



Diogo Miguel do Rosário Ferreira

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

**Comportamento Acústico de Fachadas:
Isolamento Acústico versus
Permeabilidade ao Ar**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Professor Doutor Jorge Patrício, Investigador Principal com Agregação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Co-Orientador: Professor Doutor Daniel Aelenei, Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Professor Doutor Rui Micaelo

Arguente: Professor Doutor Albano Neves e Sousa

Arguente: Professora Doutora Maria Paulina Rodrigues

Vogal: Professor Doutor Jorge Patrício

Data: Novembro de 2016

“Copyright” de Diogo Miguel do Rosário Ferreira, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

“Whatever the mind of man can conceive and believe, it can achieve.”
Napoleon Hill

Agradecimentos

Ao concluir esta etapa, não posso deixar de expressar o meu reconhecido agradecimento a todas as pessoas que de uma forma directa ou indirecta contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Professor Doutor Jorge Patrício, pela oportunidade concedida, completa disponibilidade e por acreditar na minha capacidade de desenvolver este trabalho, pelo conhecimento partilhado e serenidade sempre presente.

Ao meu co-orientador Professor Doutor Daniel Aelenei, por me ter motivado a desenvolver este trabalho e acreditar nas minhas capacidades.

Ao Engenheiro Pedro Ramos e ao Senhor José Martins, pelo apoio e amabilidade que demonstraram em todo o processo da realização dos ensaios bem como uma ajuda preciosa no processamento de dados.

Ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil, pela disponibilização de todas as ferramentas e local para a realização deste trabalho.

Aos meus Pais, pelo incentivo, amizade e apoio que me deram durante toda a minha vida. Por nunca me deixarem desistir. A vossa presença será sempre um pilar que me faz dirigir para a conquista dos meus objectivos e, sem a vossa luz guia, nada disto seria possível.

À minha namorada Denise Santos, por todo o companheirismo, apoio constante e, ainda mais importante, por acreditar em mim em todas as fases deste trabalho. Sem ela nada disto seria possível.

Gostaria de deixar uma palavra aos meus amigos, dentro e fora do curso, sou consciente que eles sabem quem são, logo não é necessário enumerar os seus nomes. A todos eles agradeço o apoio, força e as palavras amáveis.

Resumo

Nos dias de hoje, o conforto acústico dos edifícios revela-se como um factor muito importante no contexto da comodidade global dos seus habitantes. Para tanto, contribui de forma relevante o isolamento sonoro que as fachadas dos edifícios possam assegurar. Sendo as fachadas constituídas por uma parte opaca e uma outra translúcida, é esta última a que mais condiciona o isolamento acústico que o elemento fachada proporciona, o qual é influenciado tanto pela janela propriamente dita, como pelas aberturas e a permeabilidade ao ar que lhe estão associadas.

Com o objectivo de avaliar a influência das possíveis diferenças de isolamento acústico numa fachada habitacional ao longo do tempo, foi desenvolvido um estudo experimental no Laboratório Nacional de Engenharia Civil. O trabalho experimental foi baseado num conjunto de ensaios acústicos e de permeabilidade ao ar considerando várias áreas de abertura, de 0,5 cm² a 250 cm², numa determinada divisória. Foram analisadas as diferenças de isolamento acústico numa gama de frequências situada entre 50 - 5000 Hz, e considerando termos de adaptação para ruído de tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo.

Os resultados obtidos permitem avaliar em que sentido o isolamento acústico versus permeabilidade ao ar, podem influenciar o desempenho das fachadas de edifícios habitacionais e qual a sua relação com o bem-estar dos residentes.

Para as áreas de abertura de 0,5 e 1 cm², não foi encontrado qualquer tipo de diferença em termos acústicos ou de permeabilidade ao ar, face aos valores de referência, admitindo que este cenário não provoca qualquer variação significativa numa fachada habitacional.

Para as últimas duas áreas estudadas (200 e 250 cm²), em termos acústicos e de permeabilidade ao ar conclui-se que, para estas áreas, o cenário é semelhante ao de uma janela aberta devido à elevada perda de isolamento acústico e a baixa permeabilidade ao ar.

Palavras-chave: Conforto acústico, Isolamento sonoro, Permeabilidade ao ar, Fachada de edifício habitacional

Abstract

Today, the acoustic comfort of dwellings is revealed as a very important factor in the context of overall comfort of its inhabitants. For this comfort, it contributes very importantly the sound insulation that the facades of buildings can provide. Since the facades comprise of an opaque portion and a translucent portion, the latter will be more relevant to the sound insulation that the facade element provides, which is influenced by the window itself, as by the openings and air permeability associated with.

In order to evaluate the influence of the possible differences of acoustic insulation on a residential façade over time, an experimental study was developed in the National Laboratory of Civil Engineering. The experimental work was based on a set of acoustic and air permeability tests considering several opening areas, between 0,5 cm² and 250 cm², in a given window. The differences in acoustic insulation in a frequency range between 50 - 5000 Hz and considering adaptation terms for road, rail and air traffic noise were analyzed.

The results obtained allow to evaluate in which direction the sound insulation versus air permeability can parameterize the performance of the facades of buildings, and what is its relationship to the well-being of residents.

For the 0.5 and 1 cm² areas of aperture, no acoustic or air permeability differences were found in relation to the reference values, assuming that this scenario does not cause any significant variation in a housing façade.

For the last two areas studied (200 and 250 cm²), in acoustic terms and air permeability, it is concluded that, for these areas, the scenario is similar to that of an open window due to the high loss of sound insulation and the low air permeability.

Keywords: Acoustic comfort, Sound insulation, Air permeability, Building facade

Índice

1.	Introdução.....	1
1.1	Motivação.....	1
1.2	Objectivos.....	2
1.3	Organização.....	2
2	Considerações teóricas sobre a Acústica.....	4
2.1	Introdução.....	4
2.2	Conceitos Gerais.....	4
2.2.1	Breve história da Acústica.....	4
2.2.2	Som e Ruído.....	5
2.2.3	Classificação dos tipos de Ruído.....	6
2.2.4	Percepção do Ruído.....	7
2.2.5	Incomodidade e Efeitos do Ruído.....	8
2.2.6	Amplitude, Comprimento de Onda e Frequência.....	9
2.2.4	Pressão Sonora.....	12
2.2.5	Nível sonoro.....	13
2.2.6	Bandas de frequências.....	16
2.2.7	Tempo de Reverberação.....	17
2.2.8	Equipamentos de medição.....	18
2.3	Enquadramento Legal.....	20
2.3.1	Regulamento Geral do Ruído.....	20
2.3.1	Regulamento Geral do Ruído.....	20
3.	Isolamento a sons aéreos e permeabilidade ao ar de fachadas.....	23
3.1	Introdução.....	23
3.2	Caracterização do isolamento a sons aéreos.....	24
3.2.1	Isolamento a sons aéreos entre espaços.....	25
3.2.1.1	Medições <i>in situ</i>	26
3.2.2	Isolamento a sons aéreos de elementos de fachada.....	27
3.2.2.1	Medições <i>in situ</i>	27
3.3	Caracterização experimental.....	28
3.3.1	Método de comparação.....	30

3.4 Classificação da permeabilidade ao ar de fachadas	32
4. Elaboração do inquérito	36
4.1 Introdução.....	36
4.2 Planeamento do inquérito	36
4.2.1 Metodologia e Objectivo	36
4.2.2 Público-alvo	37
4.2.3 Formulação das questões	37
4.3 Inquérito-tipo.....	38
4.3.1 Planeamento	38
4.4 Inquérito final.....	39
4.5 Tratamento e análise de dados.....	41
4.5.1 Idade.....	41
4.5.2 Distribuição Geográfica	41
4.5.3 Sensibilidade ao ruído.....	42
4.5.4 Zona Rural/Urbana	43
4.5.5 Tipo de habitações	43
4.5.6 Número de residentes	44
4.5.7 Idade da habitação.....	44
4.5.8 Fonte de ruído	45
4.5.9 Grau de desconforto face à fonte de ruído	45
4.5.10 Proximidade de via de tráfego.....	46
4.5.11 Horário de desconforto.....	46
4.5.12 Isolamento ao ruído exterior.....	47
4.5.13 Estanqueidade ao ar das fachadas.....	47
5. Ensaaios acústicos.....	48
5.1 Introdução e Objectivo	48
5.2 Procedimento experimental.....	48
5.3 Resultados.....	55
5.3.1 Índices de isolamento sonoro.....	55
5.3.2 Análise pelo Método de Comparação	63
4.3.3 Factores de transmissão energética e termos de adaptação	71

6.	Ensaio de permeabilidade ao ar	82
6.1	Introdução e Objectivo	82
6.2	Método Experimental	82
6.3	Análise de resultados	87
7.	Conclusões e desenvolvimentos futuros.....	94
	Bibliografia.....	96
8.	Anexos.....	99
	Anexo 1 A – Gráficos dos índices de isolamento sonoro das áreas estudadas.....	100
	Índices de isolamento sonoro para 1 e 5 cm ²	100
	Índices de isolamento sonoro para 10 cm ² e 25 cm ²	101
	Índices de Isolamento sonoro para 50 cm ² e 75 cm ²	102
	Índices de Isolamento sonoro para 100 cm ² e 150 cm ²	103
	Índices de Isolamento sonoro para 200 cm ² e 250 cm ²	104
	Anexo 1 B – Valores de transmissão energética para as áreas de abertura estudadas.....	105
	Área de abertura de 1; 5 e 10 cm ²	105
	Área de abertura de 25, 50, 75 e 100 cm ²	106
	Área de abertura de 150, 200 e 250 cm ²	107
	Anexo 1 C – Índices de isolamento sonoro total e índice R_w da fachada com o vidro 1 (4-12-4 mm)	108
	Áreas de abertura de 0,5 cm ² e 1 cm ² com janela 1	108
	Áreas de abertura de 5 cm ² e 10 cm ² com janela 1	109
	Áreas de abertura de 25 cm ² e 50 cm ² com janela 1	110
	Áreas de abertura de 75 cm ² e 100 cm ² com janela 1	111
	Áreas de abertura de 150 cm ² e 200 cm ² com janela 1	112
	Área de abertura de 250 cm ² com janela 1	113
	Anexo 1 D – Índices de isolamento sonoro total e índice R_w da fachada com o vidro 2 (8 mm)	114
	Áreas de abertura de 0,5 cm ² e 1 cm ² com janela do tipo 2	114
	Áreas de abertura de 5 cm ² 10 cm ² com janela do tipo 2	115
	Áreas de abertura de 25 cm ² e 50 cm ² com janela do tipo 2	116
	Áreas de abertura de 75 cm ² e 100 cm ² com janela do tipo 2	117

Áreas de abertura de 150 cm ² e 200 cm ² com janela do tipo 2	118
Área de abertura de 250 cm ² com janela do tipo 2	119
Anexo 1 E – Termos de adaptação para as diversas áreas de abertura estudadas em meio laboratorial.....	120
Área de abertura de 0,5 cm ²	120
Área de abertura de 1 cm ²	121
Área de abertura de 5 cm ²	122
Área de abertura de 10 cm ²	123
Área de abertura de 25 cm ²	124
Área de abertura de 50 cm ²	125
Área de abertura de 75 cm ²	126
Área de abertura de 100 cm ²	127
Área de abertura de 150 cm ²	128
Área de abertura de 200 cm ²	129
Área de abertura de 250 cm ²	130
Anexo 1 F – Termos de adaptação para as diversas áreas de abertura estudadas com janela do tipo 1.....	131
Área de abertura de 0,5 cm ² com janela do tipo 1	131
Área de abertura de 1 cm ² com janela do tipo 1	132
Área de abertura de 5 cm ² com janela do tipo 1	133
Área de abertura de 10 cm ² com janela do tipo 1	134
Área de abertura de 25 cm ² com janela do tipo 1	135
Área de abertura de 50 cm ² com janela do tipo 1	136
Área de abertura de 75 cm ² com janela do tipo 1	137
Área de abertura de 100 cm ² com janela do tipo 1	138
Área de abertura de 150 cm ² com janela do tipo 1	139
Área de abertura de 200 cm ² com janela do tipo 1	140
Área de abertura de 250 cm ² com janela do tipo 1	141
Anexo 1 G – Termos de adaptação para as diversas áreas de abertura estudadas com janela do tipo 2.....	142
Área de abertura de 0,5 cm ² com janela do tipo 2.....	142

Área de abertura de 1 cm ² com janela do tipo 2	143
Área de abertura de 5 cm ² com janela do tipo 2	144
Área de abertura de 10 cm ² com janela do tipo 2	145
Área de abertura de 25 cm ² com janela do tipo 2	146
Área de abertura de 50 cm ² com janela do tipo 2	147
Área de abertura de 75 cm ² com janela do tipo 2	148
Área de abertura de 100 cm ² com janela do tipo 2	149
Área de abertura de 150 cm ² com janela do tipo 2	150
Área de abertura de 200 cm ² com janela do tipo 2	151
Área de abertura de 250 cm ² com janela do tipo 2	152
Anexo 1 H – Caudais ensaiados e reais para as áreas de abertura ensaiadas	153
Áreas de abertura de 0,5 ; 1 e 5 cm ²	153
Áreas de abertura de 10, 25 e 50 cm ²	154
Áreas de abertura de 75, 100 e 150 cm ²	155
Áreas de abertura de 200 e 250 cm ²	156
Anexo 2 A – Inquérito Social	157

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Diferentes tipos de espectros de frequências	6
Figura 2.2 - Evolução da perda de audição devido à idade, adaptado de (11)	8
Figura 2.3 - Reacção tipo ao ruído, imagem adaptada de (16)	9
Figura 2.4 - Casos de duas ondas com a mesma amplitude e frequências diferentes	10
Figura 2.5 – Exemplos de ondas com diferentes frequências e amplitudes iguais	11
Figura 2.6 - Variação da pressão num ponto em relação à pressão atmosférica	11
Figura 2.7 - Noções de exposição ao ruído em situações do quotidiano	12
Figura 2.8 - Descrição das malhas de ponderação A, B, C e D.	14
Figura 2.9 - Nível de pressão contínuo equivalente Leq	16
Figura 2.10 - Sonómetro	18
Figura 2.11 - Calibrador de Sonómetro.....	19
Figura 2.12 - Amplificador e fonte omnidirecional.....	19
Figura 3.1 - Ilustração esquemática do ensaio de caracterização do isolamento a sons aéreos (8)	24
Figura 3.2 - Transmissão sonora entre compartimentos (ensaio em laboratório)	25
Figura 3.3 - Esquema de medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos	26
Figura 3.4 - Esquema de medição do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas, adaptado de (8)	27
Figura 3.5 - Curva dos valores de referência para sons de condução aérea por bandas de frequências com largura de um terço de oitava	30
Figura 3.6 - Espectros de ruído rosa e de tráfego rodoviário em tecido urbano, ponderados pela malha A (8)	31
Figura 3.7 - Classe de permeabilidade ao ar, de acordo com a área total da janela e do comprimento das juntas de zonas da janela que abrem, função da pressão de ensaio (28)	33
Figura 3.8 - Permeabilidade ao ar de caixilharia em função da área total da janela.....	34
Figura 4.1 - Exemplo da escala utilizada nas perguntas do inquérito realizado.....	38
Figura 4.2 - Distribuição da faixa etária dos inquiridos	41
Figura 4.3 - Distribuição geográfica das respostas do inquérito	42
Figura 4.4 - Distribuição das respostas quanto ao grau de sensibilidade ao ruído	42
Figura 4.5 - Distribuição das respostas quanto ao tipo de zona de residência	43
Figura 4.6 - Distribuição das respostas quanto ao tipo de habitação	43
Figura 4.7 - Distribuição das respostas segundo o número de residentes da habitação	44
Figura 4.8 - Distribuição das respostas segundo a idade de construção	44
Figura 4.9 - Distribuição das respostas segundo o desconforto por tipos de fonte de ruído	45
Figura 4.10 - Distribuição das respostas segundo o grau de desconforto face ao tipo de ruído exterior.....	45
Figura 4.11 - Distribuição das respostas quanto à existência de uma via de tráfego junto à residência	46

