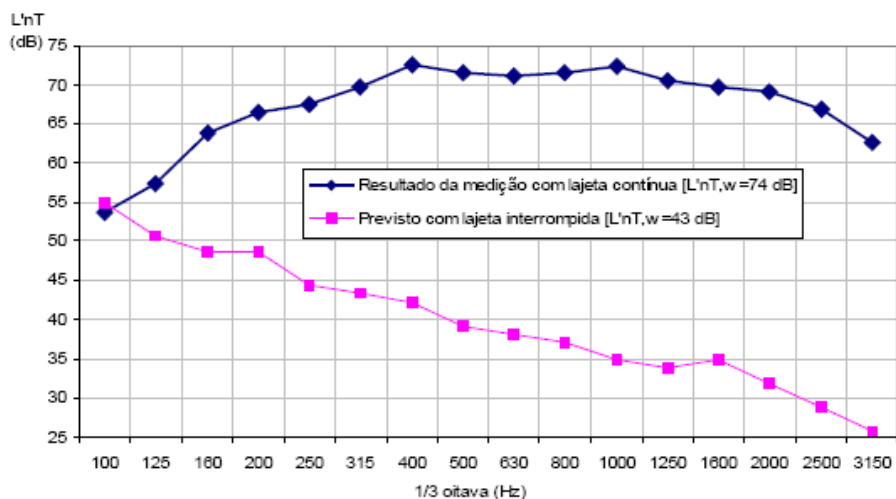


Figura 80 - Comparação entre curva obtida para um pavimento bem executado e um pavimento mal executado (Mateus, 2009)

Como exemplo de aplicação de um tipo de isolamento, aponta-se aqui o aglomerado negro de cortiça expandida. Este pode ser aplicado para corrigir acusticamente um determinado ambiente, entre a laje e o revestimento. Na Figura 81 apresenta-se um exemplo de uma possível aplicação corretiva, em que se pode considerar que o revestimento antigo fora removido, sendo depois aplicado o isolamento, a betonilha e por fim o revestimento. Deve-se ter o cuidado de colocar também aglomerado a separar a betonilha da parede, de modo a diminuir as transmissões marginais. Como se está a tratar de medidas de correção, não seria possível aplicar o aglomerado no interior da parede como o representado na figura.

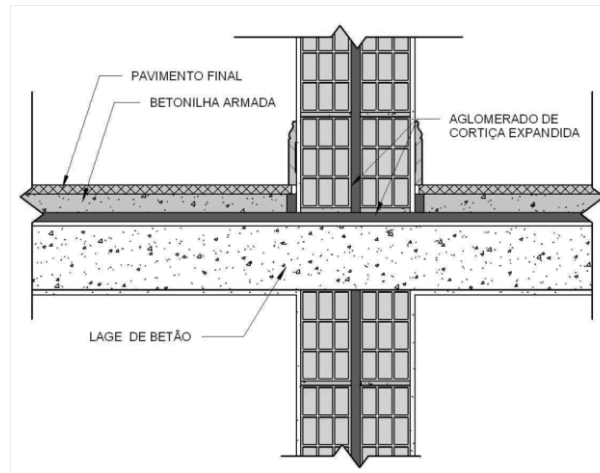


Figura 81 - Exemplo de aplicação de aglomerado de cortiça expandida (isocor - Aglomerados de cortiça, 2011)

Outra possível medida de correção, no caso de se ter pavimento com revestimento em soalho, seria o enchimento das caixas de soalho com re-granulado de cortiça.

Existem no mercado diversos materiais que permitem a correção acústica a sons de percussão, não podendo aqui serem apresentados todos eles. Para cada situação a resolver, deve-se optar pela melhor solução sendo por vezes necessário substituir os revestimentos existentes por revestimentos mais adequados, e em outras situações apenas adicionar um material resiliente adequado, permitindo que o revestimento existente tenha um melhor funcionamento em termos acústicos.

6. CONCLUSÃO

Na presente dissertação foram apresentados os resultados das medições acústicas *in situ*, realizadas no decorrer do estágio, a partir dos quais se puderam fazer algumas comparações qualitativas entre elementos constituintes das fachadas e soluções construtivas.

Analisando os resultados obtidos e comparando-os em termos de isolamento a sons aéreos em fachadas, pode-se concluir que uma fachada sem caixa de estores apresenta um melhor isolamento do que uma fachada com a mesma solução construtiva mas que não apresente caixa de estores.

Comparando agora o tipo de caixilharia, pode-se concluir que é preferível a aplicação de caixilharia em PVC ou em alumínio com corte térmico, à aplicação de caixilharia em alumínio, pois para um tipo de fachada semelhante, observam-se valores de isolamento superiores para aqueles tipos de caixilharia do que quando se está perante caixilharia de alumínio.

Quanto ao tipo de solução de fachada, existem quatro que se destacam (F1, F4, F5 e F6). É possível denotar a ação importante que a lã mineral tem como isolamento sonoro. Esta faz parte de duas das paredes com melhor comportamento (F5 e F4). Caso a parede F4, com apenas 23cm de espessura, não tivesse este elemento na sua constituição, provavelmente seria uma das piores soluções, não sendo isso que se observa. A fachada F6 tem um isolamento sonoro excelente, apresentando uma espessura de 45cm, tendo contribuído também para esse valor, a existência de bloco térmico que é um bom isolante acústico além de térmico. As fachadas F1, mais comuns, também são das que apresentaram melhor isolamento.

Em relação às soluções usadas nas paredes de separação entre edifícios geminados e às soluções usadas nas lajes, não se podem obter quaisquer conclusões, uma vez que essas soluções não são conhecidas. Podendo-se apenas concluir que o compartimento C10, em relação aos ruídos provenientes do edifício vizinho, encontra-se em desvantagem em relação aos compartimentos C1 e C2, quer em termos do isolamento à percussão, quer em termos de isolamento a sons aéreos entre compartimentos.

Todos os compartimentos ensaiados respeitaram os valores de isolamento regulamentados no artigo 5.º do Decreto-Lei n.º96/2008 (para edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras). Em relação ao índice de isolamento sonoro a sons de

condução aérea em fachadas, respeitou-se o limite mínimo de 33dB em todos os edifícios. Em relação ao índice de isolamento sonoro entre compartimentos de edifícios geminados, todos os edifícios respeitaram o limite mínimo de 50dB. Em relação ao índice de isolamento sonoro a sons de percussão entre edifícios geminados, respeitou-se também o limite máximo de 60dB.

Como tal, não foi necessário fazer recomendações para melhoria acústica aos responsáveis pelos edifícios ensaiados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Tadeu, A., Mateus, D., António, J., Godinho, L., and Mendes, P. (2007). *Acústica aplicada*.

Mattos, A. C. (2004). "A engenharia do som." <http://www.amattos.eng.br/Public/INSTRUMENTOS_MUSICAIS/Textos/Eng_Som/Engenharia_do_Som.htm>.

Audioacústica "Teoria Básica - III." <<http://www.audioacustica.hpg.ig.com.br/teoria3.htm>>.

Leão, A. (1994). "Acústica de edifícios. Recomendações técnico-práticas para a concepção de edifícios escolares e de habitação." Licenciatura em engenharia civil, Universidade do Porto, Porto.

Ambergo - Estudos e Equipamentos de Controlo Ambiental, L. (2010). "ambergo." <http://www.ambergo.pt/2009/index.php?option=com_content&task=view&id=268&Itemid=80>.

Caprotecsa (2006). "Caprotecsa: Audiologia - Salud - Higiene - Medio Ambiente." <http://www.caprotecsa.com/users/webmaster/catalogo/index.php?manufacturers_id=15>

Governo (2007). "RGR - Decreto-Lei 9/2007 de 17/01." *Diário da República*, 389 a 398.

Standardization, I. O. f. (1996). "ISO 717-1: Rating of sound insulations in buildings and buildings elements. ." *Part 1 - Airborne sound insolation.*, International Organization for Standardization, Suíça.

Standardization, I. O. f. (1996). "ISO 717-2: Rating of sound insulations in buildings and buildings elements. ." *Part 2 - Impact sound insulation.*, International Organization for Standardization, Suíça.

[Vermeir, G., Ingelaere, B., and Mees, P. (2003). *On the road to new Belgian prescription for sound insulation*.

Recchia, C. A. (2001). "Estudo de desempenho acústico dos elementos construtivos que compõem a fachada." Mestrado em Engenharia Civil Dissertação, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

Scherer, M. J. (2005). "Estudo do isolamento sonoro de vidros de diferentes tipos e espessuras, em vitragem simples e dupla." Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

Domusobras (2011). "Productos - Portas e janelas." <<http://www.domusobras.com/pg.php?m=3&pg=9>>.

Conrad, L. S. (2002). "Estudo comparativo entre diversos revestimentos para pisos quanto ao isolamento de ruído de impacto." Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

Pedroso, M. A. T. (2007). "Estudo comparativo entre modernas composições de pisos flutuantes quanto ao desempenho no isolamento ao ruído de impacto." Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

Carvalho, M. L. U. (2008). "Estudo comparativo do isolamento do ruído de impacto do resíduo de pneus em edificações." *Encontro da sociedade brasileira de acústica*, 22Belo Horizonte.

Patrício, J. V. (2010). *Acústica nos Edifícios*, Lisboa.

Sousa, A. V. S. e., Freitas, V. P. d., and Silva, J. A. R. M. d. (2003). *Manual de aplicação de revestimentos cerâmicos*, Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica, Coimbra.

Leão, A. J. d. A. (2011). "Acústica e isolamento sonoro de edifícios." <<http://www.engenhariacivil.com/acustica-isolamento-sonoro-edificios>>.

Mateus, D. (2009). "Desempenho Acústico de Edifícios." *Requisitos Acústicos nos Edifícios*, D. Mateus, ed., Construção Magazine, Lisboa, 20.

isocor - Aglomerados de cortiça, A. C. E. (2011). "Produtos." <<http://www.isocor.pt/por/produtos.htm>>.

ANEXOS

Anexo A – Exemplo de verificação acústica utilizando a folha de cálculo elaborada

Ao iniciar o programa, surge uma caixa de diálogo (ver Figura 82) onde é questionado ao utilizador se pretende ou não guardar o livro de Excel com outro nome. Esta caixa foi criada de modo a que os dados introduzidos não sejam guardados no livro original, evitando assim erros numa próxima utilização futura. Assim, é recomendado guardar com um nome diferente do original, logo na abertura do livro.

Como tal, clicou-se no botão “Sim (Recomendado)”, surgindo de seguida a caixa de diálogo que permite alterar o nome do ficheiro e guardá-lo (ver Figura 83).

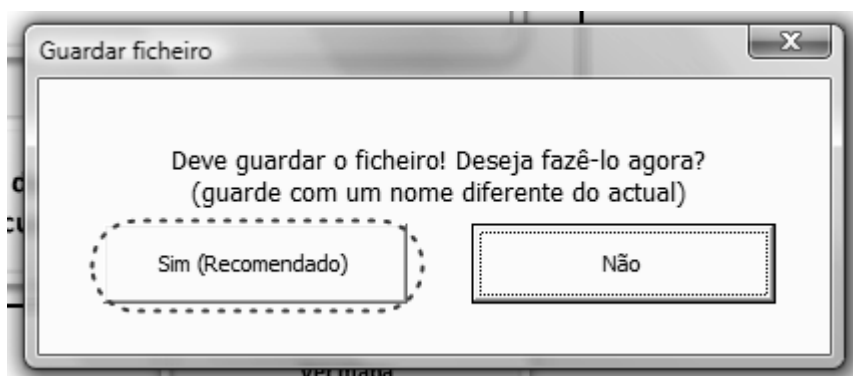


Figura 82 - Caixa de diálogo inicial, que surge na abertura do livro de cálculo do Excel

Na nova caixa de diálogo deve-se então introduzir o novo nome do livro que, neste exemplo foi “exemplo teste”, e clicar em “Guardar”. Assim, já foi criado o novo livro com as mesmas configurações do livro original, no qual se irá trabalhar a partir de agora.