Figura 4.12- Distribuição das respostas segundo o intervalo de horário onde existe um maior desconforto.....	46
Figura 4.13 - Distribuição das respostas quanto à importância do isolamento face ao ruído exterior.....	47
Figura 4.14 - Distribuição das respostas segundo a importância da estanqueidade ao ar das fachadas habitacionais.....	47
Figura 5.1 - Câmaras acústicas do LNEC.....	49
Figura 5.2 – Microfone (esquerda) e calibrador (direita) utilizados nos ensaios	49
Figura 5.3 - Fonte sonora (altifalante) utilizada nos ensaios	50
Figura 5.4 – Brocas (direita) e berbequim (esquerda) utilizados nos ensaios.....	52
Figura 5.5 - Furos na parte inferior do perfil metálico da divisória.....	53
Figura 5.6 - Furos na parte lateral do perfil metálico da divisória	53
Figura 5.7 - Abertura na parte lateral da divisória para a criação das áreas de maiores dimensões	54
Figura 5.8 - Posições dos microfones consideradas nos ensaios acústicos	56
Figura 5.9 - Índices de isolamento sonoro para uma área de 0,5 cm ²	61
Figura 5.10 - Comparativo dos índices de isolamento sonoro para as áreas estudadas.....	62
Figura 5.11 - Método gráfico de ajuste da curva de referência para a área de 0,5 cm ²	65
Figura 5.12 - Método gráfico de ajuste da curva de referência para a área de 1 cm ²	65
Figura 5.13 - Método gráfico de ajuste da curva de referência para a área de 5 cm ²	66
Figura 5.14 - Método gráfico de ajuste da curva de referência para a área de 10 cm ²	66
Figura 5.15 - Método gráfico de ajuste da curva de referência para a área de 25 cm ²	67
Figura 5.16 - Método gráfico de ajuste da curva de referência para a área de 50 cm ²	67
Figura 5.17 - Método gráfico de ajuste da curva de referência para a área de 75 cm ²	68
Figura 5.18 - Método gráfico de ajuste da curva de referência para a área de 100 cm ²	68
Figura 5.19 - Método gráfico de ajuste da curva de referência para a área de 150 cm ²	69
Figura 5.20 - Método gráfico de ajuste da curva de referência para a área de 200 cm ²	69
Figura 5.21 - Método gráfico de ajuste da curva de referência para a área de 250 cm ²	70
Figura 5.22 - Índices de isolamento sonoro para os dois tipos de vidro considerados para estudo	72
Figura 5.23 - Variação dos valores de C ao longo das diferentes áreas de abertura	79
Figura 5.24 - Variação dos valores de C _{tr} ao longo das diferentes áreas de abertura	80
Figura 6.1 - Recta de ajuste para caudais de 0 m ³ /h a 20 m ³ /h.....	83
Figura 6.2 - Recta de ajuste para caudais de 20 m ³ /h a 100 m ³ /h.....	83
Figura 6.3 - Recta de ajuste para caudais de 100 m ³ /h a 550 m ³ /h.....	84
Figura 6.4 - Contraplacado utilizado para a porta da câmara de ensaio	85
Figura 6.5 - Contraplacado com fita adesiva para tornar as juntas estanques	86
Figura 6.6 - Vedante plástico utilizado para fechar as aberturas da divisória	86
Figura 6.7 - Placas e fita adesiva utilizadas para vedar as faixas laterais	87
Figura 6.8 - Classe de permeabilidade ao ar para uma área de abertura de 0,5 cm ²	88

Figura 6.9 - Classe de permeabilidade ao ar para uma área de abertura de 1 cm ²	88
Figura 6.10 - Classe de permeabilidade ao ar para uma área de abertura de 5 cm ²	89
Figura 6.11 - Classe de permeabilidade ao ar para uma área de abertura de 10 cm ²	89
Figura 6.12 - Classe de permeabilidade ao ar para uma área de abertura de 25 cm ²	90
Figura 6.13 - Classe de permeabilidade ao ar para uma área de abertura de 50 cm ²	90
Figura 6.14 - Classe de permeabilidade ao ar para uma área de abertura de 75 cm ²	91
Figura 6.15 - Classe de permeabilidade ao ar para uma área de abertura de 100 cm ²	91
Figura 6.16 - Classe de permeabilidade ao ar para uma área de abertura de 150 cm ²	92
Figura 6.17 - Classe de permeabilidade ao ar para uma área de abertura de 200 cm ²	92
Figura 8.1 - Índices de isolamento sonoro para 1 e 5 cm ²	100
Figura 8.2 - Índices de isolamento sonoro para 10 cm ² e 25 cm ²	101
Figura 8.3 - Índices de Isolamento sonoro para 50 cm ² e 75 cm ²	102
Figura 8.4 - Índices de Isolamento sonoro para 100 cm ² e 150 cm ²	103
Figura 8.5 - Índices de Isolamento sonoro para 200 cm ² e 250 cm ²	104

Índice de Tabelas

Tabela 2-1 - Correções devidas à malha A, adaptado de (8)	15
Tabela 2-2 - Frequências centrais das bandas de oitava e de terços de oitava, e respectivos limites, adaptado de (8)	17
Tabela 2-3 - Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos (1)	21
Tabela 2-4 - Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre quartos ou zonas de estar dos fogos (1)	22
Tabela 3-1 - Valores de referência para sons de condução aérea (26)	29
Tabela 3-2 - Espectros para cálculo dos termos de adaptação	31
Tabela 3-3 - Termo de adaptação em função do tipo de fonte sonora (8)	32
Tabela 3-4 - Permeabilidade ao ar função da área da janela, a uma pressão de referência de 100 Pa, para as pressões máximas de ensaio (28)	34
Tabela 3-5 - Permeabilidade ao ar função do comprimento total das juntas de zonas da janela que abrem, a uma pressão de referência de 100 Pa, para as pressões máximas de ensaio (28)	35
Tabela 5-1 - Bandas de frequência utilizadas para os ensaios	50
Tabela 5-2 - Áreas das aberturas consideradas nos ensaios e cenários correspondentes	52
Tabela 5-3 - Número de furos e áreas de aberturas realizados nos ensaios	54
Tabela 5-4 - Áreas de absorção sonora equivalente para as diversas bandas de frequência ensaiadas	55
Tabela 5-5 - Índices de nível sonoro para uma área de 0,5 cm ²	56
Tabela 5-6 - Níveis de pressão sonora e índices de isolamento sonoro para as áreas de abertura de 0,5 cm ² e 1 cm ²	57
Tabela 5-7 - Níveis de pressão sonora e índices de isolamento sonoro para as áreas de abertura de 5 cm ² e 10 cm ²	58
Tabela 5-8 - Níveis de pressão sonora e índices de isolamento sonoro para as áreas de abertura de 25 cm ² e 50 cm ²	59
Tabela 5-9 - Níveis de pressão sonora e índices de isolamento sonoro para as áreas de abertura de 75 cm ² e 100 cm ²	59
Tabela 5-10 - Níveis de pressão sonora e índices de isolamento sonoro para as áreas de abertura de 150 cm ² e 200 cm ²	60
Tabela 5-11 - Níveis de pressão sonora e índice de isolamento sonoro para a área de abertura de 250 cm ²	60
Tabela 5-12 - Valor da constante x utilizado para cada área de abertura estudadas	63
Tabela 5-13 - Valores da curva de referência, curva de referência deslocada, soma dos desvios desfavoráveis e índice de redução sonora normalizado para uma área de abertura de 0,5 cm ²	64
Tabela 5-14 - Diferenças de isolamento sonoro da divisória face à área de 0,5 cm ²	71

Tabela 5-15 - Índices de isolamento sonoro de uma parede dupla de alvenaria de tijolo furado com 15 cm nos dois panos + caixa-de-ar de 6 cm	71
Tabela 5-16 - índices de isolamento sonoro globais e transmissões energéticas associadas para a parede e os dois tipos de janela considerados no estudo	73
Tabela 5-17 - Valores da transmissão energética para uma área de abertura de 0,5 cm ²	74
Tabela 5-18 - Valores da transmissão energética e índices de isolamento sonoro total para uma área de abertura de 0,5 cm ² para uma fachada com janela do tipo 1	75
Tabela 5-19 - Valores da transmissão energética índices de isolamento sonoro total para uma área de abertura de 0,5 cm ² para uma fachada com janela do tipo 2	75
Tabela 5-20 - Índices de isolamento sonoro e termos de adaptação para o ensaio laboratorial e os dois cenários de fachada com diferentes tipos de janela	77
Tabela 5-21 - Diferenças de isolamento sonoro e percentagem associada em relação à área de 0,5 cm ²	78
Tabela 5-22 - Índices de isolamento sonoro a ruídos de condução aéreas padronizados para as fachadas de edifícios com os dois tipos de janela ensaiadas	81
Tabela 6-1 - Valores de pressão medidos na câmara de ensaio e caudal calculado para o ensaio de calibração	87
Tabela 6-2 - Classes de permeabilidade ao ar para as áreas ensaiadas	93
Tabela 8-1 - Valores de transmissão energética para as áreas de abertura de 1; 5 e 10 cm ²	105
Tabela 8-2 - Valores de transmissão energética para as áreas de abertura de 25, 50, 75 e 100 cm ²	106
Tabela 8-3 - Valores de transmissão energética para as áreas de abertura de 150, 200 e 250 cm ²	107
Tabela 8-4 - Índices de isolamento sonoro total e índice Rw para as áreas de 0,5 cm ² e 1 cm ²	108
Tabela 8-5 - Índices de isolamento sonoro total e índice Rw para as áreas de 5 cm ² e 10 cm ²	109
Tabela 8-6 - Índices de isolamento sonoro total e índice Rw para as áreas de 25 cm ² e 50 cm ²	110
Tabela 8-7 - Índices de isolamento sonoro total e índice Rw para as áreas de 75 cm ² e 100 cm ²	111
Tabela 8-8 - Índices de isolamento sonoro total e índice Rw para as áreas de 150 cm ² e 200 cm ²	112
Tabela 8-9 - Índices de isolamento sonoro total e índice Rw para a área de 250 cm ²	113
Tabela 8-10 - Índices de isolamento sonoro total e índice Rw para as áreas de 0,5 cm ² e 1 cm ²	114
Tabela 8-11 - Índices de isolamento sonoro total e índice Rw para as áreas de 5 cm ² e 10 cm ²	115
Tabela 8-12 - Índices de isolamento sonoro total e índice Rw para as áreas de 25 cm ² e 50 cm ²	116

Tabela 8-13 - Índices de isolamento sonoro total e índice R_w para as áreas de 75 cm ² e 100 cm ²	117
Tabela 8-14 - Índices de isolamento sonoro total e índice R_w para as áreas de 150 cm ² e 200 cm ²	118
Tabela 8-15 - Índices de isolamento sonoro total e índice R_w para a área de 250 cm ²	119
Tabela 8-16 - Termos de adaptação para uma area de abertura de 0,5 cm ²	120
Tabela 8-17 - Termos de adaptação para uma area de abertura de 1 cm ²	121
Tabela 8-18 - Termos de adaptação para uma area de abertura de 5 cm ²	122
Tabela 8-19 - Termos de adaptação para uma area de abertura de 10 cm ²	123
Tabela 8-20 - Termos de adaptação para uma area de abertura de 25 cm ²	124
Tabela 8-21 - Termos de adaptação para uma area de abertura de 50 cm ²	125
Tabela 8-22 - Termos de adaptação para uma area de abertura de 75 cm ²	126
Tabela 8-23 - Termos de adaptação para uma area de abertura de 100 cm ²	127
Tabela 8-24 - Termos de adaptação para uma area de abertura de 150 cm ²	128
Tabela 8-25 - Termos de adaptação para uma area de abertura de 200 cm ²	129
Tabela 8-26 - Termos de adaptação para uma area de abertura de 250 cm ²	130
Tabela 8-27 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 0,5 cm ² com janela do tipo 1	131
Tabela 8-28 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 1 cm ² com janela do tipo 1	132
Tabela 8-29 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 5 cm ² com janela do tipo 1	133
Tabela 8-30 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 10 cm ² com janela do tipo 1	134
Tabela 8-31 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 25 cm ² com janela do tipo 1	135
Tabela 8-32 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 50 cm ² com janela do tipo 1	136
Tabela 8-33 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 75 cm ² com janela do tipo 1	137
Tabela 8-34 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 100 cm ² com janela do tipo 1	138
Tabela 8-35 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 150 cm ² com janela do tipo 1	139
Tabela 8-36 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 200 cm ² com janela do tipo 1	140
Tabela 8-37 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 250 cm ² com janela do tipo 1	141
Tabela 8-38 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 0,5 cm ² com janela do tipo 2	142

Tabela 8-39 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 1 cm ² com janela do tipo 2	143
Tabela 8-40 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 5 cm ² com janela do tipo 2	144
Tabela 8-41 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 10 cm ² com janela do tipo 2	145
Tabela 8-42 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 25 cm ² com janela do tipo 2	146
Tabela 8-43 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 50 cm ² com janela do tipo 2	147
Tabela 8-44 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 75 cm ² com janela do tipo 2	148
Tabela 8-45 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 100 cm ² com janela do tipo 2	149
Tabela 8-46 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 150 cm ² com janela do tipo 2	150
Tabela 8-47 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 200 cm ² com janela do tipo 2	151
Tabela 8-48 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 250 cm ² com janela do tipo 2	152
Tabela 8-49 - Caudais para as áreas de abertura de 0,5; 1 e 5 cm ²	153
Tabela 8-50 - Caudais para as áreas de abertura de 10, 25 e 50 cm ²	154
Tabela 8-51 - Caudais para as áreas de abertura de 75, 100 e 150 cm ²	155
Tabela 8-52 - Caudais para as áreas de abertura de 200 e 250 cm ²	156

Simbologia

A – Área de absorção sonora equivalente (m^2)

c – Velocidade do som (m/s)

C_i – Coeficientes de correcção relativos à malha de ponderação (A)

C e C_{tr} – Termos de adaptação

D_{2m} – Isolamento sonoro bruto em relação com o exterior (dB)

$D_{2m,nT}$ – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos (dB)

D_n – Isolamento sonoro a sons de condução aérea entre dois locais no interior de uma habitação (dB)

D_{nT} – Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, entre dois locais no interior de uma habitação (dB)

f – Frequência (Hz)

ΔL – Isolamento sonoro bruto (dB)

L_1 – Nível médio de pressão sonora no compartimento emissor (dB)

L_2 – Nível médio de pressão sonora no compartimento receptor (dB)

L_{eq} – Nível sonoro contínuo equivalente (dB)

L_p – Nível de pressão sonora (dB)

L_{pi} – Nível de pressão sonora em cada uma das bandas de frequência i consideradas (dB)

P – Pressão sonora (Pa)

P_o – Pressão atmosférica (Pa)

P_{ef} – Valor da pressão eficaz entre dois instantes (Pa)

p_x – Pressão medida em ensaio (Pa)

Q_0 – Caudal para um certo nível de pressão (m^3/h)

Q_x – Caudal medido em ensaio (Pa)

R – Índice de redução sonora entre compartimentos (dB)

R_w – Índice de redução sonora global de um elemento (dB)

S_i – Área do elemento i (m^2)

T_0 – Tempo de reverberação de referência (0,5 s)

T – Tempo de reverberação do espaço ensaiado (s)

T_x – Temperatura medida em ensaio ($^{\circ}C$)

T – Período (s)

V – Volume (m^3)

λ – Comprimento de onda (m)

τ – Transmissão energética de um elemento

Lista de Acrónimos e Abreviaturas

DL – Decreto-Lei

EN – Norma Europeia

IPQ – Instituto Português de Qualidade

ISO – International Organization for Standardization

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

NP – Norma Portuguesa

RGR – Regulamento Geral do Ruído

RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

1. Introdução

1.1 Motivação

O efeito desagradável e nocivo que o ruído exerce sobre o ser humano já é amplamente estudado e conhecido. Além da perda de audição, que pode ser provocada pela exposição contínua a níveis sonoros elevados, outros efeitos são percebidos no organismo como: aumento da pressão arterial, reacção muscular e contração dos vasos sanguíneos, entre outros. Desse modo, o ruído não somente dificulta a comunicação verbal, mas influi directamente no comportamento fisiológico e emocional das pessoas expostas ao ruído em quaisquer situações ou ambientes (no trabalho, no trânsito, em casa, etc.)

Este “ruído” apresentado anteriormente é um factor comum no meio urbano onde estamos inseridos, sendo causado pelo tráfego rodoviário, aéreo e ferroviário, funcionamento de estabelecimentos, entre outros.

A cada vez mais notória percepção da população para este problema incitou a que, nos presentes dias, se assista a uma maior preocupação com os requisitos acústicos dos edifícios. Com a evolução tecnológica e o aumento dos níveis de ruído associado, especialmente em meios urbanos e suburbanos e a necessidade de conforto, a protecção acústica dos edifícios, como forma de garantir um adequado conforto acústico, assume uma importância cada vez maior para o bem-estar e qualidade de vida dos seus utentes (1) e (2). De um modo geral, a protecção acústica dos edifícios, pode ser efectuada através do uso de uma ou mais das seguintes vertentes (3) e (4): o isolamento a sons aéreos, quer entre espaços interiores, quer entre o exterior e o interior dos edifícios; o isolamento de ruídos de percussão, transmitidos por via sólida, provenientes essencialmente do interior dos edifícios; o condicionamento acústico interior; e a minimização do ruído e vibrações produzidos por equipamentos mecânicos do edifício.

A importância do isolamento acústico de fachadas de edifícios torna-se essencial no cenário actual, pois à medida que a tecnologia e o seu ruído associado evoluem, também a preocupação para uma correcta protecção acústica dos edifícios deve ser cada vez mais procurada. Neste contexto, o ciclo de vida das fachadas de edifícios assume um papel fulcral, dado que o isolamento acústico das mesmas sofre decréscimo ao longo do tempo, caracterizado pelo desgaste dos seus elementos constituintes.

1.2 Objectivos

Neste trabalho pretende-se caracterizar as diferenças de isolamento a sons aéreos que se possam sentir pelo desgaste de elementos constituintes de fachada e verificar a sua conformidade com a legislação vigente, tendo um maior foco para o elemento mais condicionante em termos acústicos de uma fachada habitacional - as fachadas translúcidas.

Para concretizar o objectivo proposto, após a realização de uma revisão bibliográfica sobre o ruído e o seu efeito nas populações, o isolamento acústico de edifícios e a permeabilidade ao ar de fachadas, foram elaborados ensaios laboratoriais aplicando diferentes áreas de aberturas numa fachada experimental, com o intuito de quantificar as diferenças de isolamento que uma fachada habitacional possa ter. Além deste parâmetro, a análise da permeabilidade ao ar para a mesma fachada foi, também, conduzida, de modo a poder haver um termo de apreciação neste contexto.

Na tentativa de procurar entender a opinião da população geral face a esta temática, foi elaborado um inquérito social, distribuído com auxílio a uma ferramenta *online*, para recolher informação relativamente à importância do isolamento acústico e permeabilidade ao ar nas fachadas habitacionais.

1.3 Organização

A dissertação encontra-se estruturada em sete capítulos, a respectiva bibliográfica e anexos que complementam o presente estudo.