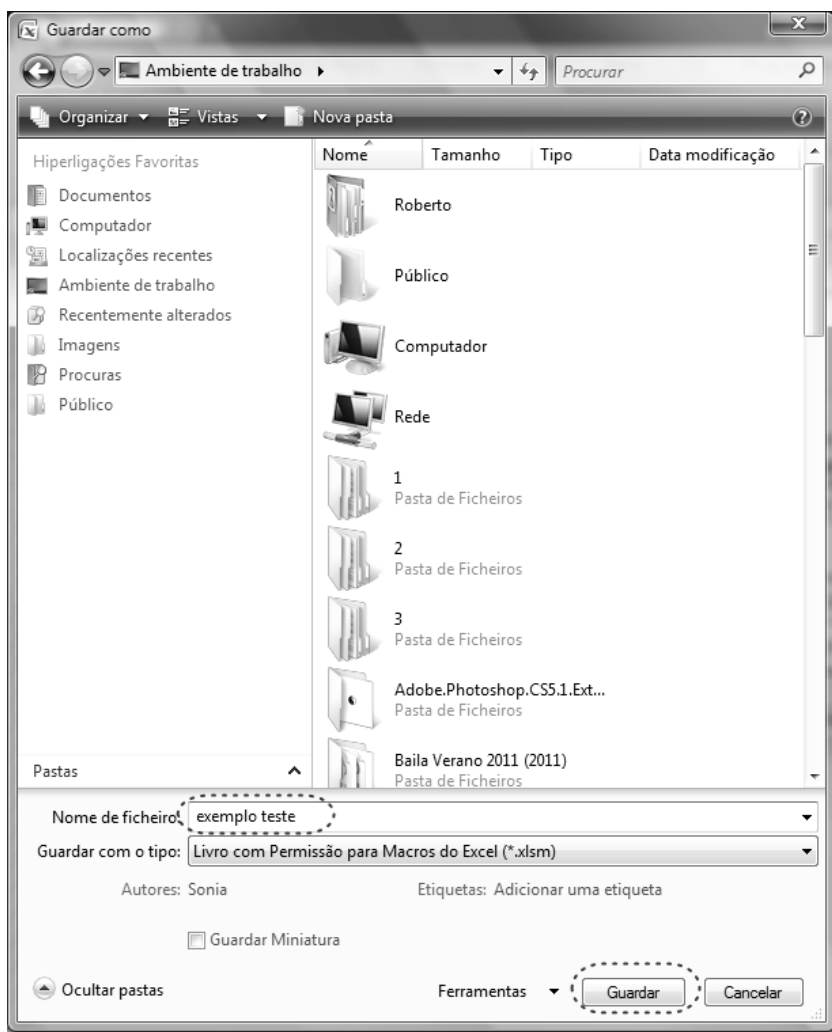


Figura 83 - Caixa de diálogo que permite introduzir o nome do novo livro e guardá-lo

Ao clicar em “Guardar” a caixa de diálogo é omitida e fica-se perante o menu inicial do livro (ver Figura 84). Este é constituído por dois botões que dão acesso a novos submenus que permitirão introduzir dados e visualizar resultados. O primeiro botão “Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado em fachadas” dá acesso ao submenu relativo ao cálculo do isolamento em fachadas, e o segundo botão “Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado e a sons de percussão padronizado entre compartimentos” dá acesso ao submenu relativo ao cálculo do isolamento sonoro entre compartimentos.

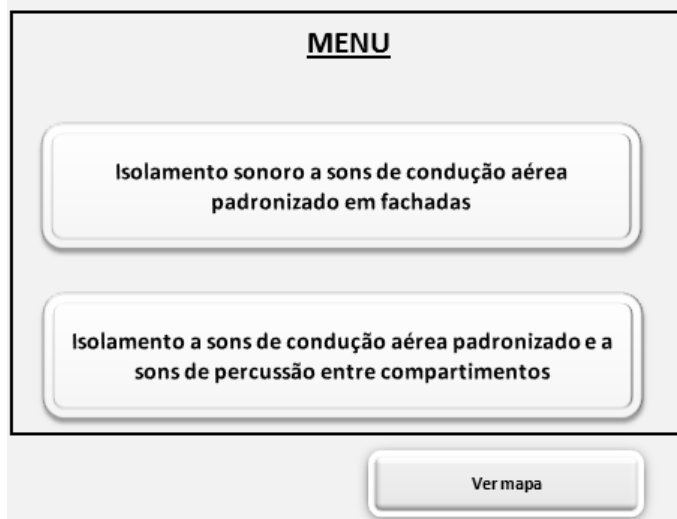


Figura 84 - Menu inicial do livro de cálculo Excel

Neste exemplo pretende-se avaliar o isolamento sonoro de uma fachada de uma sala com volume de $314,33\text{m}^3$, área de fachada de $38,7\text{m}^2$ e área de envidraçado inferior a 60% da área da fachada. Como tal, clica-se no botão “Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado em fachadas”, abrindo-se o submenu referente às fachadas (ver Figura 85).

Os botões encontram-se pela ordem adequada para o cálculo. Assim, o primeiro botão a clicar é “Introduzir dados da emissão”, o qual dá acesso a uma folha de cálculo que permite introduzir dados e visualizar os resultados, designada por “emissão_fachadas” (ver Figura 86).

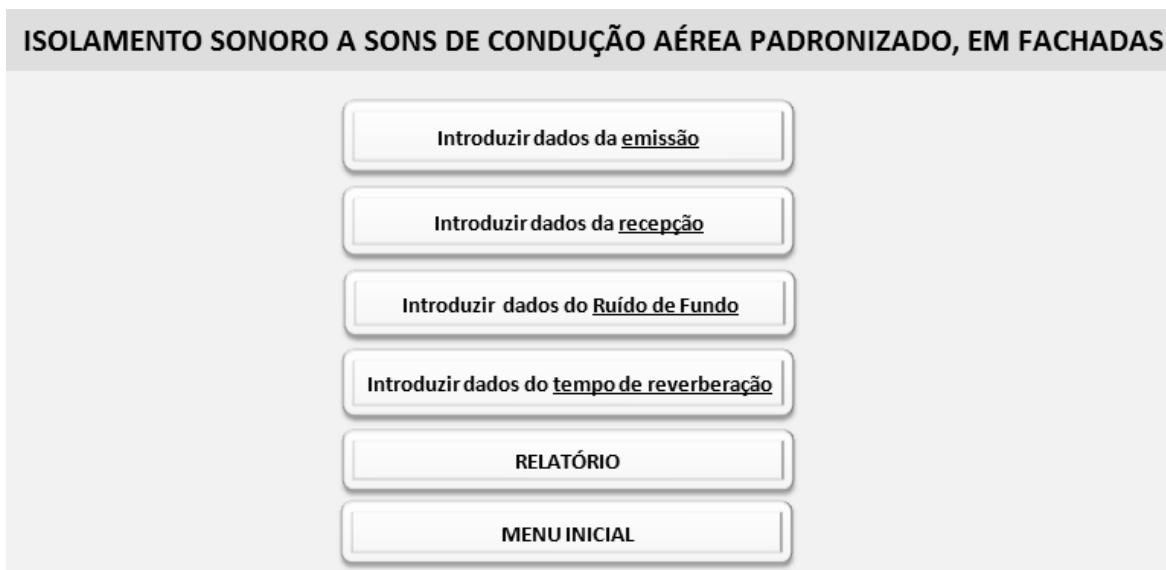


Figura 85 - Submenu para determinação do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado em fachadas

Então, deve-se introduzir o número de medições realizadas na emissão e depois clicar no botão "Introduzir Dados", como indicado na Figura 86.

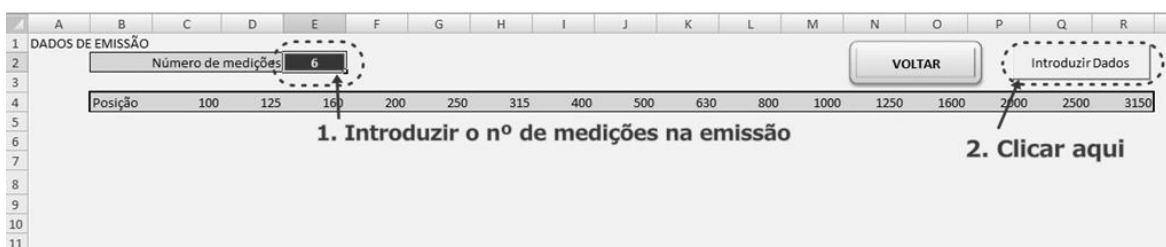


Figura 86 - Folha para introdução de dados e visualização de resultados

Após clicar em "Introduzir Dados", são criadas novas folhas novas com a designação de EFacth.i, em que i varia de 1 até ao nº total de medições indicado na célula "E2" da folha da Figura 86, sendo criadas tantas folhas quanto o nº de medições (ver Figura 87).

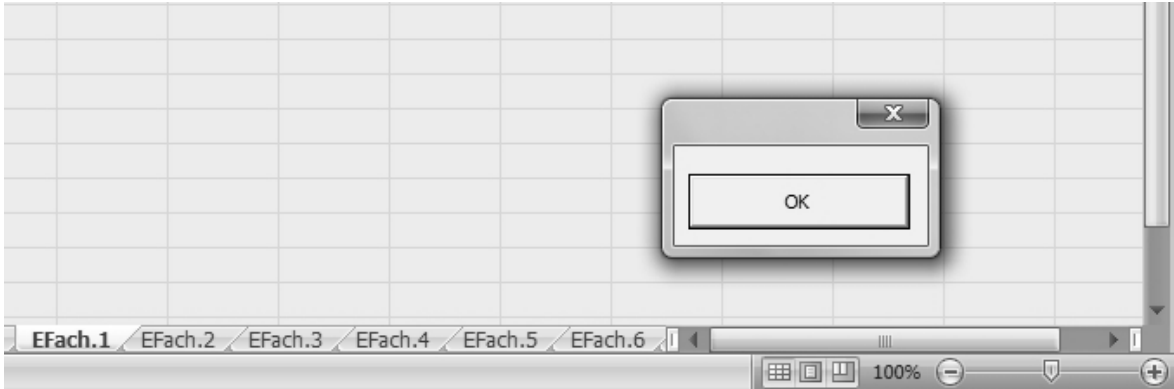


Figura 87 - Folhas criadas para colar dados recolhidos da emissão

Uma vez criadas as folhas, é necessário agora abrir os ficheiros com extensão “.ccf”, utilizando o software Capture Studio da CESVA (ver Figuras 88 e 89).

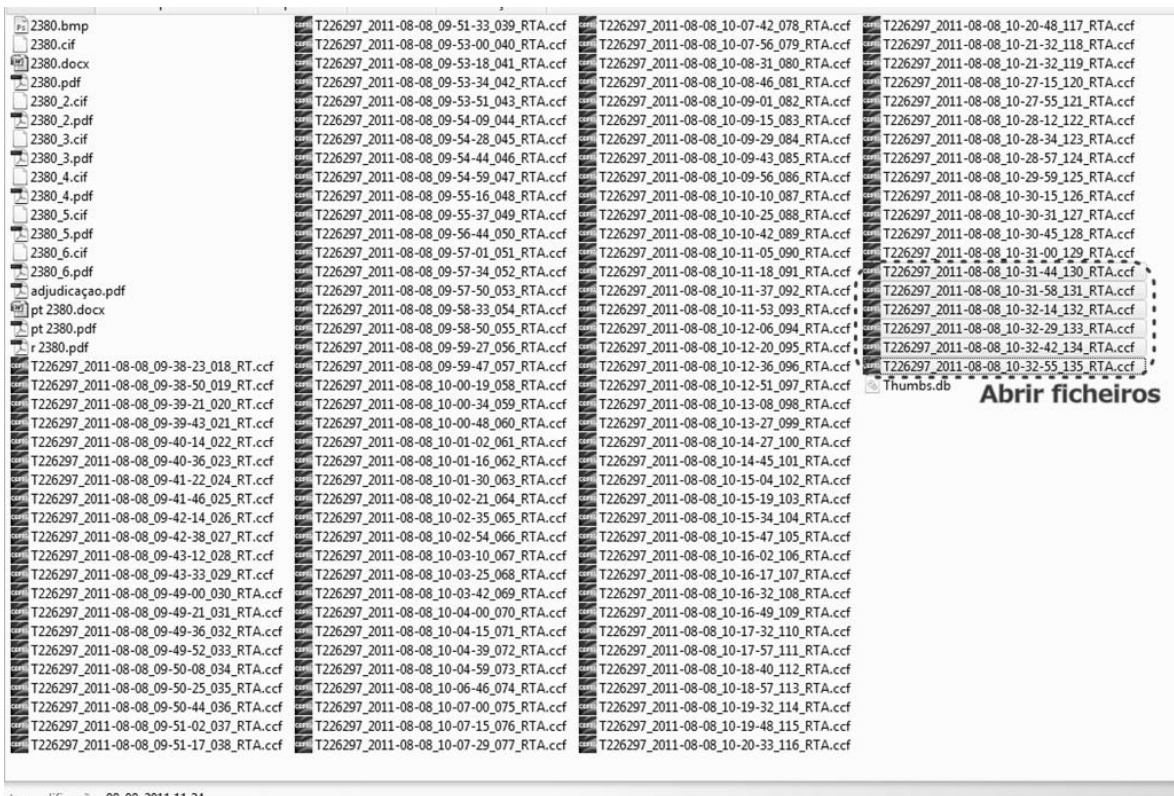


Figura 88 - Ficheiros com dados da emissão, a abrir com o software Capture Studio da CESVA

Estágio CERTIFER – medições acústicas e tratamento de dados

Uma vez abertos os ficheiros, os dados deverão ser copiados, ficheiro a ficheiro, para a respetiva folha do Excel, tal como ilustrado na Figura 89.

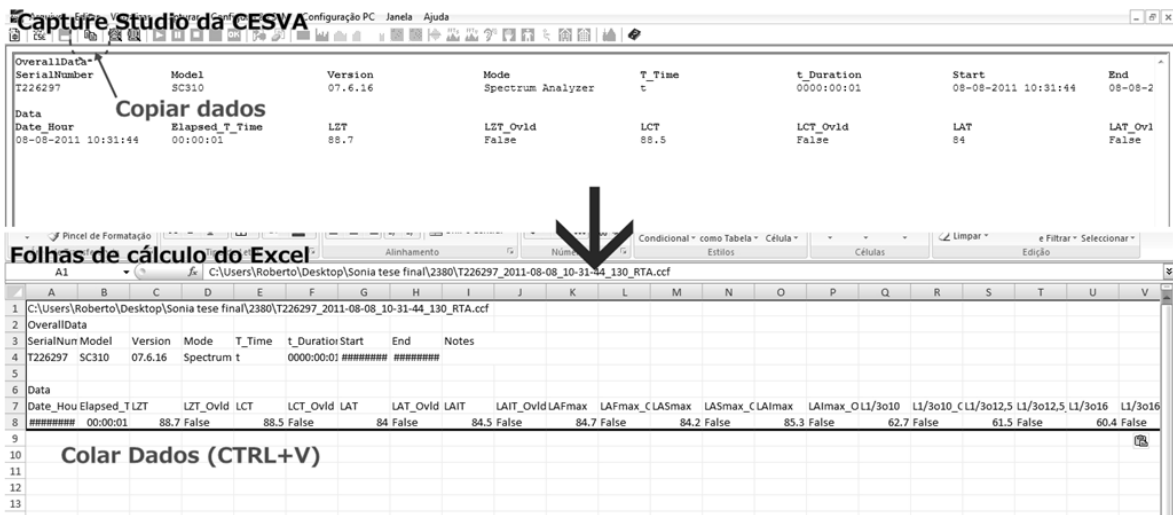


Figura 89 - Procedimento para copiar dados do software Capture Studio da CESVA para as folhas de cálculo do Excel

Assim, por exemplo, por consulta da folha de registo de ensaios sabe-se que os ficheiros referentes à emissão têm os números 130, 131, 132, 133, 134 e 135. Na Tabela 17 apresenta-se a relação entre o número do registo e a folha onde os dados respetivos devem ser colados.

Tabela 17 - Relacionamento entre o nº do registo do ensaio e as folhas para as quais devem ser colados os dados

Nº do registo do ensaio da emissão	Nome da folha de Excel para onde devem ser colados os dados
130	EFach.1
131	EFach.2
132	EFach.3
133	EFach.4
134	EFach.5
135	EFach.6

Depois de copiados todos os dados para as folhas respetivas, clica-se em “OK”, como assinalado na Figura 90.



Figura 90 - Procedimento a realizar após todos os dados dos ensaios de emissão copiados

O botão “OK” está definido para realizar o cálculo das médias e desvios padrão dos dados dos ensaios na emissão. Após o clique neste botão, a caixa de diálogo é omitida e é apresentada a folha “emissão_fachadas”, onde se encontram os valores de emissão obtidos para cada ensaio e para cada frequência, bem como os valores das médias e dos desvios padrão ao longo da faixa de frequências (ver Figura 91).

The image shows a spreadsheet window with a table of emission data. The table has columns for 'Posição' (1-6) and frequencies (100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150). The last two rows show 'Média' and 'D.Padrão' for each frequency. A dialog box is overlaid on the table, containing a 'VOLTAR' button and an 'Introduzir Dados' button. The 'VOLTAR' button is highlighted with a dashed box.

Posição	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
1	67.8	76.4	79.8	81.1	79.5	79.6	78.6	79.1	75.6	68.3	67.2	69.5	72.3	70.4	68.1	69.7
2	67.7	77.2	80.1	82.3	77.8	78	80.5	78.9	74.5	68.8	67	68.9	72.4	70.4	68	69.7
3	67.7	76.9	80	82.5	77.6	78	80.6	79.2	74	68.9	66.8	68.9	71.9	70.3	67.9	69.8
4	67.6	77.8	80.7	83	78.1	78.2	80.7	78.9	74	68.9	66.8	69.4	71.8	70.1	68.3	70
5	67.6	76.6	80.2	82.2	78.1	77.9	80.6	79.2	74.5	69.1	66.5	69	72.2	70.2	68.1	69.9
6	67.9	77	80.2	82.4	77.4	77.4	80.2	79.6	74.3	68.3	66.2	69	72	70.1	68.3	70
Média	67.72	77.01	80.18	82.29	78.14	78.24	80.26	79.16	74.52	68.73	66.76	69.12	72.11	70.25	68.12	69.85
D.Padrão	0.12	0.49	0.30	0.63	0.75	0.74	0.80	0.26	0.59	0.34	0.36	0.26	0.24	0.14	0.16	0.14

Figura 91 - Valores dos dados de emissão, médias e desvios padrão ao longo da faixa de frequências

Está então concluída a introdução dos dados de emissão. O próximo passo é clicar no botão “Voltar” que dá acesso ao submenu relativo às fachadas, e introduzir os dados da receção, clicando agora no botão “Introduzir dados da receção”. O processo de introdução dos dados é exatamente o mesmo que para a introdução dos dados da

emissão, pelo que não se apresentará novamente aqui. Como tal, apresentam-se apenas os resultados obtidos na folha “recepção_fachadas” (ver Figura 92).

DADOS DE RECEPÇÃO																	
Número de medições		10															
Posição		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
1	38.4	47.5	54.2	54.2	49.5	44.5	41.4	39	35.1	31.4	26.4	24.8	27.1	21.3	20.5	21.5	
2	36.1	42.4	54.5	52.6	47.8	44.4	39.7	38.3	36	30	26.4	26.9	28.2	22.3	21	21.3	
3	36	45.8	52.5	50.5	50.8	43.8	40.1	40.4	36.8	30.9	27	26.9	29.4	23.2	21.4	21.4	
4	41.3	47.7	55.1	53.4	50.4	43.9	40.9	39.8	37.6	33.3	27.7	26	28	23.3	21.6	22.8	
5	40.7	50.7	61.4	55.3	50.7	46.6	44.6	42.5	38.5	35.3	35.3	36	34.5	31.2	29	28.3	
6	52.6	53.8	57.9	54.7	54.1	55.7	50.4	47.8	46.4	46.4	50.7	49.8	47.2	43.9	42.2	41.5	
7	39.6	46.1	52.6	52.4	48.1	43.4	41.1	39.9	37.7	31.9	31.5	33.1	33.1	26.7	24.8	24.3	
8	35.2	49.5	56.1	53.2	47.6	44.1	42.5	40.1	37.3	32.3	31.5	30.1	32.1	26	24.5	25	
9	37.7	46.1	49.7	48.8	48.3	45.3	44.1	41.9	39.2	33.2	31.1	29.6	30.5	27.9	24.1	24.3	
10	32	44.8	49.2	52	50.1	42.9	40.9	39.9	36.7	31.9	31	29.8	33.1	25.8	24.4	24.2	
Média	43.84	48.63	55.81	53.07	50.19	47.94	44.03	42.00	39.67	37.76	41.08	40.26	38.12	34.54	32.79	32.18	
D.Padrão	5.54	3.23	3.66	1.95	1.97	3.74	3.18	2.70	3.13	4.71	7.22	7.33	5.79	6.57	6.44	6.02	

Figura 92 - Valores dos dados de recepção, médias e desvios padrão ao longo da faixa de frequências

Uma vez introduzidos os dados da recepção, o passo seguinte é a introdução dos dados do ruído de fundo, clicando no botão “Introduzir dados do Ruído de Fundo” do submenu relativo às fachadas. Mais uma vez, o processo é o mesmo que para os casos da emissão e da recepção. Os resultados obtidos na folha “RF_fachadas” podem ser observados na Figura 93.

RUÍDO DE FUNDO																	
Número de medições		1															
Posição		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
1	31.9	31.1	28	28.7	27.9	24.2	23.2	22	22.4	22.1	21.9	22.7	22.7	24	23.6	23.9	
Média	31.90	31.10	28.00	28.70	27.90	24.20	23.20	22.00	22.40	22.10	21.90	22.70	22.70	24.00	23.60	23.90	
D.Padrão	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 93 - Valores dos dados do ruído de fundo, médias e desvios padrão ao longo da faixa de frequências

Finalmente, introduzem-se os dados do tempo de reverberação, também do mesmo modo que se introduziram os restantes dados. Na Figura 94 apresentam-se os dados e valores das médias obtidos na folha de cálculo “TR_fachadas”.

TEMPO DE REVERBERAÇÃO																		
		Número medições										12		Voltar		Adicionar dados		
	Posição	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	
5	T30	1	1.11	0.72	0.98	0.85	0.82	0.97	1.01	1.35	1.07	1.07	1.15	1.36	1.42	1.34	1.29	1.34
6	T30	2	1.02	0.92	1.14	1.1	0.89	1.38	1.07	1.04	1.19	1.06	1.24	1.29	1.34	1.34	1.28	1.24
7	T30	3	1.15	1.1	0.97	0.8	0.94	0.8	0.96	0.85	1.14	1.05	1.2	1.21	1.28	1.3	1.25	1.25
8	T30	4	0.86	1.12	0.78	0.79	0.77	0.92	1.09	1.01	1.11	1.19	1.13	1.27	1.23	1.36	1.36	1.26
9	T30	5	1.39	1.23	0.92	1.6	1.18	1.22	0.91	1.07	0.89	1.2	1.2	1.37	1.5	1.41	1.4	1.25
10	T30	6	1.24	1.16	0.99	1.19	0.98	1.12	0.91	1.05	0.94	1.2	1.21	1.27	1.27	1.34	1.27	1.28
11	T30	7	1.65	1.44	1.39	0.89	1.16	1.26	1	0.92	1.03	1.16	1.18	1.26	1.34	1.26	1.27	1.3
12	T30	8	1.49	1.43	1.57	1.39	0.87	1.17	0.73	1.05	0.96	1.16	1.23	1.25	1.2	1.28	1.21	1.24
13	T30	9	0.9	0.81	0.83	1.04	1.13	0.84	0.99	0.98	1.06	1.2	1.24	1.26	1.32	1.31	1.29	1.19
14	T30	10	0.94	0.87	1	1.6	1.45	0.93	0.93	1	0.98	1.19	1.26	1.22	1.28	1.25	1.33	1.36
15	T30	11	1.02	1.42	1.03	1.05	1.28	0.96	1.03	1.07	1.05	1.03	1.17	1.24	1.31	1.3	1.29	1.26
16	T30	12	1.22	1.49	0.92	0.76	1.11	0.96	0.96	1.03	1.15	1.22	1.1	1.21	1.24	1.25	1.33	1.29
17		Média	1.17	1.14	1.04	1.09	1.05	1.04	0.97	1.04	1.05	1.14	1.19	1.27	1.31	1.31	1.30	1.27

Figura 94 - Valores dos dados do tempo de reverberação e médias ao longo da faixa de frequências

Estão então introduzidos todos os dados necessários para o cálculo do isolamento na fachada em estudo. Voltando então ao submenu relativo às fachadas, seleciona-se agora o botão “RELATÓRIO”, surgindo uma caixa de diálogo onde é necessário introduzir a área da fachada, o volume do compartimento, a área de envidraçado e o tempo de reverberação padrão, que neste caso vale 1 segundo pois trata-se de um edifício escolar (ver Figura 95).