No capítulo inicial, “Introdução”, existem três subcapítulos, a saber: “Motivação”, onde é abordado um pequeno contexto por detrás do ruído em si e a cada vez maior importância do isolamento acústico para o bem-estar das populações; “Objectivos”, onde é estabelecido o que se espera alcançar na realização deste trabalho e, por fim, “Organização”, subcapítulo com a função de expor a estrutura que foi seguida no trabalho e são, apresentados, também, os requisitos estipulados nas duas ferramentas legais no âmbito da acústica em Portugal, nomeadamente, o Regulamento Geral do Ruído (RGR) e o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE).

No segundo capítulo, “Considerações teóricas sobre a Acústica” é elaborado um resumo dos conceitos gerais da Acústica e dos fenómenos que lhe estão associados, nomeadamente, do som e do ruído, as suas propriedades, a forma como se difunde, os valores utilizados na sua caracterização e como o mesmo afecta as populações.

O terceiro capítulo, “Isolamento a sons aéreos e permeabilidade ao ar de fachadas” expõe a aplicação da acústica nos edifícios, onde são apresentados os conceitos de isolamento sonoro a sons aéreos e de permeabilidade ao ar de fachadas, bem como, a sua aplicação no meio experimental de acordo com as normas NP EN e EN ISO.

O quarto capítulo, “Elaboração do inquérito”, são explicadas todas as etapas que constituíram o processo de execução do inquérito: a escolha do público-alvo; o objectivo pretendido e as condicionantes envolvidas em torno de um inquérito sócio acústico e, por fim, a escolha das questões a inserir na estrutura final, para a obtenção da informação desejada. Ainda neste capítulo, procedeu-se ao tratamento e análise dos dados recolhidos, utilizando uma plataforma *online*.

O quinto capítulo, “Ensaaios acústicos” apresenta a metodologia experimental adoptada nos ensaios, a descrição das áreas de aberturas ensaiadas numa divisória inserida nas câmaras acústicas do LNEC e o seu respectivo cenário associado à degradação de fachadas, bem como, todos os resultados referentes às diferenças de isolamento acústico, análise dos termos de adaptação referenciados e, conformidade com a regulamentação nacional, em cenário laboratorial e em duas situações de fachadas habitacionais teóricas.

No sexto capítulo, “Ensaaios de permeabilidade ao ar” descrevem-se os ensaios realizados para a mesma divisória e as mesmas áreas de abertura ensaiadas no capítulo anterior, seguindo os regulamentos descritos nas normas, com o intuito de verificar em que classe de permeabilidade ao ar estariam inseridas essas mesmas áreas.

No sétimo capítulo “Conclusões e desenvolvimentos futuros” são apresentadas as sínteses das ideias a retirar do estudo desenvolvido, bem como, indicados temas de trabalhos futuros relacionados com esta dissertação, de modo a enriquecer toda a temática estudada.

2 Considerações teóricas sobre a Acústica

2.1 Introdução

Neste capítulo são apresentadas algumas considerações teóricas fundamentais da Acústica como ciência, numa perspectiva evolutiva, bem como a sua contextualização nos dias de hoje, de modo a fornecer uma melhor percepção da importância da Acústica em nos edifícios de habitação.

2.2 Conceitos Gerais

2.2.1 Breve história da Acústica

Os primeiros estudos sobre a origem e a propagação do som com um papel relevante para a acústica foram realizados por Pitágoras, filósofo e matemático grego. No século VI a.C. o mesmo realizou várias experiências que se baseavam na vibração de cordas elásticas com a intenção de estudar e calcular relações entre vibrações (5).

As primeiras preocupações com a Acústica arquitectónica surgem pelo arquitecto e engenheiro romano Vitrúvio, na sua obra *De Architectura*. Nela, o autor trata das características acústicas de teatros gregos e romanos, manifesta conhecimentos sobre ecos e reverberações e faz, ainda, referência aos vasos acústicos (com funcionamento semelhante aos ressoadores de Helmholtz) (5).

A compreensão dos processos físicos acústicos adquire novamente importância no século XVII, com especial destaque para Marin Mersenne (1588-1648) e Isaac Newton (1642-1727) o primeiro, matemático, filósofo e musicólogo francês, determinou, pela medição do tempo de retorno de um eco, a velocidade de propagação do som no ar. Por sua vez Isaac Newton, utilizando apenas cálculos teóricos, encontrou para a velocidade do som um valor perto do real (5).

No século XVIII deu-se um grande avanço na Acústica, mais concretamente, nos estudos teóricos sobre a compreensão da vibração das cordas. Matemáticos como Brook Taylor (1685-1731), Daniel Bernoulli (1700-1782), Leonard Euler (1707-1783) e Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783) foram fulcrais na determinação de uma solução dinâmica para a corda vibrante. Este assunto foi totalmente resolvido em 1822, por Joseph Fourier (1768-1830), consagrado pelos seus estudos sobre os fenómenos das transferências de calor – Teorema de Fourier (5).

No século XIX, os senhores da Acústica foram Helmholtz (1821-1894), físico, médico e cientista alemão, que consolidou o domínio da acústica fisiológica, e Lord Rayleigh (1842-1919), matemático e físico inglês, que escreveu uma obra de grande importância para o domínio da acústica, *Theory of Sound* (6).

A Acústica de edifícios nasce no início do século XX, com o físico americano Wallace Sabine (1868-1919). Sabine realizou vários ensaios num auditório da Universidade de Harvard, onde

era membro do Departamento de Física, com o intuito de estudar a diminuição do tempo de reverberação obtida através da colocação de almofadas nos assentos. Mas foi na realização de um projecto de acústica para a Boston Symphony Hall, considerada como uma das melhores salas de música de todos os tempos, que o mesmo se evidenciou pelo desenvolvimento da tão célebre fórmula, que tomou o seu nome, para o cálculo do tempo de reverberação. Sabine publicou importantes conclusões no domínio da Acústica de edifícios que ainda hoje se mantêm como a base de conhecimentos nesta área (5).

A importância da Acústica nos edifícios começou a tornar-se mais evidente no início do século XX, desde a criação do primeiro sonómetro – instrumento de medição do som – no início do século, passando pela experimentação em câmaras anecóicas e pela criação de grandes salas de concertos tratadas acusticamente, culminando na elaboração de software em Acústica e a criação de equipamentos anti-ruído no final do século (7).

A Acústica estuda, assim, a forma como o som, enquanto energia sonora se transmite através dos meios de propagação. Toda a acção mecânica passível de alterar o estado de um meio material origina oscilações que, aquando da sua propagação, e dependendo da gama de frequências, podem ser captadas pelo sistema auditivo e serem traduzidas em som audível (8).

Nos dias de hoje, a Acústica é uma peça de estudo em várias áreas do conhecimento, como, a Acústica Musical, Acústica Subaquática, Acústica de Edifícios, Bioacústica, Electroacústica, Psicoacústica, entre outras.

No panorama nacional são várias as entidades privadas e universidades que possuem equipas de investigação com o principal objectivo do estudo da acústica, nas suas diversas vertentes, onde se destacam.

- Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) – Laboratório de Ensaios de Acústica (LEA);
- Sociedade Portuguesa de Acústica (SPA);
- Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (FCTUC) – Instituto de Investigação e Desenvolvimento em Ciências de Construção (IteCons),
- Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) – Laboratório de Acústica (LAfeup) e o Núcleo de Investigação e Desenvolvimento em Engenharia Acústica (NI&DEA).

2.2.2 Som e Ruído

O Som é uma forma de energia que se transmite ao longo de um determinado meio de propagação, compressível, pelo choque das moléculas constituintes desse meio umas contra as outras, o que origina variações da velocidade dessas moléculas e, conseqüentemente, flutuação da pressão existente (8).

O ouvido humano tem capacidade de identificar sons dentro de uma gama muito extensa de frequências, dos 20 Hz aos 20 kHz, acima e abaixo das quais existem, respectivamente, os ultra-sons e os infra-sons.

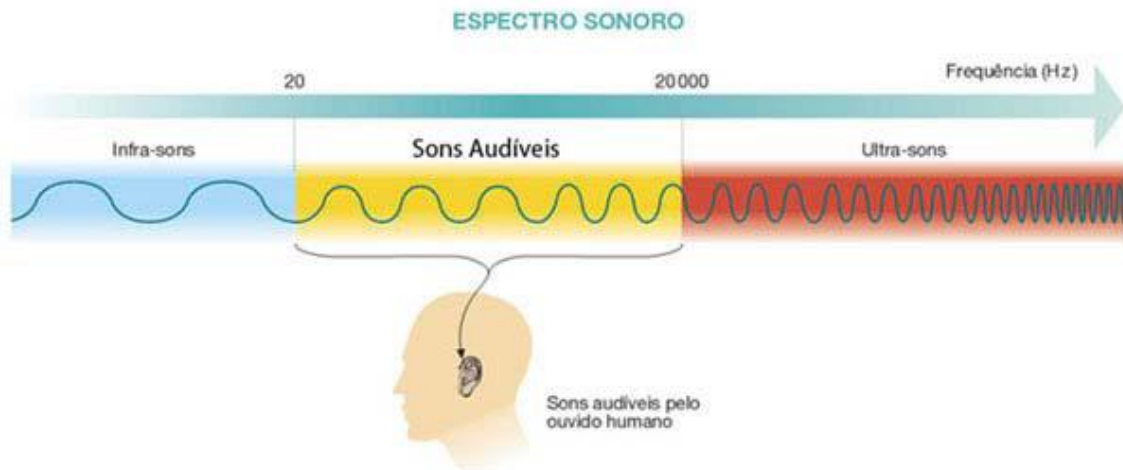


Figura 2.1 - Diferentes tipos de espectros de frequências

O ruído pode ser definido como um som desagradável para o receptor em questão, associando às propriedades físicas do som a percepção e atitude do indivíduo, ou seja, é definido, de maneira subjetiva, como toda sensação auditiva desagradável, ou fisicamente, como todo fenômeno acústico não periódico, sem componentes harmônicos definidos (9).

Temos, portanto, um conceito de ruído cuja definição está ligada tanto à componente física do som como à componente psicofisiológica, associada à reação do indivíduo receptor desse som.

2.2.3 Classificação dos tipos de Ruído

O ruído pode ser classificado como sendo contínuo ou estacionário, este último apresenta-se como um ruído com pequenas variações de nível (até ± 3 dB) durante o período de observação, nunca inferior a 15 minutos e é produzido por máquinas com funcionamento sem interrupções.

O ruído contínuo flutuante ou intermitente é aquele cujo nível varia continuamente durante um período de observação (superior a ± 3 dB). O ciclo de tempo em que o ruído aumenta pode ser medido da mesma forma que o ruído, no entanto, esse período de tempo deve ser apontado.

O Ruído Ambiente é o ruído provocado pelo conjunto de várias fontes juntas como, por exemplo, o tráfego automóvel, funcionamento de maquinaria ou pelas próprias pessoas. O Ruído Específico é o ruído da fonte com objectivo de medição ou investigação e é um dos componentes do ruído ambiente. O Ruído Residual, ou ruído de fundo, é composto pelos elementos do ruído ambiente que não são ruídos específicos, tornando-se perceptível quando o ruído específico é suprimido (10).

2.2.4 Percepção do Ruído

A forma como os sons são interpretados por um ouvinte no interior de uma habitação depende, na sua maioria, de quatro factores:

- Características físicas da fonte sonora;
- Características do elemento separador entre a fonte sonora e o ouvinte;
- Distância entre a fonte sonora e o ouvinte;
- Natureza subjectiva do ser humano receptor do som

O primeiro factor corresponde às características da fonte ao nível da potência sonora, gama espectral e duração do som.

O segundo factor está enquadrado com a solução construtiva adoptada, que fornece a protecção sonora para os ocupantes do espaço.

O terceiro factor debruça-se sobre a relação entre o nível de pressão sonora e a distância à fonte emissora, tendo que quando a distância aumenta, procede-se a um declínio do valor de pressão sonora.

O quarto factor, não considerando a complexidade auditiva de cada ser humano individual e, com isso, adaptando uma similaridade na fisiologia padrão do ouvido do mesmo, depende, maioritariamente, da experiência e do conhecimento adquiridos pelo ouvinte definindo, assim, a sua atitude aos diversos estímulos sonoros. A percepção individual do ruído é dependente não só das características do ruído, como da sua intensidade e frequência, bem como, de factores tais como a idade do indivíduo, o seu estado mental, modo de vida e gostos. A figura 2.2 mostra a evolução progressiva da perda de audição em homens e mulheres, ao longo do tempo. É importante referir que a perda é mais acentuada nas frequências mais elevadas, afectando mais as pessoas do sexo masculino que do sexo feminino (11).

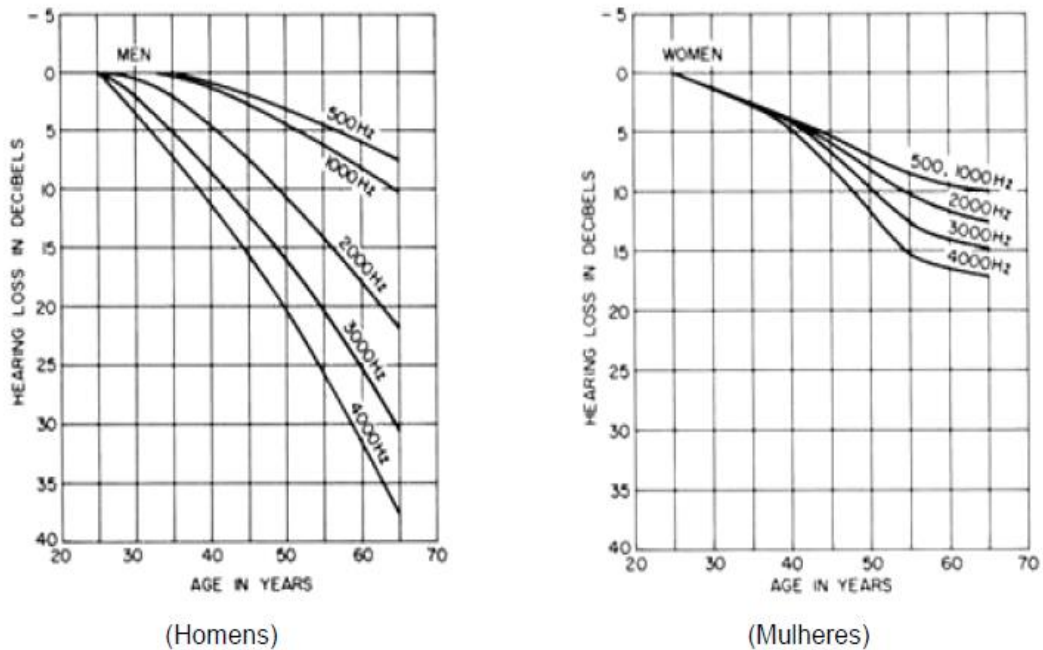


Figura 2.2 - Evolução da perda de audição devido à idade, adaptado de (11)

2.2.5 Incomodidade e Efeitos do Ruído

O conforto acústico pode ser caracterizado pela ausência de ruído, qualidade e níveis adequados dos sons desejáveis e a possibilidade de realizar actividades que não causem incómodo a terceiros (12).

São muitas as situações que podem estar na origem da sensação de incomodidade devido aos efeitos do ruído: ruído da circulação rodoviária, dos aeroportos, ruído proveniente de uma indústria, entre outros.

De todos os tipos de ruído, o ruído da circulação rodoviária é o que mais frequentemente está associado à maior incomodidade das pessoas (13).

A definição de incomodidade ao ruído envolve os sentimentos pessoais do receptor, a sua sensibilidade e as condições do ambiente onde o indivíduo está inserido. Ao querer-se medir o efeito do ruído no receptor, assim como a sua tentativa de classificação, está-se no fundo a avaliar a percepção do que pode ser designado por incomodidade ao ruído.

O grau de incomodidade atribuído a um estímulo sonoro resulta do processo mental e, sendo a mente humana um órgão complexo, é possível concluir que não é possível a criação de um medidor de incomodidade de interesse prático legislativo, ou uma escala para aplicação geral (14).

O ruído é uma das principais causas da degradação da qualidade do ambiente urbano, em consequência da elevada densidade populacional e complexidade da malha urbana, sendo que a coexistência de uma ocupação sensível e de actividades ruidosas, pode conduzir a uma situação de conflito entre os habitantes e a respectiva percepção do meio ambiente.

A exposição a sons urbanos intensos é um tema com uma importância crescente no presente devido aos efeitos negativos que causam ao ser humano a nível físico, mental e social.

A nível físico estão incluídas perdas auditivas, que podem ser permanentes ou temporárias, perturbação da circulação sanguínea e, conseqüentemente, do ritmo cardíaco e alterações do sistema respiratório.

A nível psicológico estão incluídos, irritabilidade, stress, fadiga e no plano social considera-se que o ruído é inevitável na perturbação da comunicação (15).

A figura 2.3 caracteriza, de uma forma simples mas concisa, a reacção de um indivíduo a uma fonte sonora perturbadora (16).