Características do compartimento

Área fachada [m2] 38.7

Volume compartimento [m3] 314.33

Área envidraçado [m2] 3

Tempo reverberação padrão, T0 [s] 1

OK!

Figura 95 - Caixa de diálogo para introdução das características do compartimento e fachada em análise

Depois de introduzidos todos os parâmetros, clica-se no botão “OK!”, sendo apresentado de seguida outra caixa de diálogo onde deverá ser introduzido um valor para a curva de referência inicial (ver Figura 96), que neste caso se arbitrou como sendo de 33 dB.

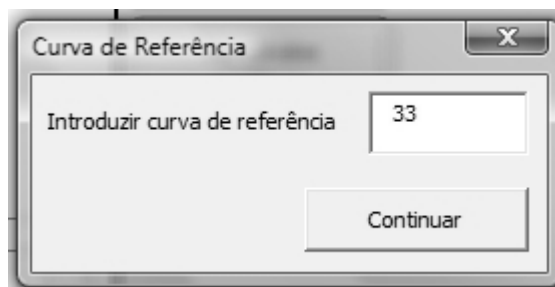


Figura 96 - Caixa de diálogo para introdução do valor inicial da curva de referência

Ao clicar no botão “Continuar”, são efetuados todos os cálculos para obtenção do isolamento sonoro da fachada e é apresentada a página do relatório (ver Figura 97). Para se obterem os resultados corretos, deve-se aumentar ou diminuir o valor da curva de referência na célula “C15” assinalada na figura 97, até que seja verificada a condição assinalada na mesma figura com “Deve-se verificar”. Neste exemplo, para se obter um valor inferior a 32, teve-se que “descer” a curva de referência de 33dB (inicialmente introduzidos) para 15dB.

Nesta página são apresentados os valores do isolamento ao longo da faixa de frequências e a respectiva curva, sendo também apresentado o valor único de isolamento sonoro (ver Figura 98).

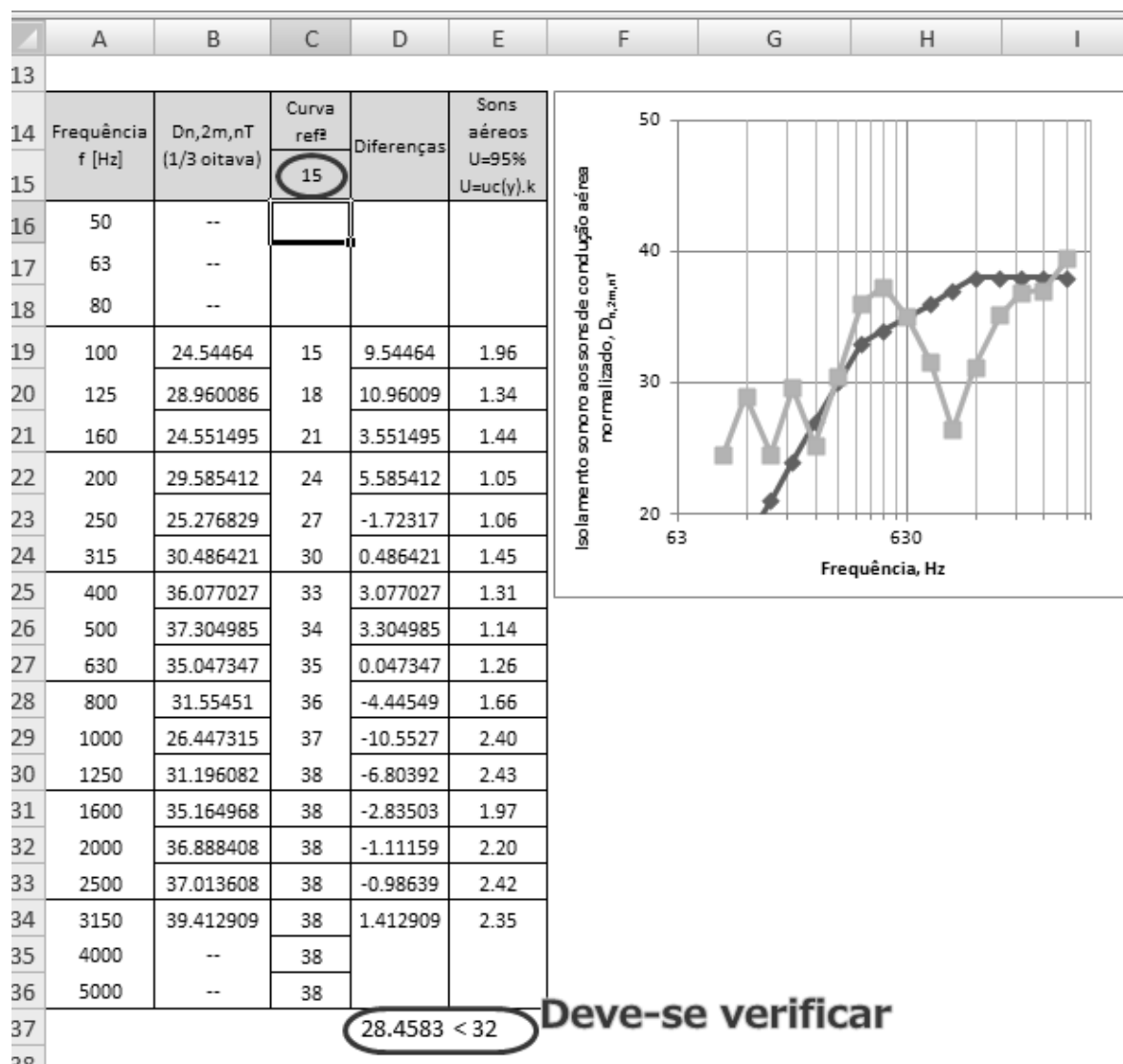


Figura 97 - Valores do isolamento sonoro aos sons de condução aérea padronizado em fachadas ao longo da faixa de frequências, e da curva respectiva

39					
40	Avaliação de acordo com a ISO 717-1				
41					
42	$D_{2m,n,w}$	34	[dB]		
43	$D_{2m,n,w} + I$	37	[dB]		
44	C_{tr}	0			
45	$D_{2m,n,w} + I + C_{tr}$	37	[dB]		
46					

	T_0	1
	Área fachada [m ²]	38.70
	Área Translúcida [m ²]	3
	% envidraçado	7.75

Figura 98 - Valor único do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado ponderado obtido para a fachada em análise

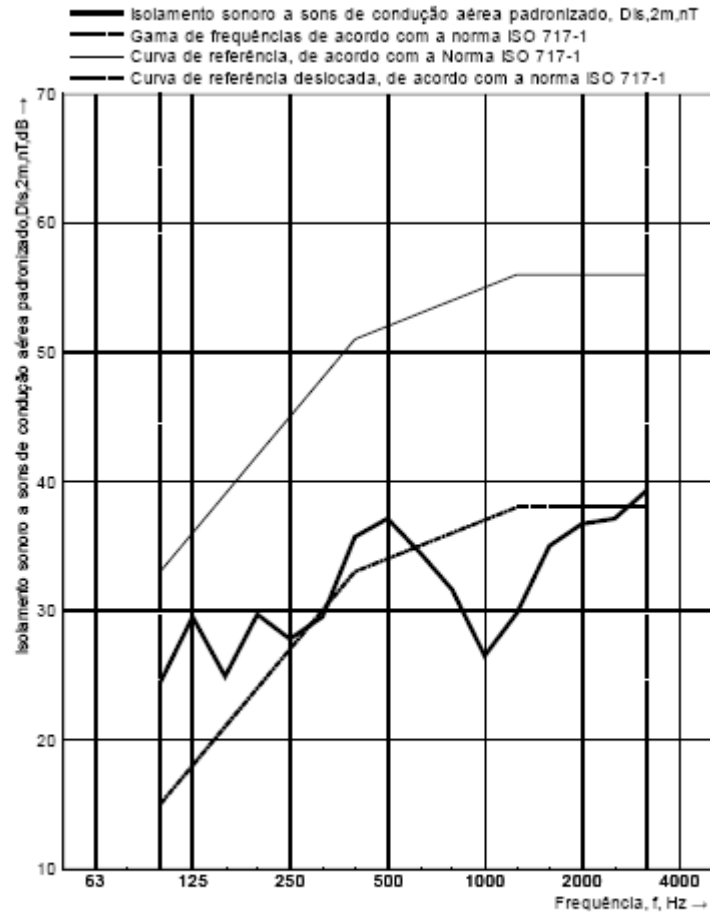
Na Figura 99 apresentam-se os resultados obtidos com o software de cálculo “Insulation Studio” da CESVA, podendo-se concluir que existem ligeiras diferenças nos valores de $D_{2m,nT}$ talvez devido à consideração das casas decimais nos cálculos em Excel. Quanto ao valor único de isolamento, obteve-se o mesmo em ambos os casos.

Área da amostra : 38,70 m²

To: 1,00 s

Volume do compartimento receptor : 314,33 m³

Frequência f Hz	$D_{ls,2m,nT}$ (1/3 de oitava) dB
50	--
63	--
80	--
100	24,4
125	29,5
160	24,9
200	29,7
250	27,8
315	29,5
400	35,7
500	37,1
630	34,5
800	31,6
1000	26,5
1250	29,8
1600	35,0
2000	36,7
2500	37,1
3150	39,3
4000	--
5000	--



Avaliação de acordo com a Norma ISO 717-1

$D_{ls,2m,nT,w(C;Ctr)} = 34 (-2 ; -4) \text{ dB}$; $D_{ls,2m,nT,w(C;Ctr) + l} = 34 (-2 ; -4) + 3 = 37 (-2 ; -4) \text{ dB}$;

Avaliação baseada em resultados medidos
in situ, obtidos por meio de um método de
engenharia (1/3 de oitava)

Figura 99 - Resultados obtidos com o software "Insulation Studio" da CESVA

Na página do relatório, é também possível consultar a tabela onde foram realizados os cálculos das incertezas, a tabela onde foram realizados os cálculos para se obter o valor de Ctr e as tabelas onde se realizaram os cálculos auxiliares, clicando nos respetivos botões (ver Figura 100).

Estágio CERTIFER – medições acústicas e tratamento de dados

2 Cliente _____ Data do ensaio _____

3

4 Descrição e identificação dos elementos de construção e da configuração do ensaio:

5

6

7

8

9

10

11 Área da fachada: 38.7 [m²]

12 Volume do compartimento: 314.33 [m³]

VOLTAR

VER CALCULO INCERTEZAS

VER CALCULO C_{tr}

Ver cálculos auxiliares

Figura 100 - Botões que permitem o acesso às folhas de cálculo das incertezas, de C_{tr} e de cálculos auxiliares

Ao clicar no botão “VER CÁLCULO INCERTEZAS”, tem-se acesso à folha “Incertezas_fachada” que se apresenta na Figura 101.

VOLTAR

Frequência f [Hz]	LR		LE		TR		RF		u(x)				Coeficiente de sensibilidade				u(son)	u(arred)	u _{2m,nr,f}	D _{2m,nr,f}	
	Média	Desv. Padrão	Média	Desv. Padrão	Média	Desv. Padrão	Média	Desv. Padrão	Recepção	Emissão	TR	RF	LR	LE	TR	RF					
7	100	43.84	5.5416003	67.718	0.1169045	1.1658	0.15973264	31.9	0	1.752408	0.0477261	0.14	0	1.068	1	3.723	-0.068	0.7	0.03	1.955571	25.04411
8	125	48.625	3.2325429	77.007	0.491596	1.1425	0.14143228	31.1	0	1.02222	0.2006932	0.12	0	1.018	1	3.799	-0.018	0.7	0.03	1.340613	29.52402
9	160	55.808	3.6605403	80.176	0.3011091	1.0433	0.11946123	28	0	1.157564	0.1229273	0.11	0	1.002	1	4.16	-0.002	0.7	0.03	1.439728	25.4106
10	200	53.069	1.9547378	82.286	0.6284903	1.0883	0.10912931	28.7	0	0.618142	0.2565801	0.10	0	1.004	1	3.988	-0.004	0.7	0.03	1.048199	30.30613
11	250	50.195	1.9659321	78.14	0.7467708	1.0483	0.09579771	27.9	0	0.621682	0.3048679	0.09	0	1.006	1	4.14	-0.006	0.7	0.03	1.055202	26.12017
12	315	47.941	3.7426075	78.24	0.7440878	1.0442	0.08517361	24.2	0	1.183516	0.3037726	0.08	0	1.004	1	4.156	-0.004	0.7	0.03	1.448737	31.34289
13	400	44.028	3.1836562	80.256	0.8024961	0.9658	0.07269366	23.2	0	1.00676	0.3276177	0.08	0	1.008	1	4.494	-0.008	0.7	0.03	1.313843	37.19384
14	500	42.001	2.6998765	79.157	0.2588436	1.035	0.06730706	22	0	0.853776	0.1056724	0.07	0	1.01	1	4.193	-0.01	0.7	0.03	1.142524	38.19058
15	630	39.673	3.1333511	74.519	0.5913262	1.0475	0.06032289	22.4	0	0.990853	0.2414079	0.06	0	1.019	1	4.143	-0.019	0.7	0.03	1.260117	35.89331
16	800	37.758	4.7081962	68.727	0.3371449	1.1442	0.05594678	22.1	0	1.488862	0.1376388	0.05	0	1.028	1	3.793	-0.028	0.7	0.03	1.661613	32.11378
17	1000	41.079	7.2180638	66.762	0.3563706	1.1925	0.05108632	21.9	0	2.282552	0.1454877	0.04	0	1.012	1	3.639	-0.012	0.7	0.03	2.397169	26.87523
18	1250	40.257	7.3274219	69.123	0.2639444	1.2675	0.04710797	22.7	0	2.317134	0.1077549	0.04	0	1.018	1	3.424	-0.018	0.7	0.03	2.426482	31.4341
19	1600	38.116	5.7942117	72.105	0.2366432	1.3108	0.04234374	22.7	0	1.832291	0.0966092	0.03	0	1.03	1	3.311	-0.03	0.7	0.03	1.966967	35.30033
20	2000	34.542	6.5747328	70.252	0.1378405	1.3117	0.03788543	24	0	2.079113	0.0562731	0.03	0	1.097	1	3.309	-0.097	0.7	0.03	2.196796	37.02184
21	2500	32.794	6.4363982	68.119	0.1602082	1.2975	0.03370227	23.6	0	2.035368	0.0654047	0.03	0	1.137	1	3.345	-0.137	0.7	0.03	2.420161	37.18003
22	3150	32.181	6.0220336	69.852	0.1378405	1.2717	0.02972397	23.9	0	1.904334	0.0562731	0.02	0	1.174	1	3.413	-0.174	0.7	0.03	2.345802	39.64084

Figura 101 - Apresentação da folha "Incertezas_fachada"

O botão “VER CÁLCULO C_{tr}” dá acesso à folha “Ctr_fachadas” que se apresenta na Figura 102.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	<u>Cálculo do valor de Ctr</u>										
2											
3	Frequências	$D_{n,2m,nT}$	Spectrum nº2 (ISO 717-1)			Ctr	-4	<input type="button" value="VOLTAR"/>			
4	[Hz]	[dB]	[dB]		dB x 10 ⁻⁵						
5	100	24.54464	-20	-44.5446	3.5118505	Ctr _f	0				
6	125	28.96009	-20	-48.9601	1.2705491						
7	160	24.5515	-18	-42.5515	5.5571293						
8	200	29.58541	-16	-45.5854	2.763496						
9	250	25.27683	-15	-40.2768	9.3824674						
10	315	30.48642	-14	-44.4864	3.5592453						
11	400	36.07703	-13	-49.077	1.2367938						
12	500	37.30499	-12	-49.305	1.1735497						
13	630	35.04735	-11	-46.0473	2.4846505						
14	800	31.55451	-9	-40.5545	8.801345						
15	1000	26.44732	-8	-34.4473	35.91439						
16	1250	31.19608	-9	-40.1961	9.5585447						
17	1600	35.16497	-10	-45.165	3.0444106						
18	2000	36.88841	-11	-47.8884	1.6261449						
19	2500	37.01361	-13	-50.0136	0.9968715						
20	3150	39.41291	-15	-54.4129	0.3620004						
21	Σ					91.243439					
22											
23						30.397984					
24						$X_{A\bar{j}}$	30				
25							-4				
26											

Figura 102 - Apresentação da folha "Ctr_fachadas"

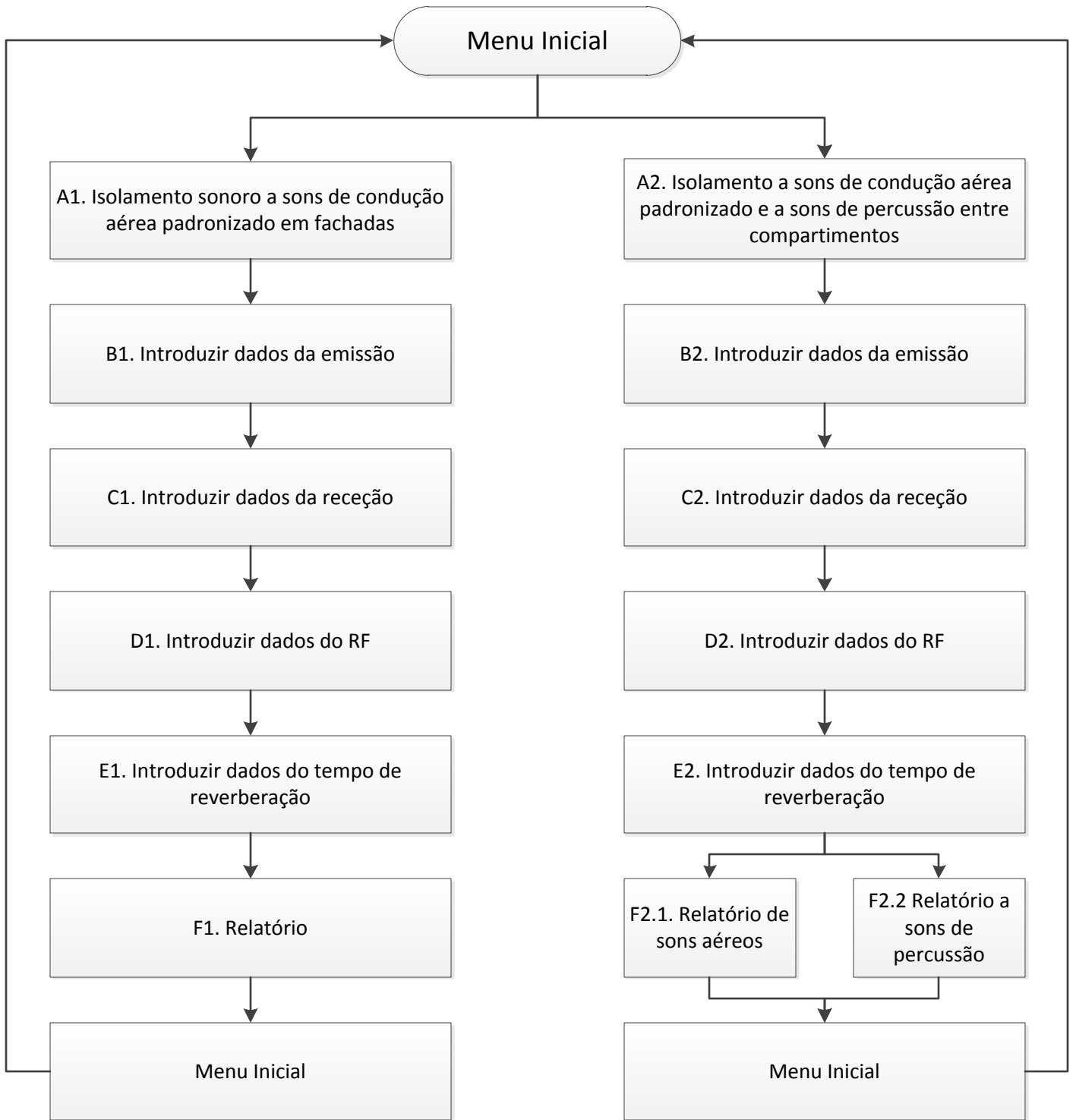
Ao clicar no botão “Ver cálculos auxiliares”, é apresentada a folha “CA_fachadas” onde são apresentadas as tabelas que se apresentam na Figura 103.