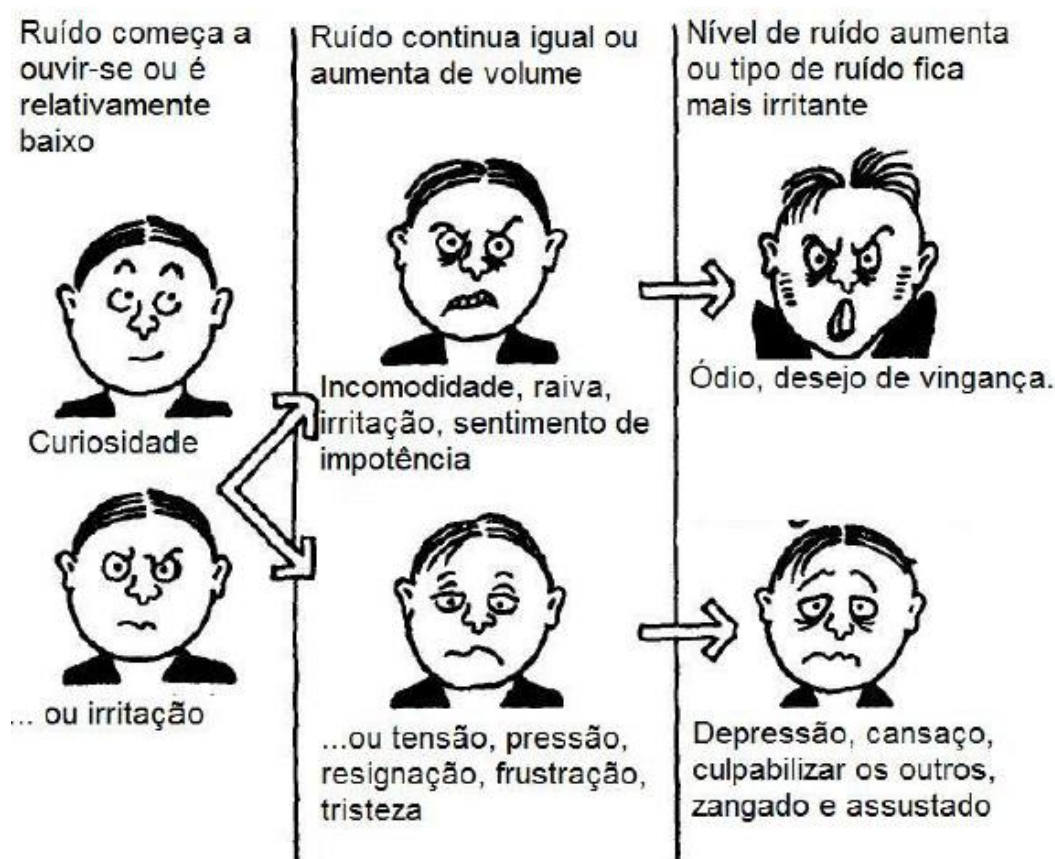


Figura 2.3 - Reacção tipo ao ruído, imagem adaptada de (16)

2.2.6 Amplitude, Comprimento de Onda e Frequência

Como já referido o som pode ser estudado enquanto fenómeno ondulatório e uma onda sonora pode ser caracterizada pela sua amplitude, frequência, comprimento de onda e período.

A amplitude, expressa em Pascal (Pa), corresponde à diferença entre os valores máximo e médio de pressão ao longo do tempo num determinado ponto do espaço.

O comprimento de uma onda sonora é a distância entre valores repetidos num modelo de onda. Esta medida é normalmente representada pela letra grega lambda (λ). O comprimento de onda pode ser calculado através da expressão 2.1:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.1)$$

Em que:

λ – Comprimento de onda (m);

c – Velocidade do som no ar a 20 °C (68 °F), que é igual a, aproximadamente, 343 m/s;

f – Frequência (Hz).

A figura 2.4 ilustra os conceitos de amplitude e comprimento de onda para os casos de duas ondas com a mesma amplitude e de frequências diferentes.

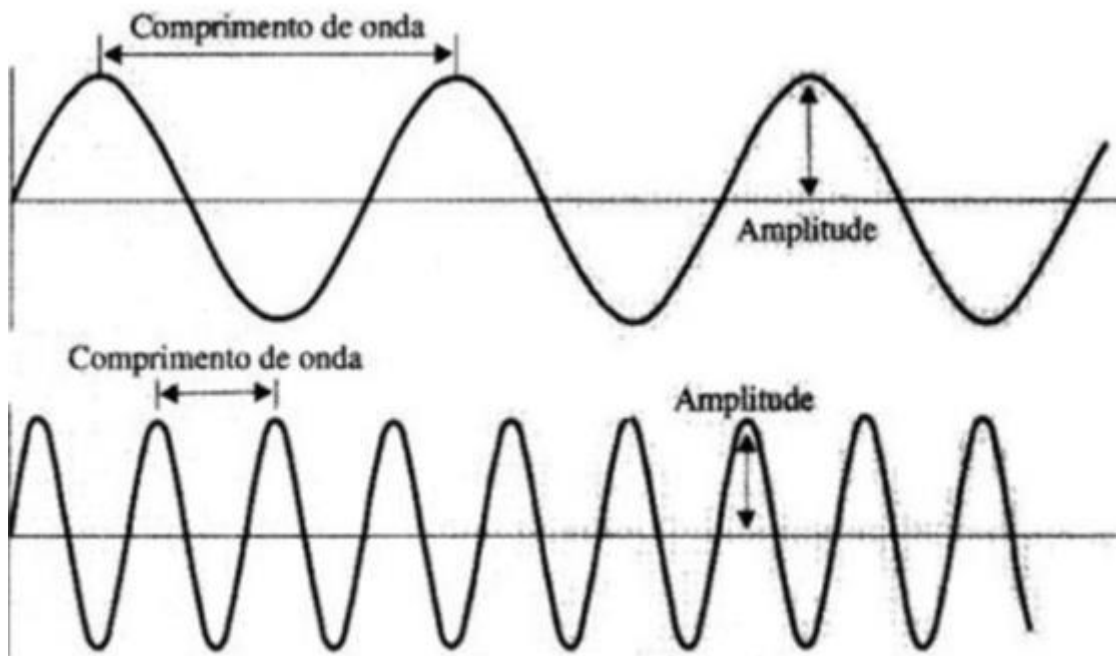


Figura 2.4 - Casos de duas ondas com a mesma amplitude e frequências diferentes

A frequência de uma onda sonora, é uma grandeza física que indica o número de ciclos (oscilações) durante um período de tempo (17). Os sons considerados “graves” são os sons com frequências mais baixas (vibrações lentas) e os sons considerados “agudos” são os sons com frequências mais elevadas (vibrações rápidas).

A figura 2.5 mostra dois tipos de onda com frequências diferentes mas com igual amplitude ao longo do tempo.

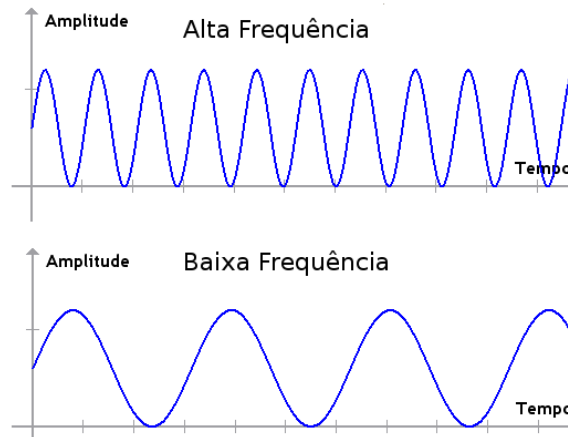


Figura 2.5 – Exemplos de ondas com diferentes frequências e amplitudes iguais

O período é o tempo de um ciclo completo de uma oscilação de uma onda, correspondendo ao inverso da frequência, como é dado pela equação 2.2.

$$T = \frac{1}{f} \quad (2.2)$$

Onde:

T – Período (s);

f – Frequência (Hz).

O som propaga-se através do ar e, atendendo à sua definição de perturbação da pressão de equilíbrio existente, tem-se a seguinte representação gráfica de som na figura 2.6, adaptada de (8), para a variação da pressão existente, neste caso, a pressão atmosférica ($10^5 Pa$) num determinado ponto do espaço.

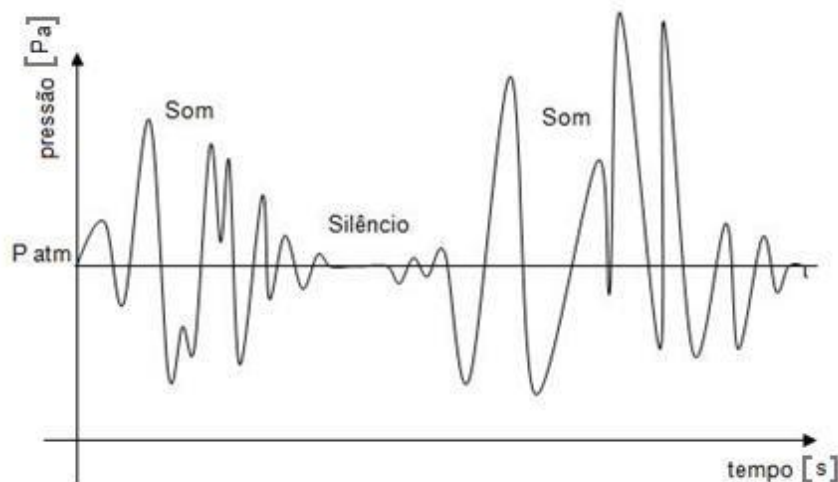


Figura 2.6 - Variação da pressão num ponto em relação à pressão atmosférica

2.2.4 Pressão Sonora

O sistema auditivo humano consegue captar uma gama bastante alargada de variações de pressão que vão desde o limiar da audição (10^{-5} Pa) até ao limiar da dor (100 Pa). Visto que a aplicação de uma escala linear em Pascal conduziria ao uso de valores muito díspares e de uso pouco prático, acrescido pelo facto do ouvido humano não responder de forma linear a esses estímulos, mas sim de uma forma quase logarítmica, definiu-se deste modo, uma escala com a unidade Bel. O nome desta unidade foi escolhido em honra de Alexander Graham Bell (1847-1922), o inventor do telefone. A unidade decibel (dB) é então, uma unidade logarítmica que indica a proporção de uma unidade física (energia ou intensidade) em relação a um nível de referência especificado. Uma relação em decibéis é igual a dez vezes o logaritmo de base 10 da razão entre duas quantidades de energia (18). Um decibel é um décimo da unidade bel, raramente utilizada.

A figura 2.7 apresenta exemplos das exposições ao ruído na vida quotidiana em Pa (valor absoluto) e em decibel.

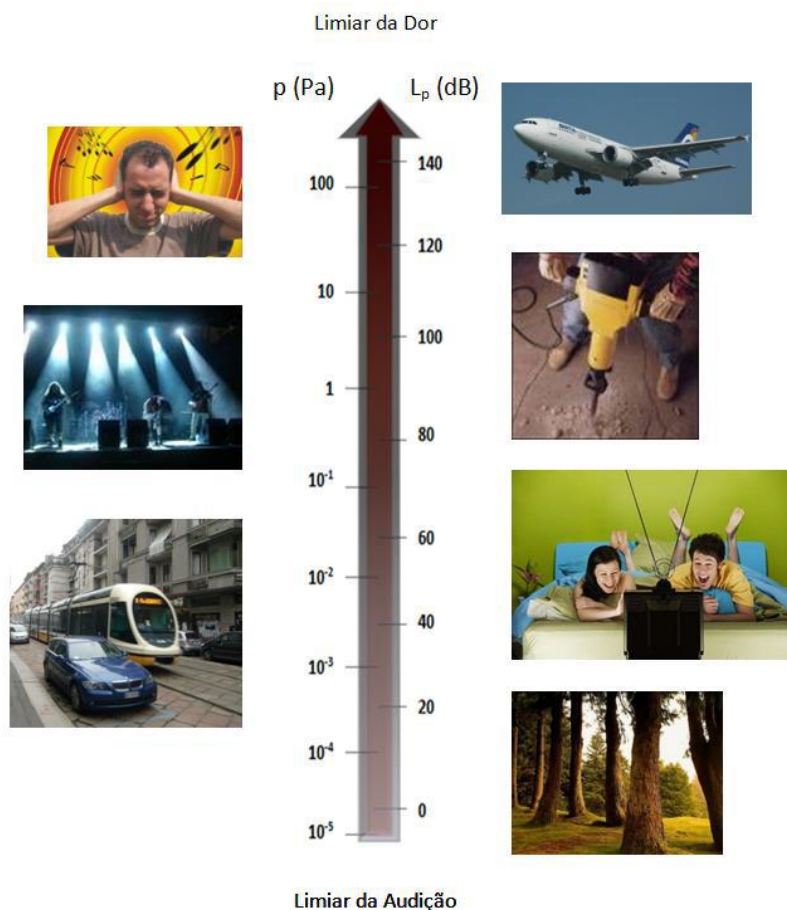


Figura 2.7 - Noções de exposição ao ruído em situações do quotidiano

A pressão sonora num dado instante não é necessária de ser conhecida, mas sim um valor eficaz entre dois instantes. A pressão eficaz entre dois instantes é determinada da seguinte forma:

$$P_{ef}^2 = \frac{1}{t_2 - t_1} \times \int_{t_1}^{t_2} P^2(t) \cdot dt \quad (2.3)$$

Onde:

$P(t)$ – Pressão sonora num ponto num determinado instante (Pa);

t_1 – Primeiro instante;

t_2 – Segundo instante.

Para a conversão de pressões (Pa) em níveis de pressão sonora (dB) utiliza-se a seguinte expressão:

$$L_p = 10 \times \log_{10} \left(\frac{P_{ef}^2}{P_0^2} \right) \quad (dB) \quad (2.4)$$

Em que:

L_p – Nível de pressão sonora (dB);

P_{ef}^2 – Valor da pressão sonora eficaz entre dois instantes (t_1 e t_2);

P_0^2 – Valor da pressão sonora de referência (2×10^{-5} Pa)

2.2.5 Nível sonoro

Um ser humano jovem e de audição normal ouve numa gama de frequência que varia entre os 20 Hz e os 20 kHz, designada por gama do audível. É normal distinguir-se a gama do audível em três grandes zonas de frequências: frequências graves (20 a 360 Hz), médias (355 a 1400 Hz) e agudas (1400 a 20000 Hz). Sons de frequência inferior ou superior são denominados como infra-sons ou ultra-sons, respectivamente (7).

A caracterização de um som pelo seu nível sonoro traduz-se na necessidade de ajustar a sensibilidade auditiva do ouvido humano, em função das frequências em que o som é emitido. Este pode ser expresso em dB, sendo mais correntemente apresentado em dB(A) e não dá informação sobre a distribuição do nível do nível ao longo da frequência (8).

O sistema auditivo humano dá maior ou menor importância ao som conforme a frequência em que este é emitido, como tal, introduziram-se filtros electrónicos nos equipamentos de medida para que o som captado por estes seja semelhante ao som captado pelo ouvido humano. Os filtros (ou malhas de ponderação) corrigem o som captado pelos aparelhos de medição e ajustam-no à subjectividade do ouvido humano.

Existem quatro tipos de malhas de ponderação, a curva A para ruídos de fraca intensidade (inferior a 55 dB), as malhas B e C para ruídos mais intensos (respectivamente de 55 a 85 dB e

superior a 85 dB) e a malha D que se utiliza especialmente para ruídos de aviões. Actualmente tem-se generalizado o uso da malha A, sendo que as restantes malhas têm caído em desuso (7).

O nível sonoro denomina-se por L se expresso em dB(A) ou L_A se expresso em dB. A sigla A é representativa da malha que se usa. A figura 2.8 mostra as diversas malhas de ponderação em função da frequência (adaptado de (19)).

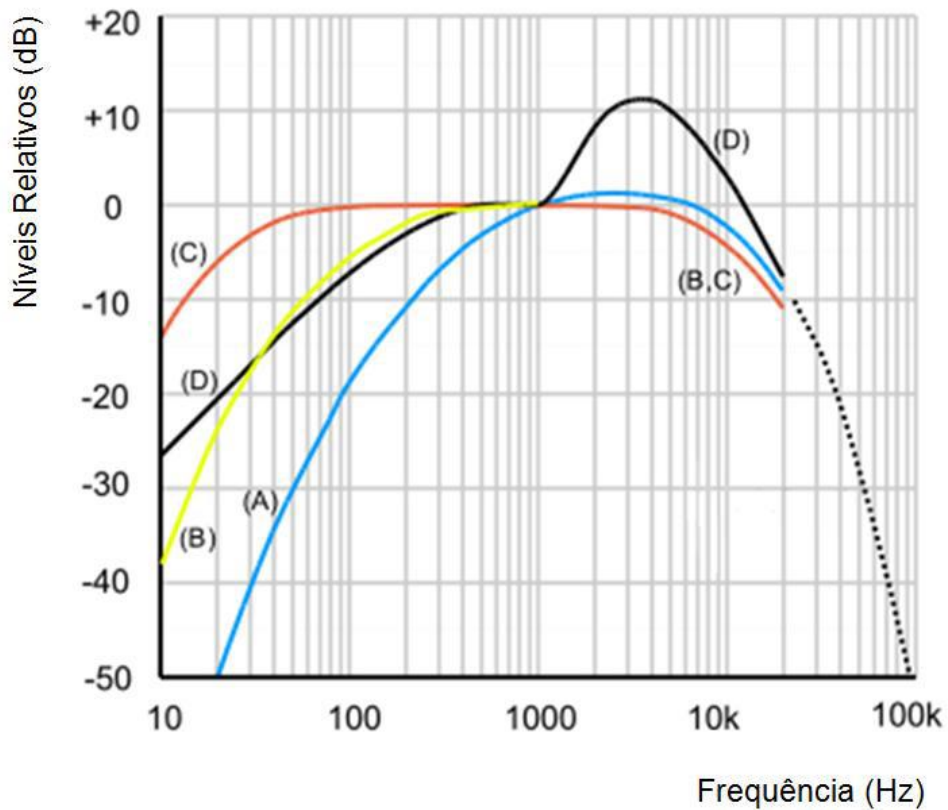


Figura 2.8 - Descrição das malhas de ponderação A, B, C e D.

O cálculo do valor do nível sonoro, usando uma malha de ponderação A, corresponde à integração corrigida, em termos de energia, do conteúdo espectral em presença. A ponderação respectiva, como pode ser constatada pelos termos correctivos associados à aplicação da malha A, vão “despenalizar” substancialmente a participação dos componentes do espectro nas bandas de frequências baixas. Esta ponderação é definida de acordo com a seguinte equação:

$$L_p = 10 \times \log \left(\sum_i 10^{0,1 \times (L_{pi} + C_i)} \right) \quad (2.5)$$

Em que:

L_p – Nível de pressão sonora (dB);

L_{pi} – Nível de pressão sonora em cada uma das bandas de frequência i consideradas;

C_i – Correções relativas à malha de ponderação em causa (malha A)

Como se pode verificar, o valor do nível sonoro corresponde à soma dos níveis sonoros parciais referentes a cada banda de frequências i . Com isto, para o caso da existência de n fontes, a operar em simultâneo, a soma dos níveis sonoros é feito de maneira idêntica ao da equação 2.5, tomando o valor $C_i = 0$ para cada fonte i (8). A tabela 2-1 apresenta as correções C_i , devidas à malha A, por bandas de frequências com a largura de um terço de oitava, entre as frequências centrais extremas de 100 Hz e 5000 Hz.

Tabela 2-1 - Correções devidas à malha A, adaptado de (8)

Banda de frequências (Hz)	Correcção C_i (Hz)	Banda de frequências (Hz)	Correcção C_i (Hz)	Banda de frequências (Hz)	Correcção C_i (Hz)
100	-19.1	500	-3.2	2500	1.3
125	-16.1	630	-1.9	3150	1.2
160	-13.4	800	-0.8	4000	1.0
200	-10.9	1000	0.0	5000	0.5
250	-8.6	1250	0.6		
315	-6.6	1630	1.0		
400	-4.8	2000	1.2		

A instabilidade temporal da generalidade dos ruídos obriga a que, para se descrever um fenómeno sonoro, se recorram a “descritores” que entrem em conta com o factor tempo (20).

O “descriptor” que permite avaliar um conhecimento acústico segundo um único valor designa-se pela sigla L_{eq} , nível de pressão sonora contínuo equivalente. Este termo, caracteriza-se como sendo o nível que, se actuasse num dado intervalo de tempo, produziria a mesma energia que o som que se pretende avaliar, como é descrito na figura 2.9.

Para a obtenção do valor do nível de pressão sonora contínuo equivalente num dado intervalo de tempo, recorre-se à seguinte expressão:

$$L_{eq} = 10 \times \log \left(\frac{1}{T} \sum_i t_i \times 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (2.6)$$

$$T = \sum t_i$$

Sendo:

T – Tempo total (minutos);

t_i – Períodos de funcionamento (minutos);

L_i – Nível de pressão sonora (dB)

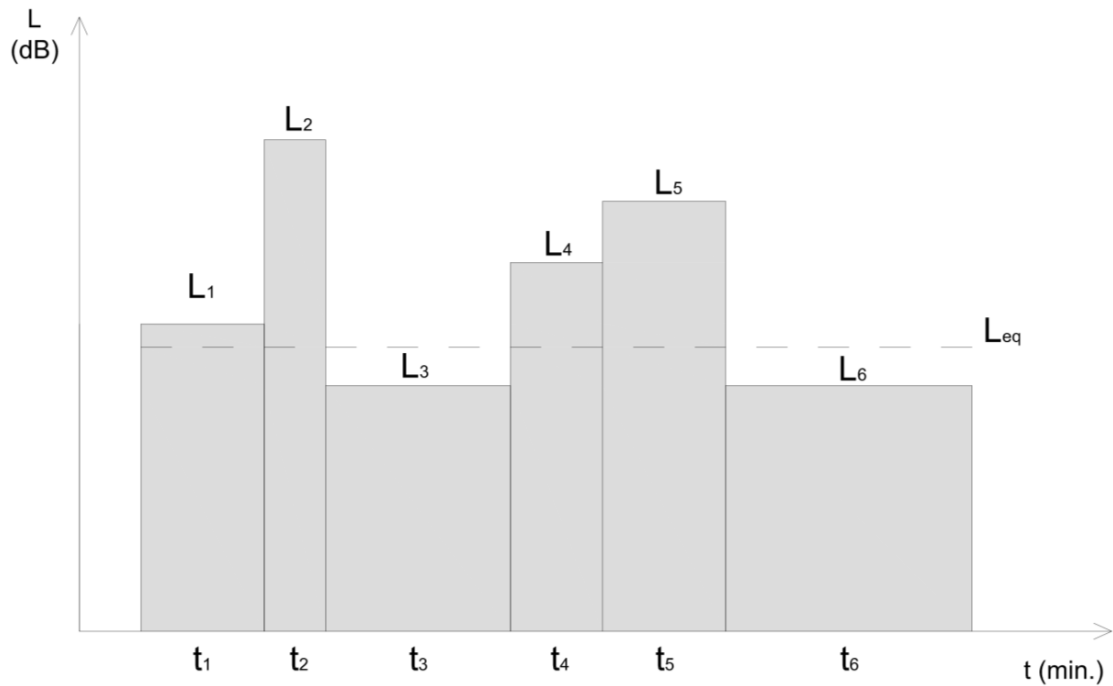


Figura 2.9 - Nível de pressão contínuo equivalente L_{eq}

2.2.6 Bandas de frequências

Como se referiu anteriormente o ouvido médio tem capacidade de detectar sons com frequências situadas na gama de 20 Hz a 20 kHz, sendo esta, obviamente, uma escala muito extensa (8).

No sentido de facilitar as medições e análises de níveis sonoros e de pressão sonora numa gama tão alargada recorre-se ao tratamento da informação por bandas de frequências. Uma banda é, então, um conjunto de frequências entre um limite inferior (f_1) e um limite superior (f_2), caracterizada pela sua frequência central (f_0) (7), existem três bandas de largura proporcional normalizadas. Tais bandas são denominadas, respectivamente, por bandas de oitava, bandas de 1/3 de oitava e bandas de 1/12 de oitava.

No caso da acústica de edifícios, as bandas de frequências comumente usadas, situam-se entre os 100 Hz e 5000 Hz.

Na tabela 2-2 estão expostos os valores das frequências centrais e os seus respectivos limites – inferiores e superiores – das bandas de frequências utilizadas em acústica de edifícios (oitavas e terços de oitava).

Tabela 2-2 - Frequências centrais das bandas de oitava e de terços de oitava, e respectivos limites, adaptado de (8)

Frequência Central (Hz)	Banda de terços de oitava (Hz)	Bandas de oitava (Hz)
100	89.1 - 112	89.1 - 178
125	112 - 141	
160	141 - 178	
200	178 - 224	178 - 355
250	224 - 282	
315	282 - 355	
400	355 - 447	355 - 708
500	447 - 562	
630	562 - 708	
800	708 - 891	708 - 1410
1000	891 - 1120	
1250	1120 - 1410	
1630	1410 - 1780	1410 - 2820
2000	1780 - 2240	
2500	2240 - 2820	
3150	2820 - 3550	2820 - 5620
4000	3550 - 4470	
5000	4470 - 5620	

É importante referir que as medições realizadas em condições laboratoriais devem ser sempre efectuadas com a utilização de filtros, com a largura de um terço de oitava.

2.2.7 Tempo de Reverberação

O tempo de reverberação (T_r) é definido como “o tempo em que o nível de pressão sonora demora a decair 60 dB desde que a fonte sonora cessa a sua emissão” (20).

As ondas emitidas por uma fonte sonora podem ser de origem directa ou reflectida. As primeiras atingem o receptor sem encontrar nenhum obstáculo no seu percurso. As ondas reflectidas atingem o receptor, após uma ou múltiplas reflexões nas superfícies que o compartimento possua. Com as sucessivas reflexões no meio receptor, as mesmas vão-se tornando cada vez mais fracas, devido às absorções sofridas pelos elementos constituintes do compartimento bem como pela absorção sonora do ar, criando-se, assim, um efeito de rasto sonoro – a reverberação.

Uma expressão matemática que determina a relação existente entre a absorção sonora, o tempo de reverberação e o volume do compartimento é dado pela fórmula de Sabine:

$$T = \frac{0.16 \times V}{A} \quad (2.7)$$

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i \times S_i$$

Em que:

T – Tempo de reverberação (s);

V – Volume do compartimento (m³);

A – Área de absorção sonora equivalente (m²);

α_i – Coeficiente de absorção sonora do material;

S_i – Superfície real do material (m²).

2.2.8 Equipamentos de medição

“*In situ*” são utilizados vários tipos de equipamentos, conforme o tipo de elemento que se esteja a medir. Para a medição do isolamento a sons aéreos são utilizados os seguintes equipamentos:

Sonómetro – Consiste num analisador em tempo real, preparado para recolher grande quantidade de dados da acústica em espectro de uma oitava ou um terço de oitava, podendo medir numa gama de valores em frequência e nível sonoro comparáveis com o ouvido humano (figura 2.10).



Figura 2.10 - Sonómetro

Calibrador – Antes de cada utilização do sonómetro é recomendável ajustar toda a cadeia de medição, utilizando-se para este efeito um calibrador acústico (figura 2.11). Este equipamento é uma fonte sonora que gera um nível de pressão sonora específico (geralmente de 94 dB), a uma determinada frequência (1000 Hz) (8).



Figura 2.11 - Calibrador de Sonómetro

Fonte omnidirecional com amplificador – Permite a geração de ruído para a realização de ensaios acústicos (figura 2.12).



Figura 2.12 - Amplificador e fonte omnidirecional

2.3 Enquadramento Legal

Em Portugal as ferramentas legislativas disponíveis no âmbito da regulamentação do ruído são o Regulamento Geral do Ruído (RGR) que, para o caso de edifícios, é complementado pelo Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE).

A legislação em vigor no território nacional, encontra-se publicada desde Janeiro de 1998, ano em que entrou em vigência o Regulamento Geral sobre o Ruído, aprovado pelo decreto-lei nº 251/87. Posteriormente, este regulamento foi substituído pelo Regime Legal Sobre a Poluição Sonora, aprovado pelo decreto-lei nº 292/2000. Nos dias de hoje, vigora um novo regulamento geral de ruído, estabelecido pelo decreto-lei nº 9/2007, válido desde 1 de Fevereiro. Complementando este regulamento, para as condições acústicas dos edifícios destaca-se o regulamento de requisitos acústicos dos edifícios (RRAE), aprovado pelo decreto-lei nº 192/2002, tendo sido actualizado pelo decreto-lei nº 96/2008, actualmente em vigor.

2.3.1 Regulamento Geral do Ruído

No RGR são reguladas as actividades ruidosas permanentes e temporárias e a outras fontes de ruído sujeitos a causar incomodidade tal como o ruído de vizinhança. Este regulamento estipula os valores limites de exposição ao ruído em função da classificação de uma zona como mista ou sensível.

Zona sensível é aquela com área definida em plano municipal de ordenamento do território orientada para o uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços, com o intuito de servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período nocturno.

Uma zona mista é caracterizada como a área definida em plano municipal de ordenamento de território, cuja ocupação seja destinada a outros usos, para além dos descritos na definição de zona sensível.

2.3.1 Regulamento Geral do Ruído

No RRAE é estabelecida a vertente do conforto acústico no âmbito do regime da edificação, contribuindo para a melhoria da qualidade do ambiente acústico e para o bem-estar e saúde da população, em concordância com o regime jurídico relativo ao ruído ambiente. Neste documento são estabelecidos os requisitos acústicos para os edifícios, com o propósito de melhorar as condições de qualidade acústica dos mesmos.

As normas deste regulamento são aplicadas à construção, reconstrução, ampliação ou alteração dos seguintes tipos de edifícios (1):

1. Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras;
2. Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais;
3. Edifícios escolares e similares, e de investigação;
4. Edifícios hospitalares e similares;
5. Edifícios desportivos;
6. Estações de transporte de passageiros;
7. Auditórios e salas.

Para este trabalho e de acordo com o especificado no DL nº 96/2008, os requisitos acústicos dos edifícios devem obedecer às seguintes disposições legais vigentes:

Tabela 2-3 - Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos (1)

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

Os valores limites referidos são acrescidos de -3dB em zonas urbanas consolidadas com violação até 5 dB (A) dos valores limites (nº 7 do artigo 12 do RGR).

Se o elemento em análise apresentar uma área translúcida superior a 60% deve ser adicionado ao índice o termo de adaptação apropriado (C ou C_{tr}) conforme o tipo de ruído existente (1).

Tabela 2-4 - Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre quartos ou zonas de estar dos fogos (1)

Índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$, entre quartos ou zonas de estar dos fogos.	
Compartimentos de um fogo	≥ 50 dB
Locais de circulação comum dos edifícios	≥ 48 dB
Garagem de estacionamento automóvel	≥ 50 dB
Caminho de circulação vertical (edifício com ascensor)	≥ 40 dB
Locais destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão	≥ 58 dB

Aos valores medidos é acrescido um factor de incerteza I, associado à determinação das grandezas em causa que assume o valor de 3 dB.

3. Isolamento a sons aéreos e permeabilidade ao ar de fachadas

3.1 Introdução

Este capítulo aborda os conceitos necessários para uma melhor compreensão do universo referente ao isolamento acústico e suas condicionantes, bem como os conceitos de permeabilidade ao ar de fachadas e suas particularidades.

Os sons aéreos são provenientes de excitações directas do ar por fontes sonoras que, aplicadas ao caso dos edifícios, se materializam tanto em ruídos exteriores, provenientes de corredores de tráfego e de actividades exteriores ruidosas, como em ruídos interiores, provenientes do funcionamento de equipamentos e da própria actividade humana no interior dos mesmos (8).

No interior dos edifícios existem campos sonoros que têm origem em ruídos produzidos por diversas fontes sonoras, com características de emissão que podem variar no espaço e no tempo, em natureza (tipo de fonte) e em composição espectral.

Considerando a sua origem, os sons aéreos relevantes para o conforto acústico nos edifícios podem enquadrar-se em dois grande grupos: sons de proveniência exterior e sons interiores, sendo o primeiro grupo o estudado neste trabalho.

Num sentido geral, no grupo dos sons aéreos de proveniência exterior estão incluídos, fundamentalmente, os provenientes de tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo, de instalações industriais e de entretenimento público. Por sua vez, os sons interiores são devidos, predominantemente, à utilização do edifício, tais como os equipamentos colectivos ou as actividades dos ocupantes.

Neste contexto, é de fácil percepção que os sons de proveniência exterior irão determinar o tipo de isolamento sonoro da envolvente dos edifícios enquanto os sons interiores serão determinantes no isolamento necessário a ser assegurado pelos elementos definidores da respectiva compartimentação (8).

A permeabilidade ao ar das janelas é um parâmetro de grande importância para o conforto no interior de um edifício. De acordo com (21) a permeabilidade ao ar deve ser limitada de forma a “reduzir as perdas de calor limitando a potência de instalação de aquecimento e o consumo anual de energia” evitando, também, “as correntes de ar frio”.

A permeabilidade ao ar depende da exposição do edifício ao vento (22) e define a quantidade de ar, em m^3 , que atravessa uma superfície, por hora, para uma diferença de pressão, dada por Pa, sendo expressa em $m^3/(h \times m^2)$.

3.2 Caracterização do isolamento a sons aéreos

Um dos aspectos de maior relevância no conforto acústico dos edifícios prende-se com o isolamento a sons aéreos, a assegurar tanto pelos elementos constituintes das fachadas como da compartimentação interior. Assim, importa que na fase de projecto seja convenientemente avaliado o isolamento sonoro em causa, em conformidade com o disposto nas exigências funcionais estabelecidas e suportadas pela regulamentação vigente, por forma a que o ambiente no interior dos edifícios satisfaça padrões de conforto adequados (8). Para uma caracterização adequada do isolamento a sons aéreos, no domínio da frequência, recorre-se a medições de acordo com as normas NP EN 20140-3 (23) para ensaios laboratoriais e para ensaios *in situ* às normas NP EN ISO 16283-1: 2014 (24) e NP EN ISO 140-5: 2015 (25) para fachadas. As medições são feitas por bandas de frequência de largura de um terço de oitava entre as frequências centrais de 100 Hz e 3150 Hz. As medições realizadas *in situ* possibilitam a avaliação da conformidade do isolamento sonoro do espaço com desempenho expectável enquanto as medições em laboratório apenas permitem atribuir uma quantificação do isolamento conferido por um determinado elemento de compartimentação (8).

Conforme um procedimento esquemático de ensaio apresentado na figura 2.2, onde estão dispostas duas câmaras e o provete a ensaiar, a Câmara 1 corresponde ao local emissor, a Câmara 2 ao local receptor e o provete de ensaio ao elemento ou sistema que se quer caracterizar. Neste contexto, é natural considerar que, a Câmara 1 represente o espaço exterior, isto é, simula o espaço exterior do edifício.

Este método pode ser aplicado na caracterização do comportamento acústico de elementos de compartimentação a partir de medições efectuadas tanto em laboratório como *in situ* (8).