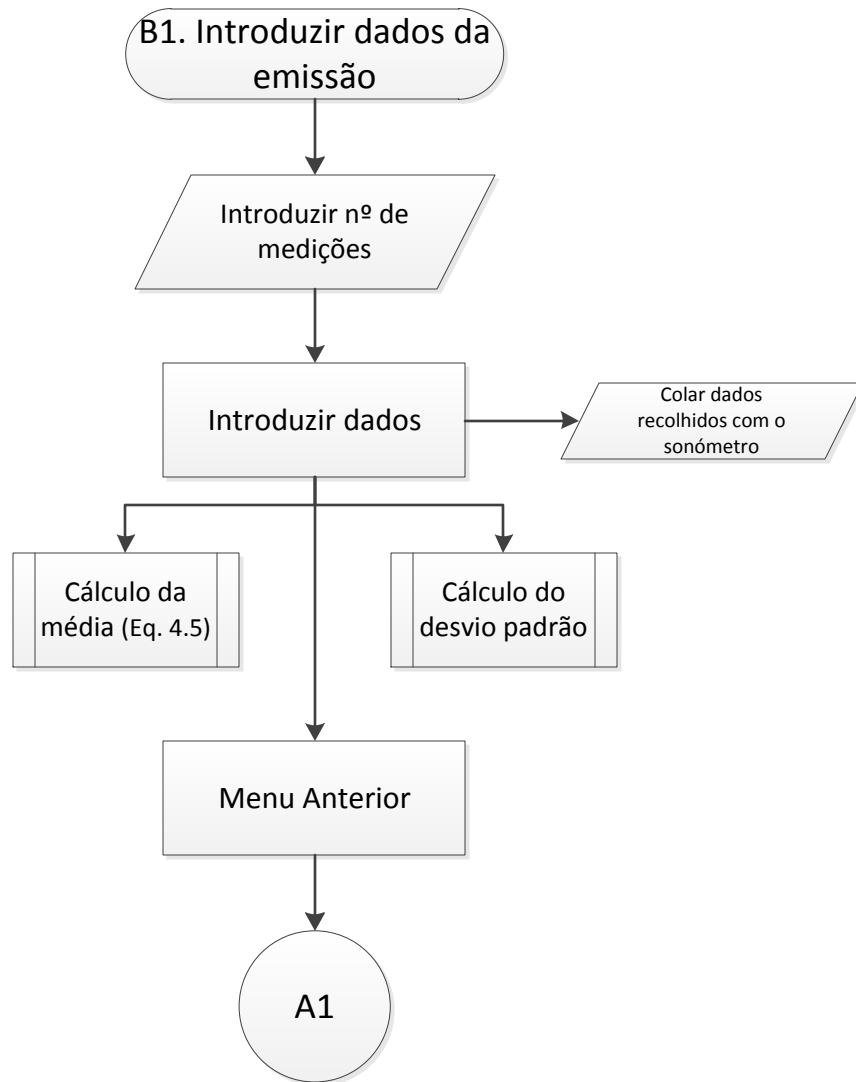
1 Comparação dos dados da recepção com o ruído de fundo da recepção		3 D_n (isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado - DL96/2008, artº 2.º)																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frequências [Hz]</th> <th></th> </tr> </thead> <tr><td>100</td><td>11.94</td></tr> <tr><td>125</td><td>17.53</td></tr> <tr><td>160</td><td>27.81</td></tr> <tr><td>200</td><td>24.37</td></tr> <tr><td>250</td><td>22.29</td></tr> <tr><td>315</td><td>23.74</td></tr> <tr><td>400</td><td>20.83</td></tr> <tr><td>500</td><td>20.00</td></tr> <tr><td>630</td><td>17.27</td></tr> <tr><td>800</td><td>15.66</td></tr> <tr><td>1000</td><td>19.18</td></tr> <tr><td>1250</td><td>17.56</td></tr> <tr><td>1600</td><td>15.42</td></tr> <tr><td>2000</td><td>10.54</td></tr> <tr><td>2500</td><td>9.19</td></tr> <tr><td>3150</td><td>8.28</td></tr> </table>	Frequências [Hz]		100	11.94	125	17.53	160	27.81	200	24.37	250	22.29	315	23.74	400	20.83	500	20.00	630	17.27	800	15.66	1000	19.18	1250	17.56	1600	15.42	2000	10.54	2500	9.19	3150	8.28	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frequências [Hz]</th> <th>D_{nT} [dB]</th> </tr> </thead> <tr><td>100</td><td>24.54464</td></tr> <tr><td>125</td><td>28.96009</td></tr> <tr><td>160</td><td>24.5515</td></tr> <tr><td>200</td><td>29.58541</td></tr> <tr><td>250</td><td>25.27683</td></tr> <tr><td>315</td><td>30.48642</td></tr> <tr><td>400</td><td>36.07703</td></tr> <tr><td>500</td><td>37.30499</td></tr> <tr><td>630</td><td>35.04735</td></tr> <tr><td>800</td><td>31.55451</td></tr> <tr><td>1000</td><td>26.44732</td></tr> <tr><td>1250</td><td>31.19608</td></tr> <tr><td>1600</td><td>35.16497</td></tr> <tr><td>2000</td><td>36.88841</td></tr> <tr><td>2500</td><td>37.01361</td></tr> <tr><td>3150</td><td>39.41291</td></tr> </table>	Frequências [Hz]	D_{nT} [dB]	100	24.54464	125	28.96009	160	24.5515	200	29.58541	250	25.27683	315	30.48642	400	36.07703	500	37.30499	630	35.04735	800	31.55451	1000	26.44732	1250	31.19608	1600	35.16497	2000	36.88841	2500	37.01361	3150	39.41291	$D_n = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log\left(\frac{T}{T_0}\right)$	
Frequências [Hz]																																																																							
100	11.94																																																																						
125	17.53																																																																						
160	27.81																																																																						
200	24.37																																																																						
250	22.29																																																																						
315	23.74																																																																						
400	20.83																																																																						
500	20.00																																																																						
630	17.27																																																																						
800	15.66																																																																						
1000	19.18																																																																						
1250	17.56																																																																						
1600	15.42																																																																						
2000	10.54																																																																						
2500	9.19																																																																						
3150	8.28																																																																						
Frequências [Hz]	D_{nT} [dB]																																																																						
100	24.54464																																																																						
125	28.96009																																																																						
160	24.5515																																																																						
200	29.58541																																																																						
250	25.27683																																																																						
315	30.48642																																																																						
400	36.07703																																																																						
500	37.30499																																																																						
630	35.04735																																																																						
800	31.55451																																																																						
1000	26.44732																																																																						
1250	31.19608																																																																						
1600	35.16497																																																																						
2000	36.88841																																																																						
2500	37.01361																																																																						
3150	39.41291																																																																						
2 Correção do ruído de fundo (pág.11 NP EN ISO 140-4 2000)		4 Médias do tempo de reverberação																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frequências [Hz]</th> <th>R_{fcorr}</th> </tr> </thead> <tr><td>100</td><td>43.84</td></tr> <tr><td>125</td><td>48.63</td></tr> <tr><td>160</td><td>55.81</td></tr> <tr><td>200</td><td>53.07</td></tr> <tr><td>250</td><td>53.07</td></tr> <tr><td>315</td><td>47.94</td></tr> <tr><td>400</td><td>44.03</td></tr> <tr><td>500</td><td>42.00</td></tr> <tr><td>630</td><td>39.67</td></tr> <tr><td>800</td><td>37.76</td></tr> <tr><td>1000</td><td>41.08</td></tr> <tr><td>1250</td><td>38.96</td></tr> <tr><td>1600</td><td>38.12</td></tr> <tr><td>2000</td><td>34.54</td></tr> <tr><td>2500</td><td>32.24</td></tr> <tr><td>3150</td><td>31.48</td></tr> </table>	Frequências [Hz]	R_{fcorr}	100	43.84	125	48.63	160	55.81	200	53.07	250	53.07	315	47.94	400	44.03	500	42.00	630	39.67	800	37.76	1000	41.08	1250	38.96	1600	38.12	2000	34.54	2500	32.24	3150	31.48	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frequências [Hz]</th> <th>T_r, méd [s]</th> </tr> </thead> <tr><td>100</td><td>1.165833</td></tr> <tr><td>125</td><td>1.1425</td></tr> <tr><td>160</td><td>1.043333</td></tr> <tr><td>200</td><td>1.088333</td></tr> <tr><td>250</td><td>1.048333</td></tr> <tr><td>315</td><td>1.044167</td></tr> <tr><td>400</td><td>0.965833</td></tr> <tr><td>500</td><td>1.035</td></tr> <tr><td>630</td><td>1.0475</td></tr> <tr><td>800</td><td>1.144167</td></tr> <tr><td>1000</td><td>1.1925</td></tr> <tr><td>1250</td><td>1.2675</td></tr> <tr><td>1600</td><td>1.310833</td></tr> <tr><td>2000</td><td>1.311667</td></tr> <tr><td>2500</td><td>1.2975</td></tr> <tr><td>3150</td><td>1.271667</td></tr> </table>	Frequências [Hz]	T_r , méd [s]	100	1.165833	125	1.1425	160	1.043333	200	1.088333	250	1.048333	315	1.044167	400	0.965833	500	1.035	630	1.0475	800	1.144167	1000	1.1925	1250	1.2675	1600	1.310833	2000	1.311667	2500	1.2975	3150	1.271667		
Frequências [Hz]	R_{fcorr}																																																																						
100	43.84																																																																						
125	48.63																																																																						
160	55.81																																																																						
200	53.07																																																																						
250	53.07																																																																						
315	47.94																																																																						
400	44.03																																																																						
500	42.00																																																																						
630	39.67																																																																						
800	37.76																																																																						
1000	41.08																																																																						
1250	38.96																																																																						
1600	38.12																																																																						
2000	34.54																																																																						
2500	32.24																																																																						
3150	31.48																																																																						
Frequências [Hz]	T_r , méd [s]																																																																						
100	1.165833																																																																						
125	1.1425																																																																						
160	1.043333																																																																						
200	1.088333																																																																						
250	1.048333																																																																						
315	1.044167																																																																						
400	0.965833																																																																						
500	1.035																																																																						
630	1.0475																																																																						
800	1.144167																																																																						
1000	1.1925																																																																						
1250	1.2675																																																																						
1600	1.310833																																																																						
2000	1.311667																																																																						
2500	1.2975																																																																						
3150	1.271667																																																																						

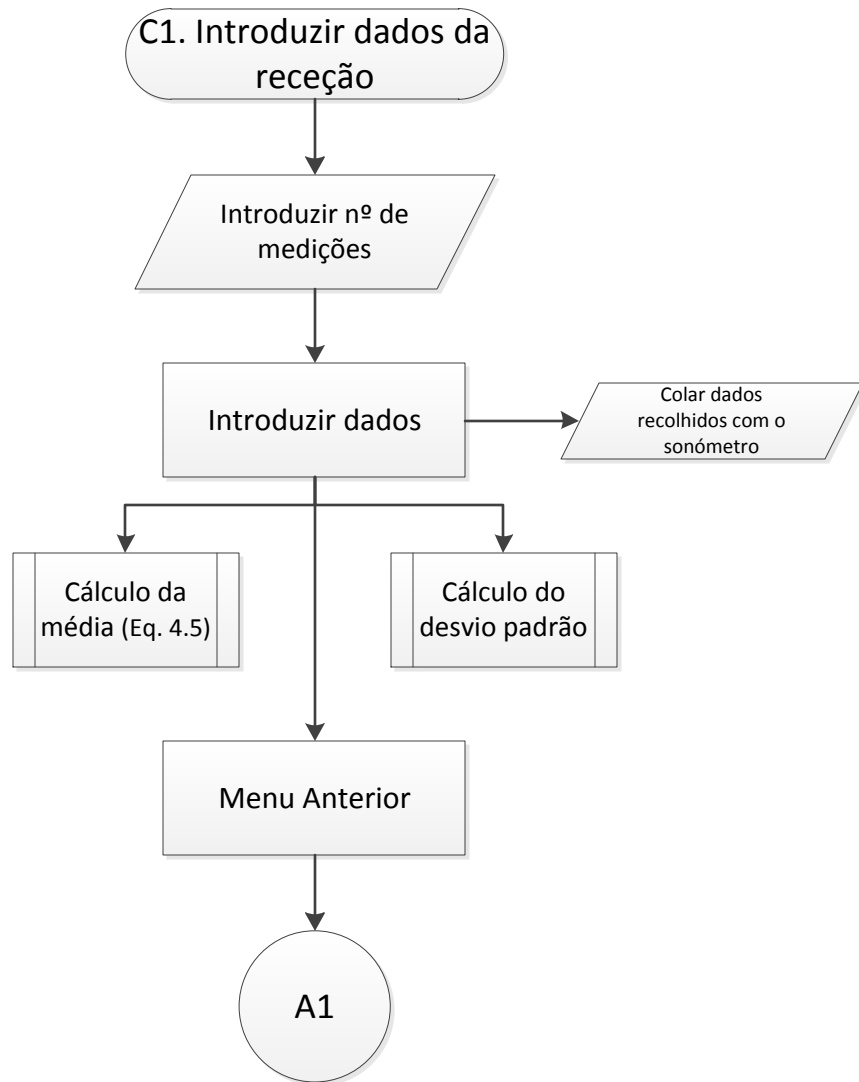
Figura 103 - Tabelas com cálculos auxiliares da folha "CA_fachadas"

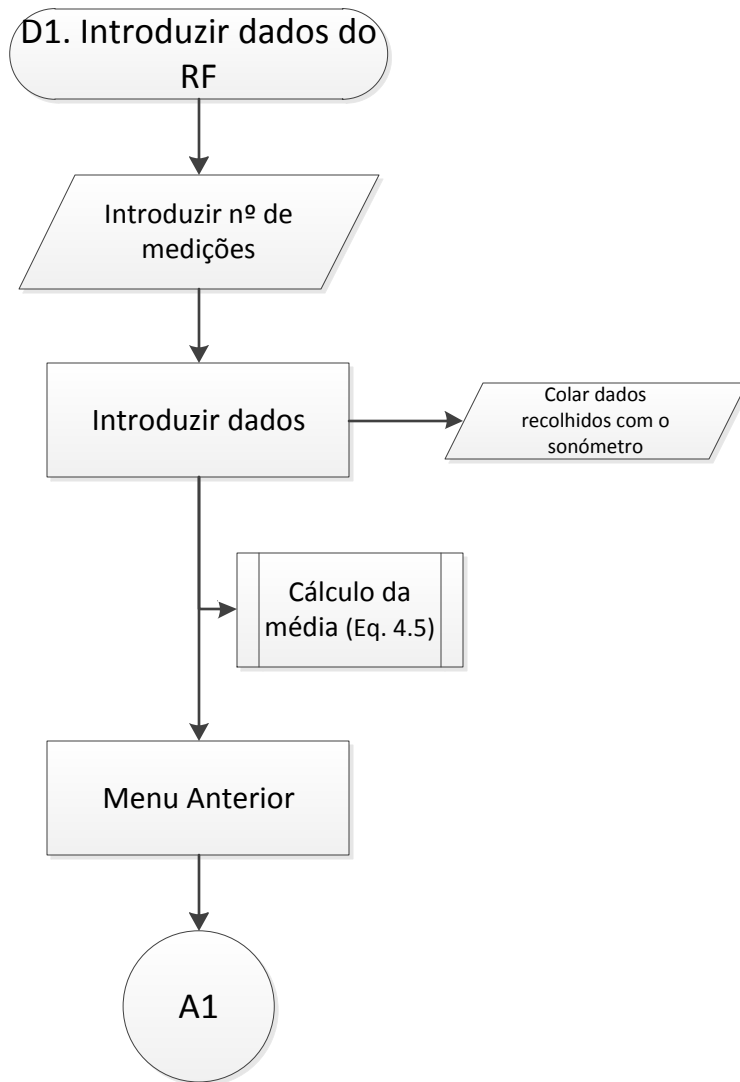
O cálculo do isolamento sonoro entre compartimentos segue os mesmos procedimentos, pelo que não se considerou relevante apresentar também aqui um exemplo desse género.