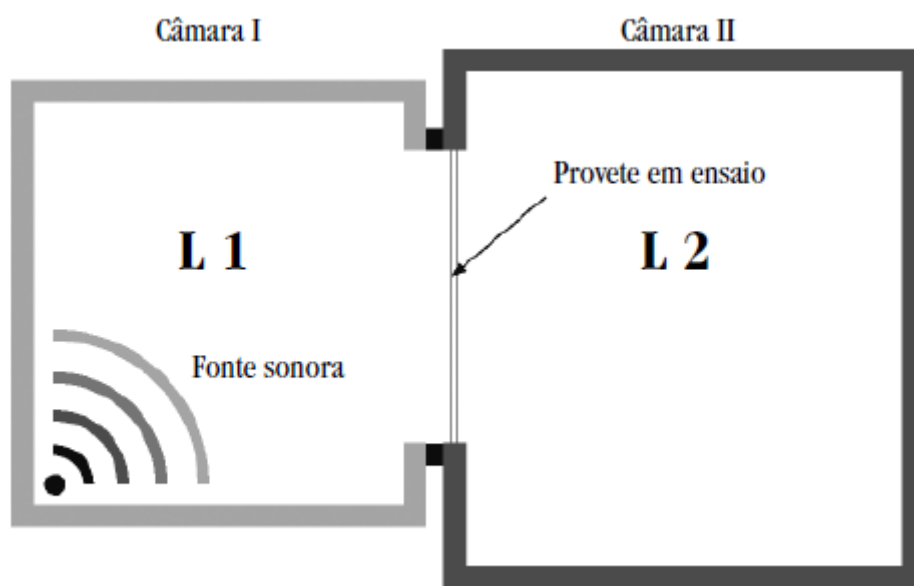


Figura 3.1 - Ilustração esquemática do ensaio de caracterização do isolamento a sons aéreos (8)

Em laboratório, quando se caracteriza o desempenho acústico de elementos de compartimentação, não é considerada a contribuição da transmissão marginal. Esta contribuição apenas é contabilizada nas medições *in situ* para os índices de isolamento sonoro a sons aéreos e de percussão (8).

3.2.1 Isolamento a sons aéreos entre espaços

Admitindo a existência de uma fonte sonora num determinado compartimento emissor, que irradia um determinado nível médio de pressão sonora L_1 , que será transmitido a um local receptor pela vibração dos elementos da envolvente, dando origem a um nível médio de pressão sonora L_2 .

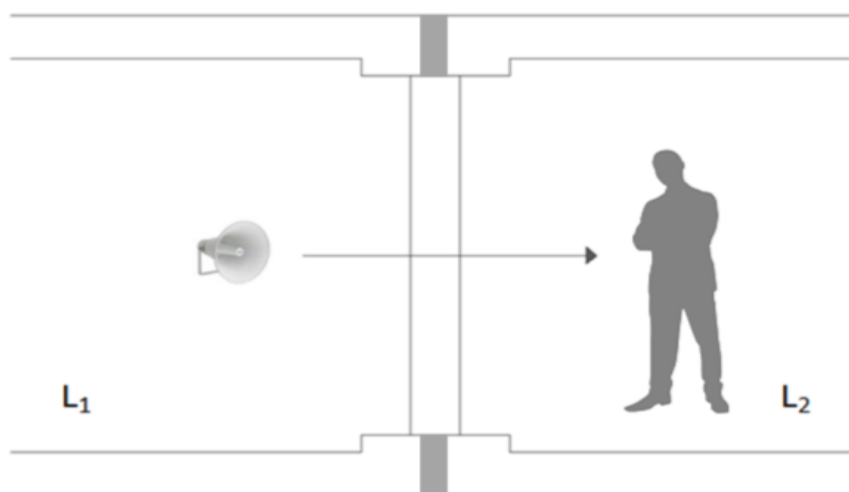


Figura 3.2 - Transmissão sonora entre compartimentos (ensaio em laboratório)

A redução sonora designa-se como sendo o isolamento sonoro bruto (ΔL), representada pela equação 3.1. Esta situação apenas acontece em simulações realizadas em laboratório (câmaras reverberantes).

$$\Delta L = L_1 - L_2 \quad (3.1)$$

Onde:

ΔL – Isolamento sonoro bruto (dB);

L_1 – Nível médio de pressão sonora no compartimento emissor (dB);

L_2 – Nível médio de pressão sonora no compartimento receptor (dB).

Estando garantidos todos os pressupostos preconizados pela norma NP EN 20140-3 (23), que rege a execução de ensaios laboratoriais para a determinação do índice de redução sonora entre compartimentos, obtém-se a seguinte expressão:

$$R = \Delta L - 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \quad (3.2)$$

Sendo:

R – Índice de redução sonora (dB);

ΔL – Isolamento sonoro bruto (dB);

S – Superfície do elemento de compartimentação (m^2);

A – Área de absorção sonora equivalente do espaço de recepção (m^2).

3.2.1.1 Medições *in situ*

A medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos é feita de acordo com os ensaios especificados na norma NP EN ISO 16283-1 (24), de preferência por bandas de frequência de um terço de oitava entre frequências centrais de 100 Hz e 3150 Hz, sendo apresentado na figura 3.3.

O processo de determinação do isolamento sonoro de elementos construtivos consiste na medição dos níveis médios de pressão sonora nos locais emissor e receptor, produzidos por um campo sonoro colocado no compartimento emissor.

O campo sonoro produzido no compartimento emissor deve ser um ruído rosa de elevada intensidade (cerca de 100 dB) e não deve apresentar diferenças de níveis superiores a 6 dB entre bandas de terço de oitava adjacentes.

Deve-se garantir que o nível de pressão sonora medido no compartimento receptor excede, no mínimo, em 10 dB o nível do ruído de fundo em qualquer banda de frequências.

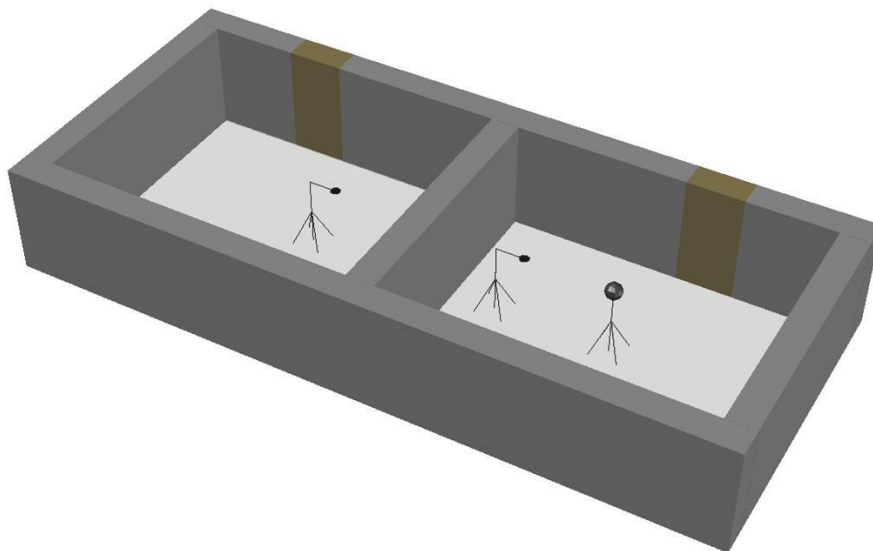


Figura 3.3 - Esquema de medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos

Desta forma, é possível obter os valores do isolamento sonoro bruto ΔL , por banda de frequência, e corrigi-los para o tempo de reverberação do compartimento receptor, obtendo D_{nT} , índice de isolamento sonoro padronizado (24).

$$D_{nT} = \Delta L + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (3.3)$$

Em que:

ΔL – Isolamento sonoro bruto (dB);

T – Tempo de reverberação do espaço de recepção (s);

T_0 – Tempo de reverberação de referência (0,5 s)

O tempo de reverberação toma o valor de 0,5 segundos pois, foi verificado que em compartimentos de habitação, mobilados, o tempo de reverberação é razoavelmente independente do volume e da frequência sendo aproximadamente igual a 0,5 segundos (24).

3.2.2 Isolamento a sons aéreos de elementos de fachada

3.2.2.1 Medições *in situ*

A medição do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas é feita de acordo com os ensaios normalizados especificados na norma NP EP ISO 140-5 (25), preferencialmente por bandas de frequência de largura de um terço de oitava entre as frequências centrais de 100 Hz e 3150 Hz.

O processo de determinação do isolamento sonoro de fachadas consiste na medição dos níveis médios de pressão sonora nos locais emissor e receptor, produzido por um campo sonoro colocado no local emissor, sendo este o exterior.

A fonte sonora deve ser colocada a uma distância (d) da fachada, sendo o seu nível de potência sonora suficientemente elevado para estabelecer um nível de pressão sonora no local receptor que exceda, em pelo menos 6 dB, o ruído de fundo em todas as bandas de frequências em ensaio.

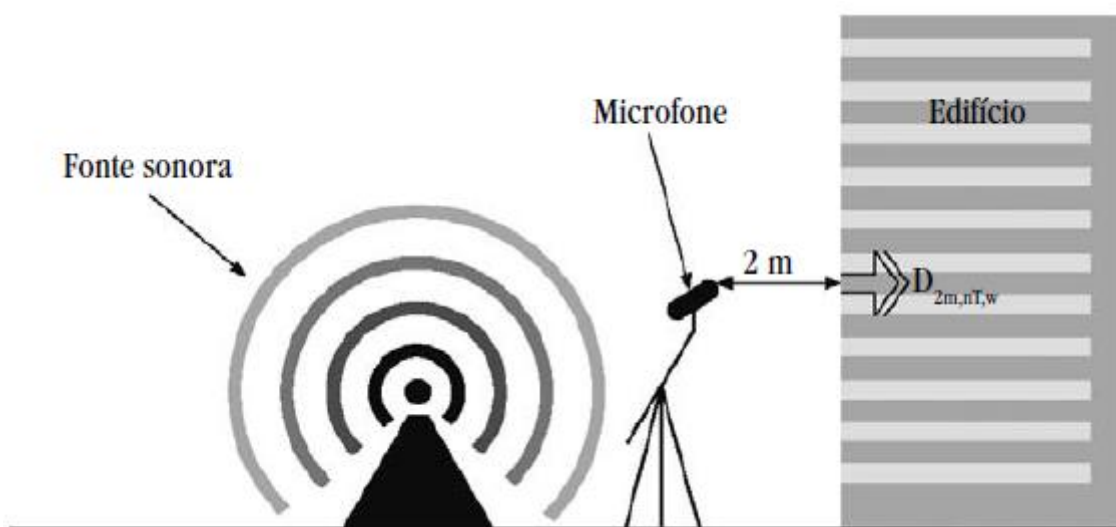


Figura 3.4 - Esquema de medição do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas, adaptado de (8)

Pela diferença entre o nível médio de pressão sonora no exterior $L_{1,2m}$, medido a 2 m de distância da fachada, e o nível médio medido no local receptor, caracterizado por L_2 , obtemos os valores do isolamento sonoro bruto com o exterior Δ_{2m} , por cada banda de frequências (25).

$$\Delta_{2m} = L_{1,2m} - L_2 \quad (3.4)$$

Onde:

D_{2m} – Isolamento sonoro bruto com o exterior (dB);

$L_{1,2m}$ – Nível médio de pressão sonora no exterior (dB);

L_2 – Nível médio de pressão sonora no local receptor (dB).

Fazendo a correcção desses valores para o tempo de reverberação do compartimento receptor, obtém-se o valor do isolamento sonoro a ruídos de condução aérea com o exterior $D_{2m,nT}$, padronizado para T_0 (25).

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (3.5)$$

Onde:

$D_{2m,nT}$ – Isolamento sonoro a ruídos de condução aérea com o exterior (dB);

D_{2m} – Isolamento sonoro bruto em relação com o exterior (dB);

T – Tempo de reverberação do espaço de recepção (s);

T_0 – Tempo de reverberação de referência (0,5 s)

3.3 Caracterização experimental

No que respeita a sons aéreos, a caracterização dos elementos de compartimentação, tanto horizontais como verticais (pavimentos e paredes) é feita de acordo com o descrito na Norma NP EN 20140-3 (23), relativa ao procedimento a realizar em laboratório (equação 3.6) (8).

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \quad (3.6)$$

Sendo:

R – Índice de isolamento sonoro (dB);

L_1 – Nível médio de pressão sonora no compartimento emissor (dB);

L_2 – Nível médio de pressão sonora no compartimento receptor (dB);

S – Área do provete de ensaio, igual à área de abertura de ensaio (10 m²);

A – Área de absorção sonora equivalente do espaço de recepção (m²).

Para ensaios a realizar *in situ* (equação 3.7), são seguidas as técnicas consagradas na Norma NP EN ISO 16283-1 (24).

$$D_n = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{A_0}{A} \right) \quad (3.7)$$

Onde:

D_n – Índice de isolamento sonoro padronizado (dB);

L_1 – Nível médio de pressão sonora no compartimento emissor (dB);

L_2 – Nível médio de pressão sonora no compartimento receptor (dB);

A_0 – Área de absorção sonora equivalente de referência (10 m²);

A – Área de absorção sonora equivalente do espaço de recepção (m²).

Além desta caracterização é possível, também, efectuar a quantificação do isolamento sonoro de elementos de compartimentação de edifícios à custa de um valor único (índice) - R_w , $D_{nT,w}$ ou $D_{2m,n,w}$ -, comparando uma dada descrição do nível de pressão sonora, obtida através de um ensaio, com uma descrição convencional de referência, conforme o descrito pela norma EN ISO 717-1 (26).

Todos os valores obtidos são, então, comparados com os valores de referência (Tabela 3-1) nas bandas de frequência de medição, na gama de 100 Hz a 3150 Hz, quando se consideram bandas de frequência com a largura de um terço de oitava (26).

Tabela 3-1 - Valores de referência para sons de condução aérea (26)

Banda de frequência	Valores de referência	
	Hz	Bandas de terços de oitava
100	33	36
125	36	
160	39	
200	42	45
250	45	
315	48	
400	51	52
500	52	
630	53	
800	54	55
1000	55	
1250	56	
1630	56	56
2000	56	
2500	56	
3150	56	

3.3.1 Método de comparação

De maneira a avaliar os resultados das medições realizadas com as normas já anteriormente descritas, por bandas de frequências com a largura de um terço de oitava, os valores devem ser arredondados à décima. Para determinar o índice de isolamento sonoro a partir dos resultados de uma dada medição, ajusta-se a curva com os valores medidos com a curva de referência (Figura 3.5) por patamares de 1 dB, para que a soma dos desvios desfavoráveis seja a maior possível mas não superior a 32 dB, para medições em 16 bandas de terços de oitava (26).

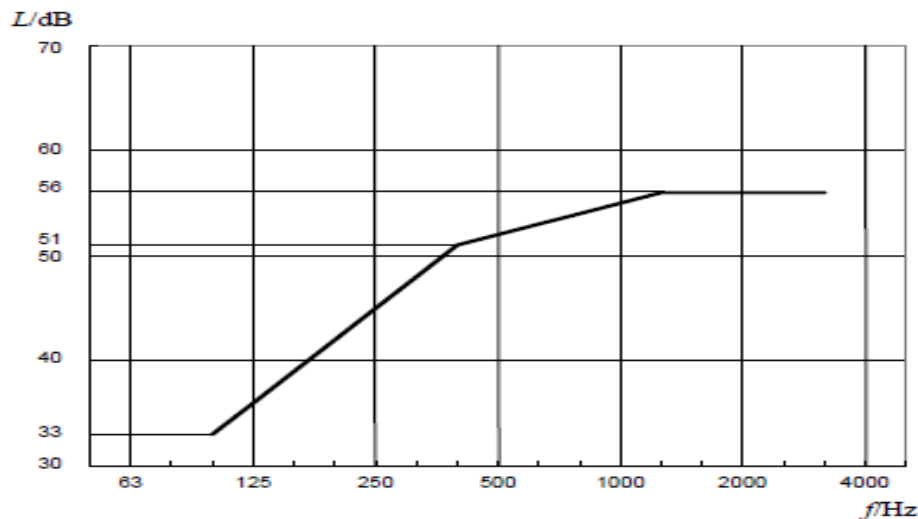


Figura 3.5 - Curva dos valores de referência para sons de condução aérea por bandas de frequências com largura de um terço de oitava

Após a execução deste ajustamento, o índice de isolamento sonoro normalizado R_w , $D_{n,w}$ ou $D_{2m,n,w}$, corresponde ao valor da ordenada da descrição convencional de referência para a frequência de 500 Hz.

Deve, ainda, ser referido que a normalização em vigor aponta especificamente para a utilização de curvas de perdas de transmissão determinadas por medições realizadas por bandas de frequência com a largura de um terço de oitava.

Para a caracterização do desempenho de elementos de construção torna-se importante referir um aspecto de extrema importância que a norma contém: a aplicação de um termo de adaptação a um determinado espectro, ou seja, combinar a um determinado índice, uma certa correcção que tenha em conta as propriedades de espectros específicos. Neste caso, os espectros em causa são o de ruído rosa e o de ruído de tráfego, expressos em decibel A (figura 3.6 e tabela 3-2) (8).

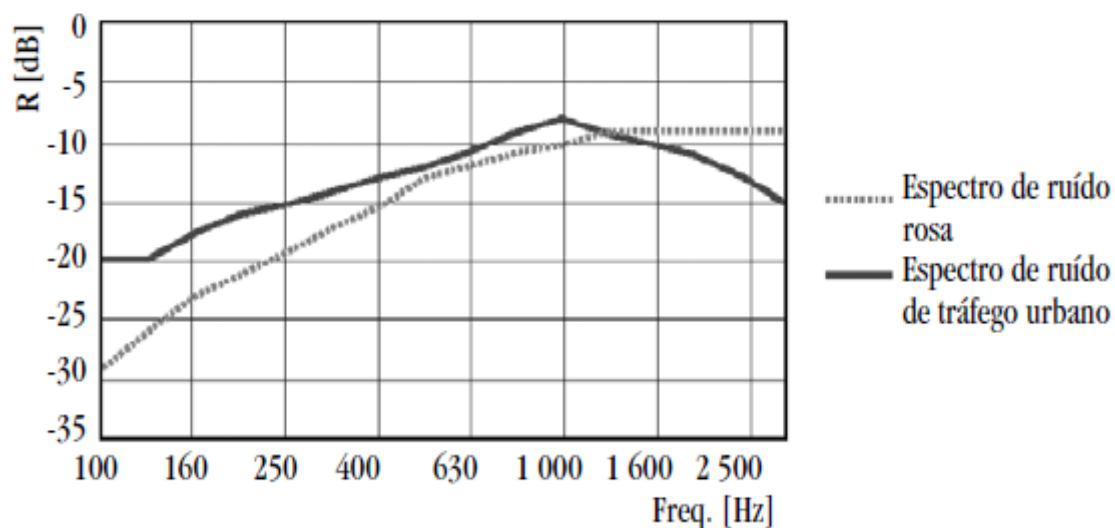


Figura 3.6 - Espectros de ruído rosa e de tráfego rodoviário em tecido urbano, ponderados pela malha A (8)

Tabela 3-2 - Espectros para cálculo dos termos de adaptação

Banda de Frequência (Hz)	Valores do espectro para o cálculo de C	Banda de Frequência (Hz)	Valores do espectro para o cálculo de C _{tr}
	L _{ij}		L _{ij}
100	-29	100	-20
125	-26	125	-20
160	-23	160	-18
200	-21	200	-16
250	-19	250	-15
315	-17	315	-14
400	-15	400	-13
500	-13	500	-12
630	-12	630	-11
800	-11	800	-9
1000	-10	1000	-8
1250	-9	1250	-9
1600	-9	1600	-10
2000	-9	2000	-11
2500	-9	2500	-13
3150	-9	3150	-15

Estas correções são aplicadas, de forma mais corrente, aos valores obtidos em laboratório com o intuito de efectuar a transição dos mesmos para as aplicações *in situ*, sempre que esteja em causa a necessidade de atribuir isolamento sonoro em concordância com a existência de fontes sonoras específicas (8).

A tabela 3-3 inclui os tipos de fontes sonoras para cada tipo de espectro referido anteriormente e os termos de adaptação que se consideram mais apropriados a utilizar, segundo a Norma NP EN ISO 717-1 (26). Neste trabalho o termo C não é estritamente essencial pois não adopta o cenário de tráfego rodoviário urbano, garantido por C_{tr} , que se mostra como o mais importante factor a analisar.

Tabela 3-3 - Termo de adaptação em função do tipo de fonte sonora (8)

Tipo de Fonte Sonora	Espectro Indicado	Termo de Adaptação
Actividades humanas (palavra, música, rádio, TV) Brincadeiras de crianças Tráfego ferroviário a velocidade média ou elevada Tráfego rodoviário (< 80 km/h) Avião a reacção a curta distância Oficinas que emitam ruído em médias e altas frequências	Espectro de ruído rosa	C
Tráfego rodoviário urbano Tráfego ferroviário a velocidade reduzida Avião a hélice Avião a reacção a grande distância Música de discoteca Oficinas que emitam ruído em baixas e médias frequências	Espectro de ruído de tráfego urbano	C_{tr}

No caso de os termos correctivos abrangerem uma gama de frequências superior à utilizada na determinação do índice de isolamento sonoro (100 – 3150 Hz) é possível extender o espectro em causa, por exemplo, para uma banda de frequências de 50 a 5000 Hz. Neste caso, os termos de adaptação apresentam a seguinte forma: $C_{50-5000}$ e $C_{tr,50-5000}$.

3.4 Classificação da permeabilidade ao ar de fachadas

As caixilharias apresentam uma permeabilidade ao ar considerável, que é possível medir através de ensaio. De acordo com a norma EN 1026:2000 (27) e com o intuito de medir o caudal de ar que atravessa as juntas das janelas e de qualquer material em função da diferença de pressão entre o interior e o exterior, as janelas devem ser submetidas a um ensaio de permeabilidade ao ar que irá ser mais aprofundado noutro capítulo.

Por sua vez, a norma EN 12207:2000 (28) estabelece uma classificação referente a uma comparação da permeabilidade ao ar da amostra de ensaio, por referência à superfície total e à sua permeabilidade ao ar comparado com o comprimento da junta de abertura.

A norma EN 12207:2000 indica-nos num gráfico (figura 3.7) as diferentes zonas em que se deslocam estas infiltrações, de acordo com a pressão do vento e o caudal em m^3 , tanto pela superfície da janela como pelo comprimento das juntas.

Uma janela ensaiada pertence a uma determinada classe, se a permeabilidade ao ar medida não ultrapassar o limite superior a qualquer pressão de ensaio da mesma. A janela será então

classificada de acordo com uma das cinco classes de permeabilidade ao ar, numeradas de 0 a 4, em que a classe 0 é a classe sem ensaio e a classe 4 a de menor permeabilidade.

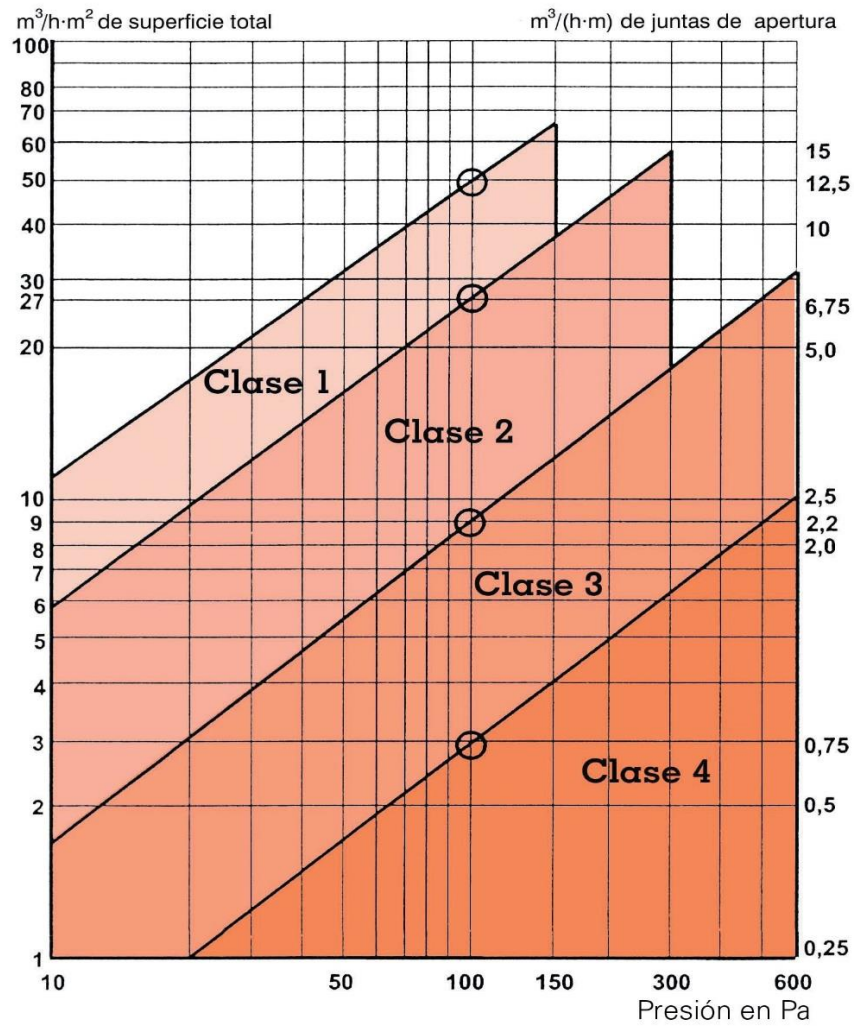


Figura 3.7 - Classe de permeabilidade ao ar, de acordo com a área total da janela e do comprimento das juntas de zonas da janela que abrem, função da pressão de ensaio (28)

A figura seguinte mostra a utilidade da utilização deste ensaio para a determinação da classe de permeabilidade ao ar de uma caixilharia.

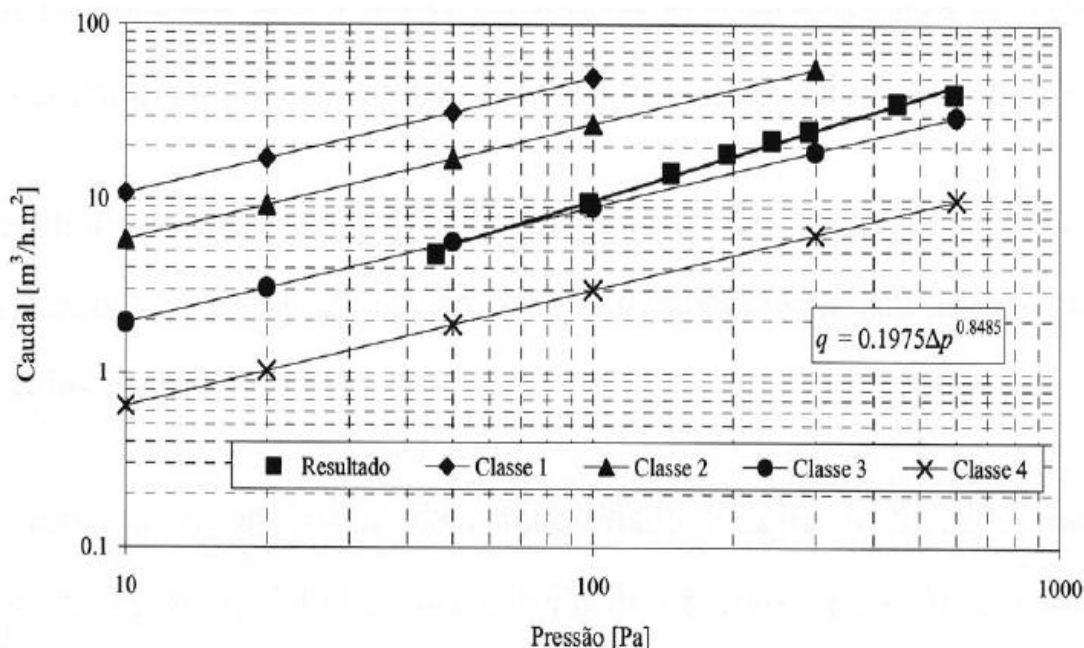


Figura 3.8 - Permeabilidade ao ar de caixilharia em função da área total da janela

Os critérios de selecção da caixilharia relativamente a esta exigência devem ser estabelecidos tendo em conta que os picos momentâneos da velocidade do vento podem causar correntes de ar desagradáveis para os ocupantes e que as perdas de calor através da renovação de ar dos compartimentos estão associados a ventos que se fazem sentir durante longos períodos de tempo e, portanto, têm velocidades relativamente reduzidas (29).

As tabelas 3-4 e 3-5 indicam a pressão máxima de ensaio para cada classe de permeabilidade ao ar, assim como a permeabilidade ao ar para uma pressão de referência de 100 Pa em função da área da janela e do comprimento total das juntas abertas, respectivamente (28).

Tabela 3-4 - Permeabilidade ao ar função da área da janela, a uma pressão de referência de 100 Pa, para as pressões máximas de ensaio (28)

Classe	Permeabilidade ao ar a uma pressão atmosférica de referência de 100 Pa (m³/h.m²)	Pressão de ensaio máxima (Pa)
0	Sem ensaio classificado	
1	50	150
2	27	300
3	9	600
4	3	600

Tabela 3-5 - Permeabilidade ao ar função do comprimento total das juntas de zonas da janela que abrem, a uma pressão de referência de 100 Pa, para as pressões máximas de ensaio (28)

Classe	Permeabilidade ao ar a uma pressão atmosférica de referência de 100 Pa (m³/h.m)	Pressão de ensaio máxima (Pa)
0	Sem ensaio classificado	
1	12,5	150
2	6,75	300
3	2,25	600
4	0,75	600

4. Elaboração do inquérito

4.1 Introdução

Um inquérito pode incidir sobre opiniões, atitudes ou informação real, em função do objectivo, sendo que todos envolvem a formulação de questões a indivíduos. Quando usados correctamente, tornam-se instrumentos eficazes para a obtenção da informação pretendida a partir da análise de respostas de um universo de inquiridos, e são flexíveis no sentido em que pode ser recolhida uma grande variedade de informação. De outra maneira, o sucesso de um inquérito depende da motivação, honestidade, memória e capacidade de resposta dos sujeitos. Se a amostra recolhida não for representativa da população, então as características identificadas da população, não podem ser conclusivas.

Para a elaboração do inquérito foram consultados os princípios descritos na Norma NP 4476 (30), que aponta critérios para a realização de inquéritos que incluam questões sobre os efeitos do ruído, incluindo recomendações sobre a maneira de apresentar as questões, escalas de resposta, e aspectos fulcrais para conduzir o inquérito e para produzir um relatório de resultados.

Pelo descrito na secção seis da referida norma, “Especificações para avaliar o grau de incomodidade”, devem-se apresentar os resultados dos questionários como uma frequência ou uma distribuição cumulativa das contagens individuais de incomodidade, se disponível para cada categoria de exposição ao ruído. Outras estatísticas podem ser apresentadas de forma resumida, como sejam a média ou a mediana das contagens de incomodidade, ou a percentagem de inquiridos que estão incomodados num determinado grau.

Nenhuma especificação é fornecida para definir a percentagem do inquiridos que deverão ser considerados como tendo, por exemplo, um determinado grau de incomodidade, como sendo “muito” incomodado. Isto depende dos valores-limite usados em cada país ou preferidos por cada investigador. Com base na distribuição de frequências especificada, poderá ser escolhido qualquer valor-limite (30).

4.2 Planeamento do inquérito

4.2.1 Metodologia e Objectivo

Para a elaboração de um inquérito têm de ser seguidos múltiplos passos onde cada etapa é nitidamente definida, desde a forma como a informação é recolhida até à apresentação dos resultados obtidos.

O objectivo do inquérito incorporado neste trabalho é o de avaliar junto da população, o peso diferencial de cada um dos tipos ruídos apresentados e a importância, tanto do isolamento sonoro ao ruído exterior como a estanqueidade ao ar das janelas das fachadas, na percepção do conforto acústico da habitação.

Esses dados deverão ser traduzidos em valores numéricos relativos a uma escala definida a fim de relacionar os diferentes índices considerados.

4.2.2 Público-alvo

Aquando da elaboração de um questionário, um dos primeiros aspectos a considerar é o público-alvo.

O inquérito em causa foi elaborado visando um público-alvo constituído por pessoas residentes em Portugal, de preferência na faixa etária dos 18 aos 65 anos, pelo facto de ser este perfil de pessoa com mais maturidade, possuindo, ou procurando, adquirir uma habitação, e conseqüentemente, uma pessoa mais receptiva à importância do isolamento sonoro para a qualidade das habitações.

De modo a ser obtido um maior número de respostas, a melhor forma encontrada foi o uso de uma ferramenta de preenchimento *online* e a sua divulgação através das redes sociais. Este pormenor na forma da distribuição do inquérito introduz uma nova característica na amostra populacional que se irá obter, à qual corresponde a residentes em Portugal que possuam ligação à *internet*. Não sendo este um aspecto condicionante no estudo, poderá ter influência a nível do relevo da amostra e na sua distribuição geográfica.

4.2.3 Formulação das questões

Na formulação das perguntas a incluir num questionário é preciso ter em consideração o tipo de questões que irão ser utilizadas, tais como as vantagens e desvantagens associadas a cada tipo. O vocabulário deve ser empregue, em função da informação que se pretende extrair do público, sendo necessário de forma a evitar interpretações erradas, e também adequar o grau de complexidade nos termos usados ao público (31). De natureza não menos importante será a ordem com que as questões são apresentadas, devendo as mesmas seguir uma lógica, facilitando o raciocínio por parte do inquirido.

No que se refere ao tipo de questões a considerar no inquérito optou-se pelas questões fechadas. Nestas questões o inquirido apenas selecciona um opção, de entre as apresentadas, que mais se adequa à sua opinião, pois são estas que proporcionam maior rapidez e comodidade de resposta, permitindo um tratamento e análise mais acessível devido à facilidade de quantificação dos resultados.

A linguagem a usar neste tipo de inquéritos sócio-acústicos deve seguir certos passos. Dada a especificidade do tema em causa, existem certas expressões que são mais adequadas. Para este requisito ser cumprido, foram seguidas as recomendações estipuladas na Norma NP 4476 (30), descritas em seguida.

A utilização do termo “ruído” sempre que se pretenda referir um som indesejável devendo, normalmente, ser empregues as expressões “incomoda” ou “desconforto”, que são expressões tidas como fundamentais para transmitir uma impressão geral de uma reacção negativa.

Analisando um aspecto mais específico, pois é comum utilizar respostas em forma de escala, é frequente a utilização de termos como “absolutamente nada” ou “pouco” que traduz uma menor

incomodidade possível seguindo-se, na ordem crescente de incomodidade, os termos “ligeiramente”, “moderadamente”, “muito” e “extremamente”, sendo que a última está associada à maior incomodidade possível (30).

As questões elaboradas num inquérito devem seguir uma ordem crescente de complexidade. No inquérito inserido neste trabalho foi seguida uma lógica de iniciar o trabalho com perguntas de caracterização da amostra populacional, seguidas por questões intermédias de inserção do tema em estudo, e por fim, a questões de indicação directa dos valores relativos à incomodidade dos ruídos em causa e a importância das protecções e controlo relativamente aos mesmos.

4.3 Inquérito-tipo

4.3.1 Planeamento

No contexto da preparação do inquérito inicial é comumente utilizada a escala numérica de 11 pontos (0-10) por se julgar a de melhor compreensão. A maior parte das pessoas está familiarizada com os sistemas numéricos de base 10, através da moeda ou de outras quantidades familiares. Logicamente, o 0 da escala deve sempre significar “absolutamente nada”, enquanto que o 10 deve significar “extremamente” (30). Para o questionário em causa, a escala escolhida foi de 1-10, demonstrada na figura 4.1, pois um valor que significasse “absolutamente nada” seria praticamente impossível de alcançar para as perguntas tipo.