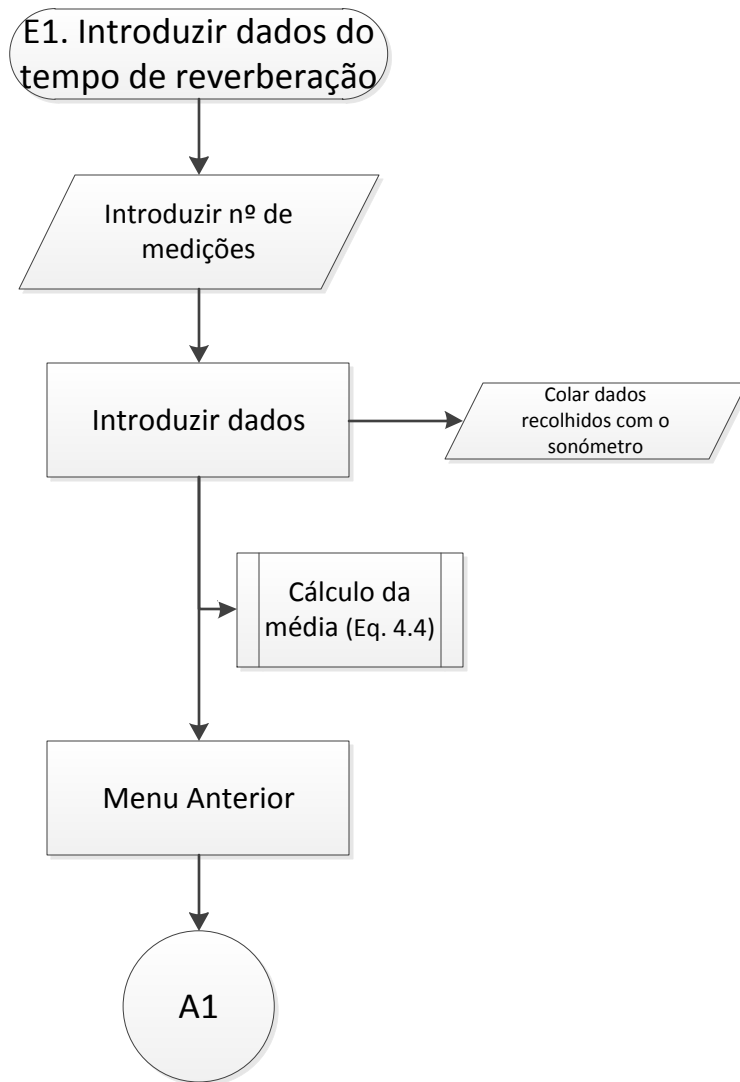
ANEXO B – Organogramas do procedimento de cálculo usado no programa de cálculo

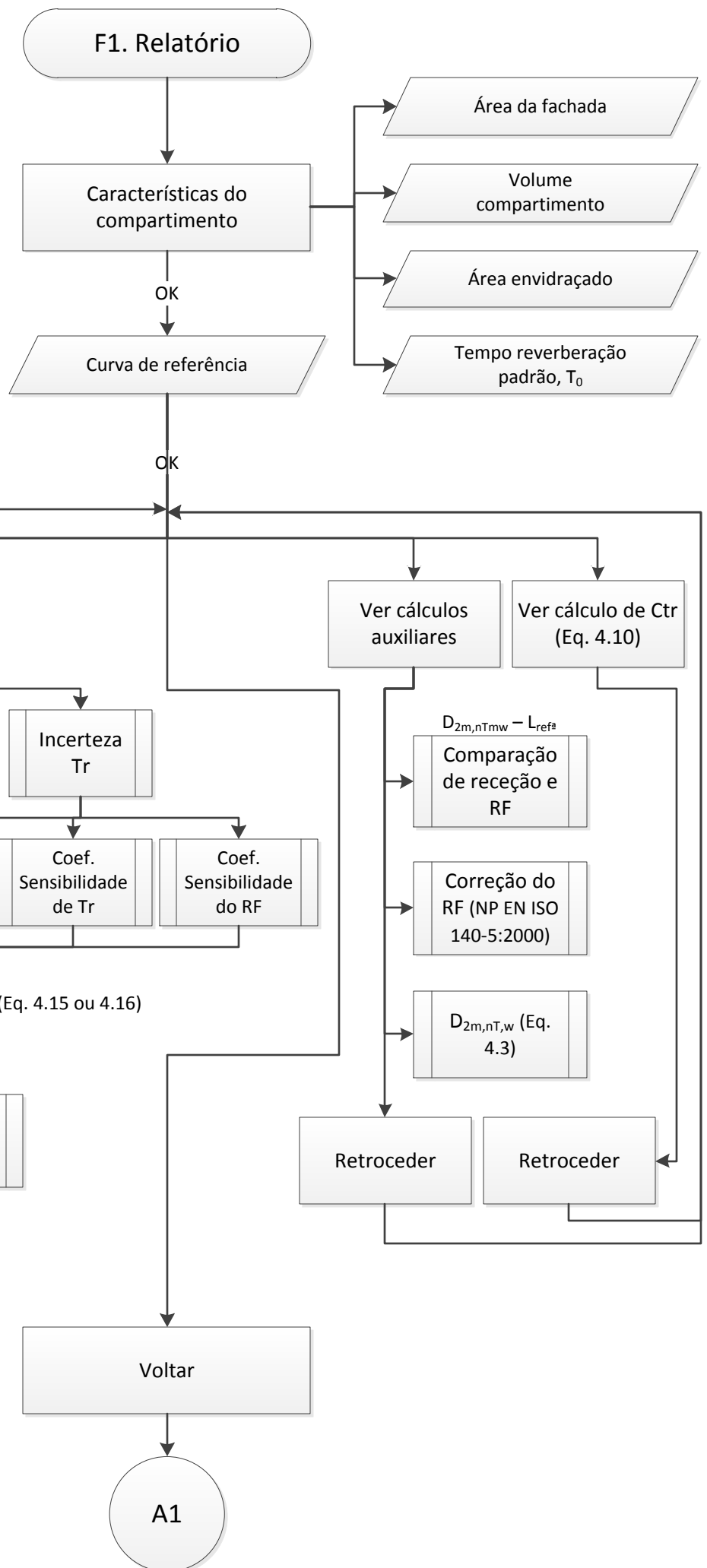




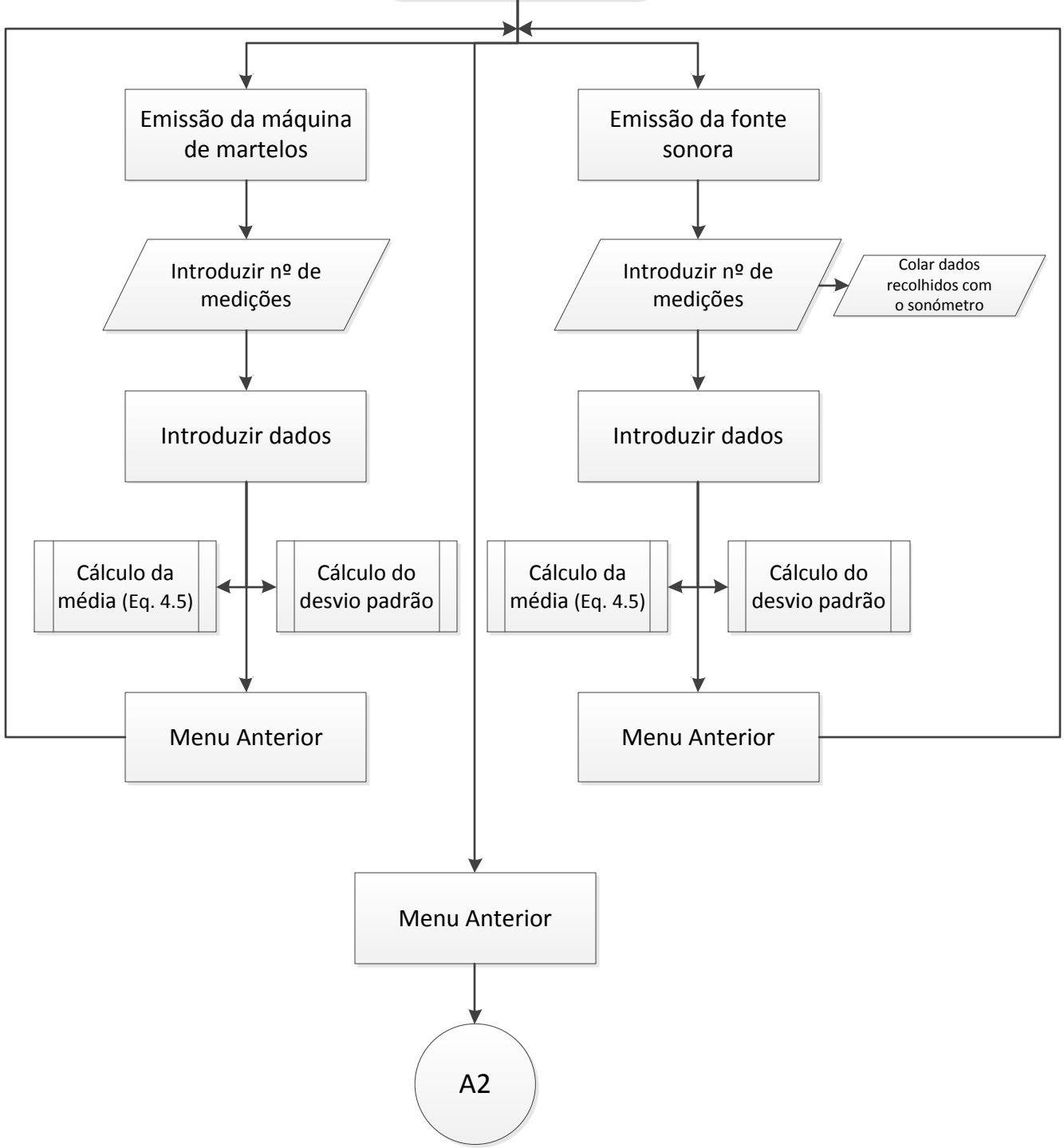


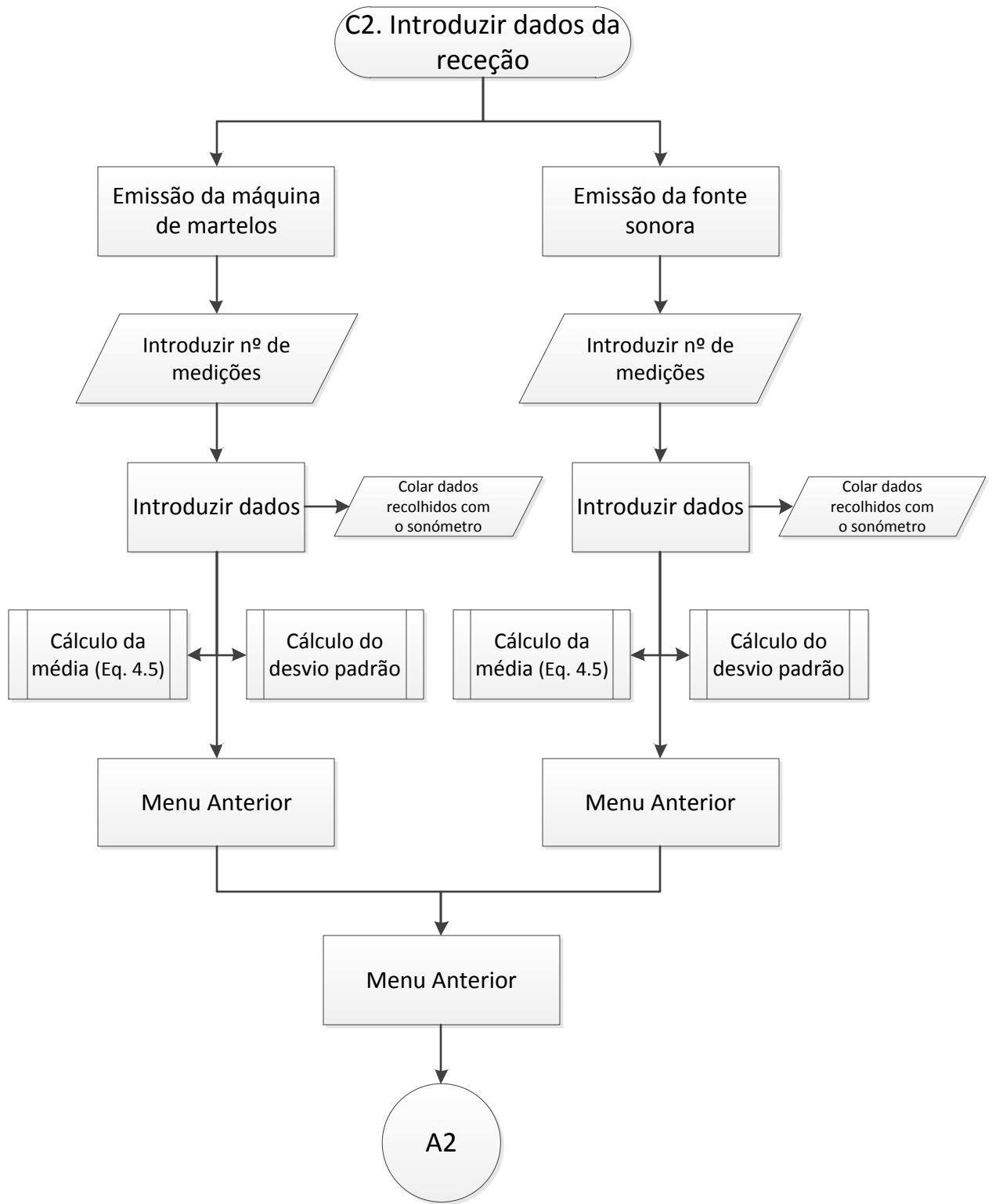


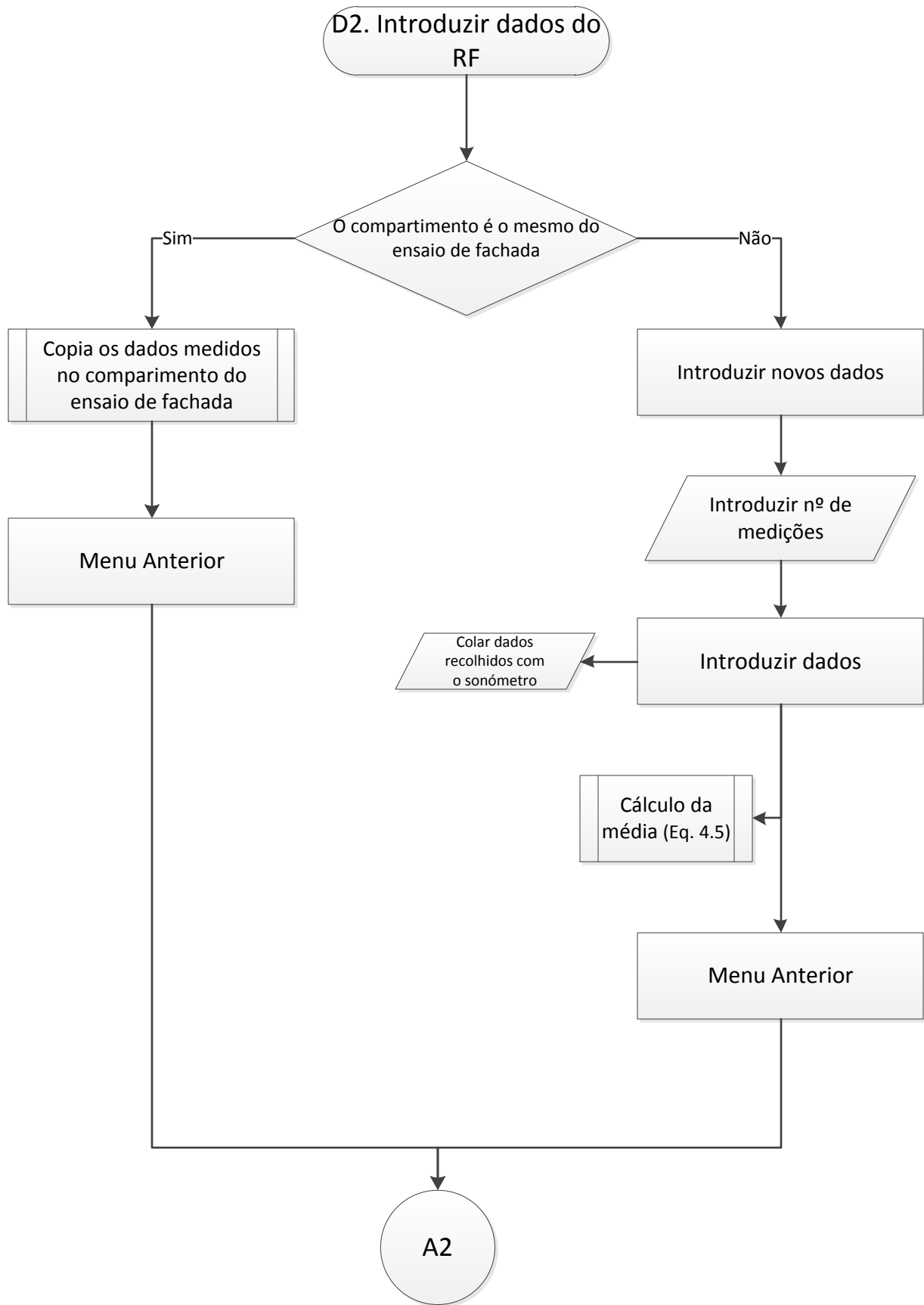


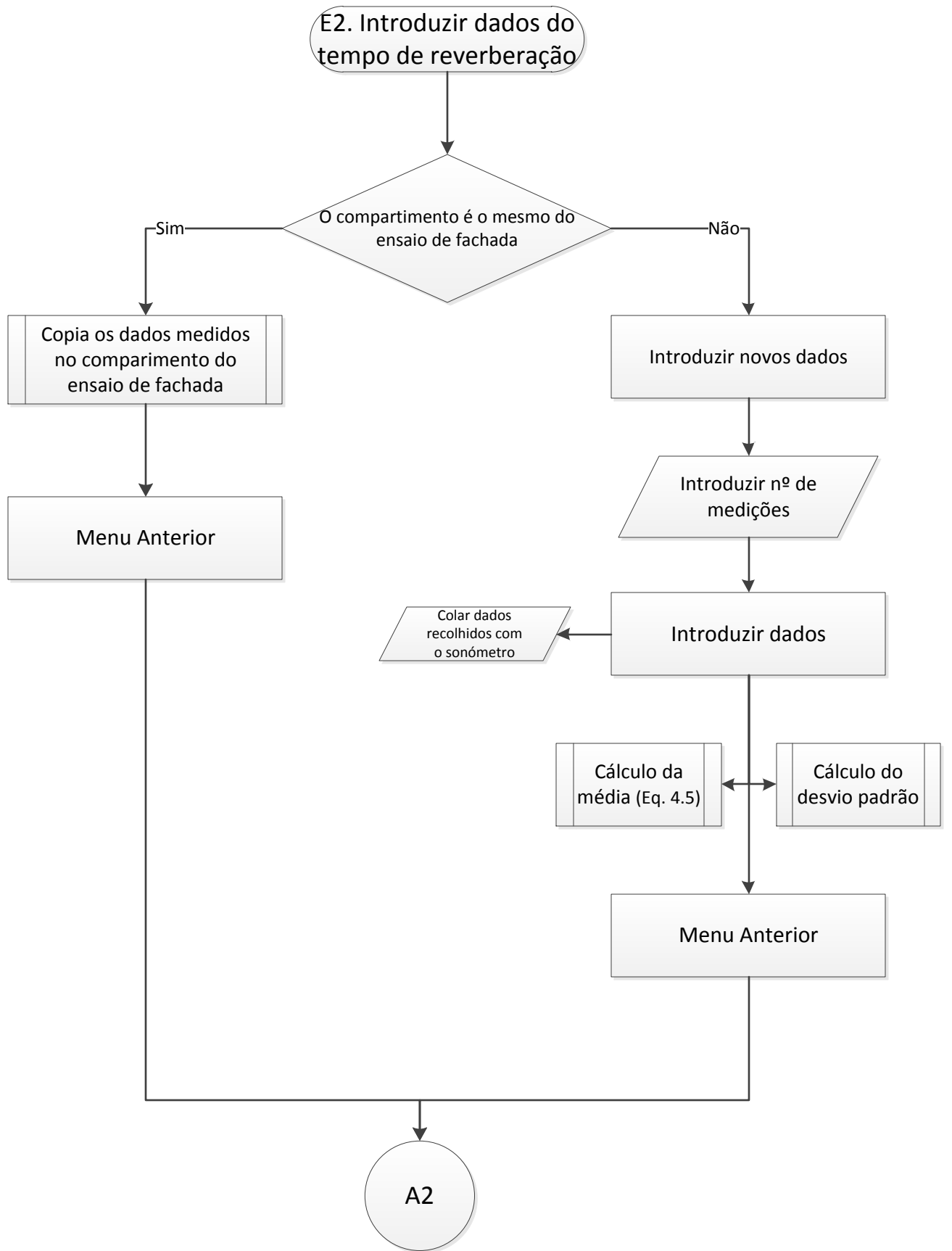


B2. Introduzir dados da emissão

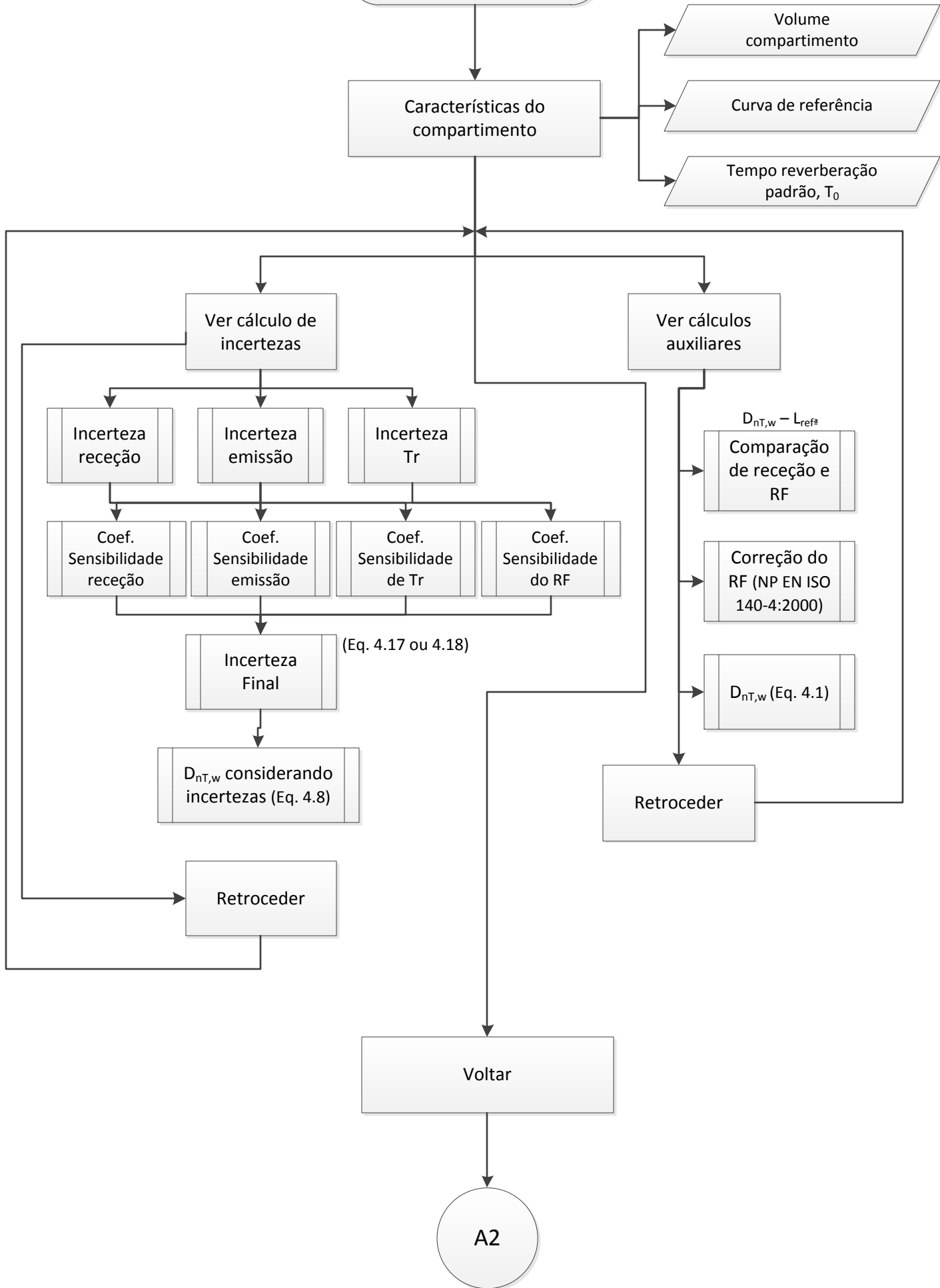








F2.1. Relatório de sons aéreos



F2.2. Relatório de sons de percussão