Figura 4.1 - Exemplo da escala utilizada nas perguntas do inquérito realizado

Entre as várias recomendações a ter em conta na elaboração do inquérito salienta-se a utilização de questões em vez de afirmações para evitar as escalas de concordância/discordância, pois nesses casos os inquiridos estão mais propensos a concordar com as afirmações independentemente do que eles significam. Sempre que uma questão é introduzida no questionário, deve ter um objectivo concreto que será usado na análise das respostas obtidas. Deve ser evitada a colocação de muitas questões na esperança de extrair um “perfil” sem uma ideia muito concreta da contribuição de cada uma das questões para esse mesmo perfil.

Se um dos propósitos for o de realizar comparações entre a incomodidade do ruído causado por diferentes fontes sonoras (30), as fontes de ruído devem ser descritas no mesmo nível de abstracção

Outro dos aspectos a ter em conta num questionário prende-se com a consistência interna do mesmo. Algumas questões, quando respondidas, podem estabelecer um contexto quanto a quem as respondeu, que convém ter em conta em questões seguintes.

4.4 Inquérito final

No que se refere à produção do esquema do inquérito a ser aplicado, o mesmo é descrito em seguida pelas 13 questões que o constituem e que podem ser visualizadas no anexo 2 A.

Primeira questão

Inicia-se o questionário pedindo aos inquiridos que indiquem a idade, dando a escolher um dos seguintes grupos etários:

- 18 a 25 anos;
- 26 a 35 anos;
- 36 a 65 anos.

Esta questão satisfaz a necessidade de caracterizar a faixa etária da população em causa para o estudo.

Segunda questão

Indicação do distrito de residência do inquirido, deixando um campo por preencher onde o inquirido escreve o nome do respectivo distrito. Esta questão permite obter uma distribuição das respostas no território nacional.

Terceira questão

Pede-se aos inquiridos que indiquem numa escala de 1 a 10, sendo o 1 “Pouco Incomodativo” e 10 “Extramente Incomodativo”, o grau que melhor representa o seu grau de sensibilidade ao ruído em geral. Esta questão tem como objectivo o de familiarizar o inquirido com a escala numérica e o tema que é abordado.

Quarta questão

Indicação do tipo de zona onde o inquirido reside, tratando-se de uma zona rural ou urbana.

Quinta questão

Nesta questão é pedido aos inquiridos que indiquem o tipo de habitação onde residem, dando a escolher uma das seguintes opções:

- Moradia isolada;
- Moradia geminada;
- Rés-do-chão de edifício multifamiliar;
- Primeiro andar de edifício multifamiliar;
- Andar intermédio de edifício multifamiliar;
- Último andar de edifício multifamiliar.

Sexta questão

Indicação do número de residentes da habitação, com as seguintes opções de única resposta:

- 1;
- 2;
- 3;
- > 4.

Sétima questão

Indicação da idade da habitação.

Oitava questão

Indicação da fonte de ruído que causa maior desconforto ao inquirido, dando a escolher uma de três opções:

- Ruído exterior proveniente de tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo;
- Ruído proveniente de indústrias;
- Ruído de espaço comercial adjacente.

Nona questão

Indicação do valor, numa escala numérica de 1 a 10, que melhor represente o grau de desconforto ao tipo de ruído da questão anterior.

Décima questão

Indicação da proximidade da habitação do inquirido a vias de tráfego.

Décima primeira questão

Indicação do horário onde se verifica o maior desconforto do tipo de ruído apresentado na questão nº8.

Décima segunda questão

Indicação do valor, numa escala numérica de 1 a 10, a importância do isolamento ao ruído proveniente do exterior da habitação.

Décima terceira questão

Indicação do valor, numa escala numérica de 1 a 10, a importância da estanqueidade ao ar (impermeabilidade) das janelas da fachada habitacional.

As duas últimas questões do inquérito são as que apresentam uma maior relevância, pois é em torno delas que se centra o tema deste trabalho e vão ser comparados os resultados obtidos com a opinião geral do universo dos inquiridos.

4.5 Tratamento e análise de dados

Após a realização do inquérito, procedeu-se ao tratamento e análise dos resultados obtidos. Os dados foram organizados com recurso ao software Microsoft Office Excel 2013.

O público-alvo deste inquérito social baseou-se em pessoas residentes em Portugal com acesso à *internet*. Para o estudo em causa decidiu-se excluir a faixa etária de mais de 65 anos pois é um grupo em que a audição sofre uma perda superior a 20 dB (33).

Uma vez obtida a amostra populacional nas faixas etárias desejadas, passou-se a lidar com um universo de 230 respostas, procedendo-se à sua descrição, conforme os aspectos referidos em seguida.

4.5.1 Idade

Em termos da faixa etária da resposta dos inquiridos, as percentagens para cada grupo não foram muito distantes uma das outras (figura 4.2), com 87 respostas para a faixa etária dos 18-25 anos, 79 respostas para os 26-35 e 64 respostas para a faixa etária dos 36-65 anos, mostrando um universo de respostas com uma variação de idades bem notória.

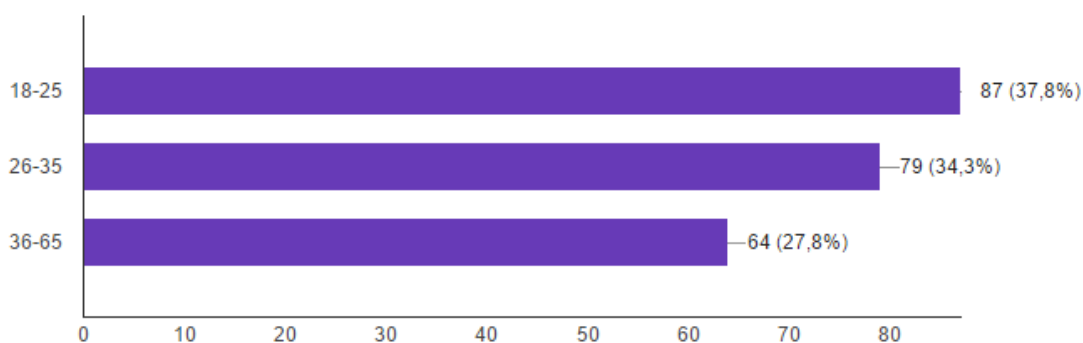


Figura 4.2 - Distribuição da faixa etária dos inquiridos

4.5.2 Distribuição Geográfica

A distribuição das respostas (figura 4.3) mostra claramente que o distrito com maior representatividade é o de Lisboa, com 67% das respostas, seguido do distrito de Setúbal com 20,2% das respostas. Com isto pode-se concluir que quase 90% do Universo das respostas está inserido na zona de Lisboa e Vale do Tejo.

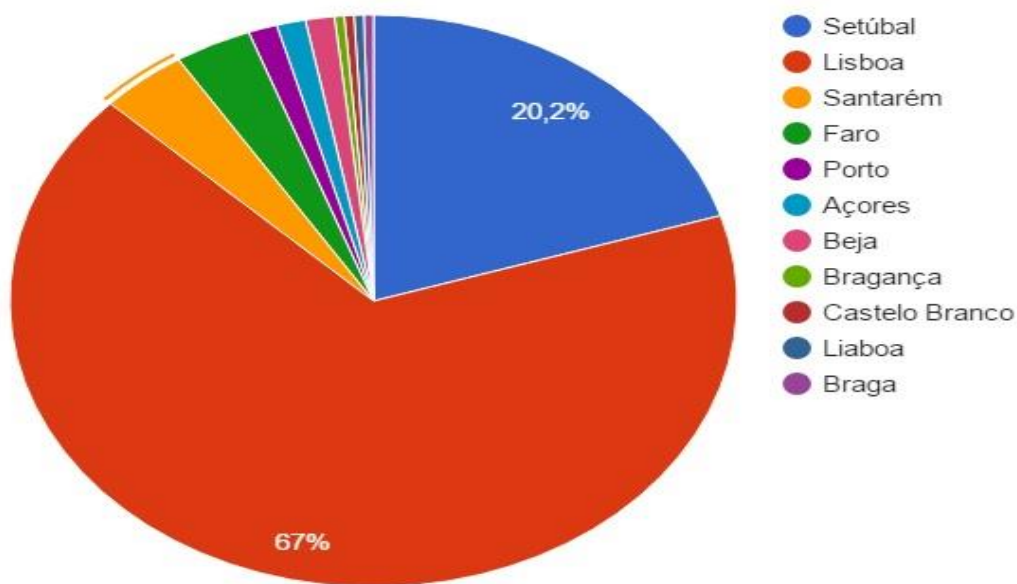


Figura 4.3 - Distribuição geográfica das respostas do inquérito

4.5.3 Sensibilidade ao ruído

No conjunto total das respostas consideradas foi possível discriminar a população quanto ao grau de sensibilidade ao ruído indicado numa escala numérica de 1 a 10.

Observa-se que mais de 80% (figura 4.4) dos inquiridos indicaram um grau de sensibilidade ao ruído igual ou superior a 5 na escala enunciada. A sensibilidade média da população inquirida equivale a 7 numa escala de 1 a 10.

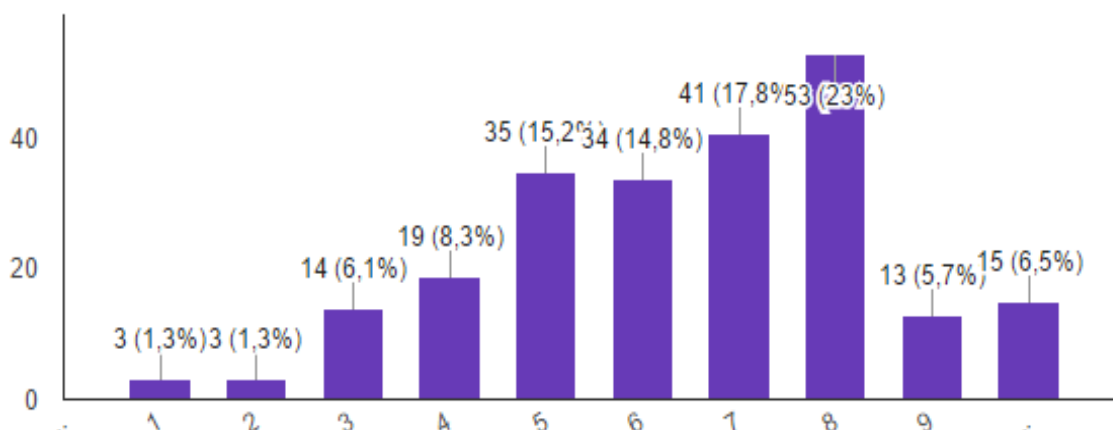


Figura 4.4 - Distribuição das respostas quanto ao grau de sensibilidade ao ruído

4.5.4 Zona Rural/Urbana

Em termos de caracterização da zona de residência dos inquiridos foi possível analisar que 87% dos mesmos afirmam residir numa zona urbana, enquanto os restantes 13% residem em zonas rurais, representado pela figura 4.5.

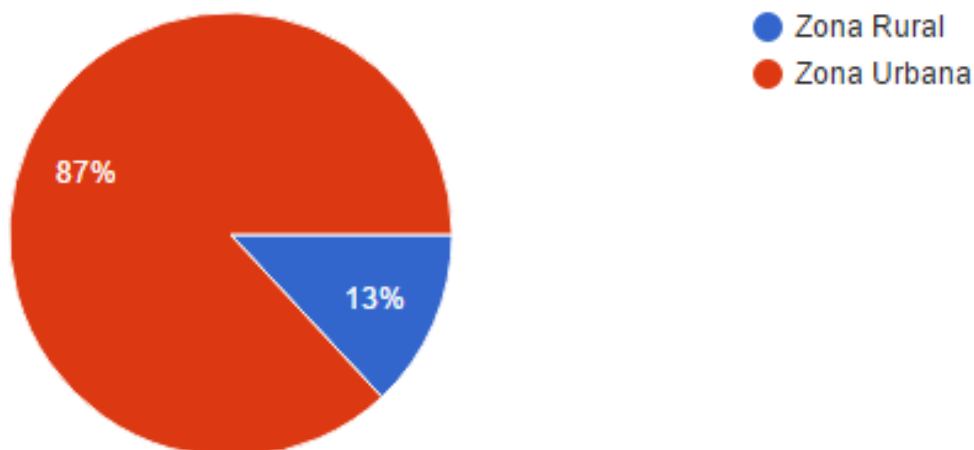


Figura 4.5 - Distribuição das respostas quanto ao tipo de zona de residência

4.5.5 Tipo de habitações

A distinção do tipo de habitação permite escolher as subamostras populacionais que melhor se inserem para estimar a incomodidade média dos tipos de ruídos associados a cada índice regulamentar, apresentado na figura 4.6. Exemplificando, considerando os ruídos provenientes do tráfego rodoviário, os mesmos fazem-se sentir com maior intensidade nos ocupantes de edifícios familiares.

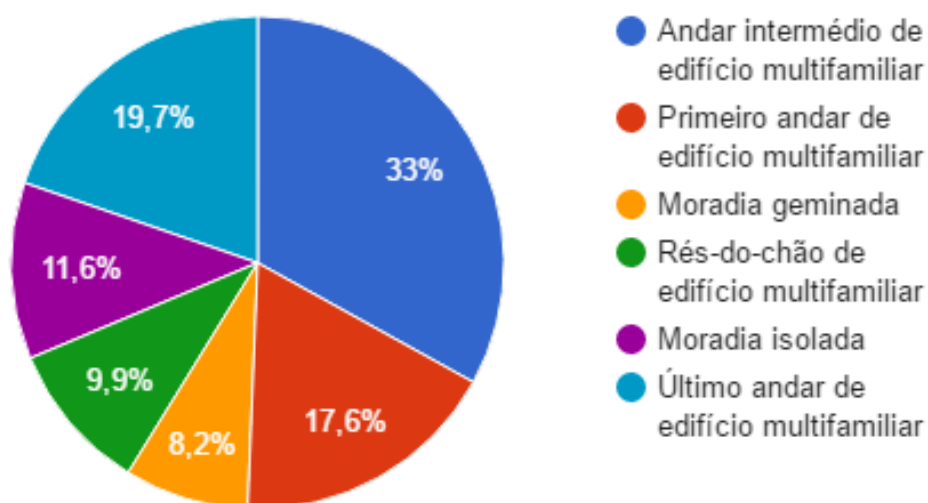


Figura 4.6 - Distribuição das respostas quanto ao tipo de habitação

4.5.6 Número de residentes

O número de residentes numa habitação (figura 4.7) é particularmente importante na caracterização da incomodidade ao ruído que se faz sentir no interior da habitação, pois é um factor com maior influência na incomodidade média ao ruído nas zonas de estar dos fogos, local este com grande importância no desenvolvimento deste trabalho.

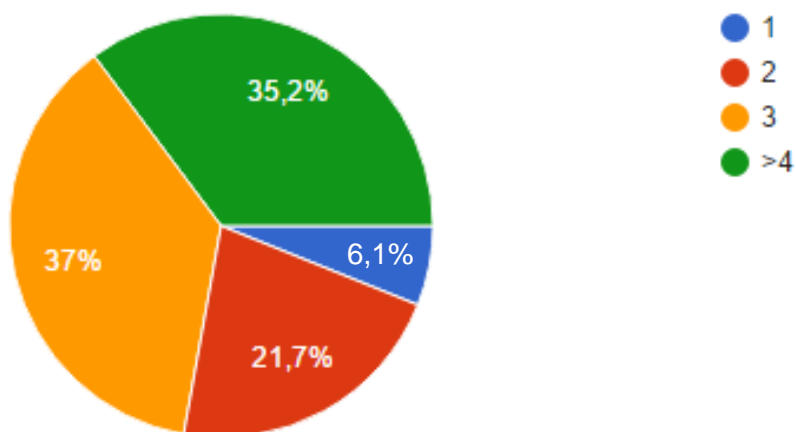


Figura 4.7 - Distribuição das respostas segundo o número de residentes da habitação

4.5.7 Idade da habitação

Os anos que a habitação possui pode ser um factor em conta, considerando a evolução das soluções construtivas ao longo dos anos e a evolução das várias legislações referentes ao desempenho acústico dos edifícios. Com isto, pelas respostas obtidas, a distribuição percentual é apresentada na figura 4.8.

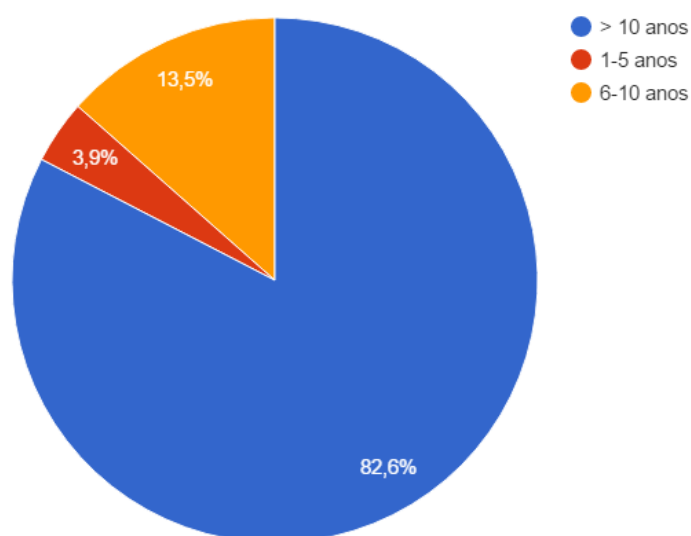


Figura 4.8 - Distribuição das respostas segundo a idade de construção

4.5.8 Fonte de ruído

Em termos de caracterização da fonte de ruído que apresenta um maior desconforto foi legítimo concluir que a maior parte do inquiridos (85,7%) considera o ruído exterior proveniente dos variados tipos de tráfego como o mais significativo, estando assim em conformidade com o objectivo do estudo deste trabalho, que se baseia no ruído exterior de tráfego.

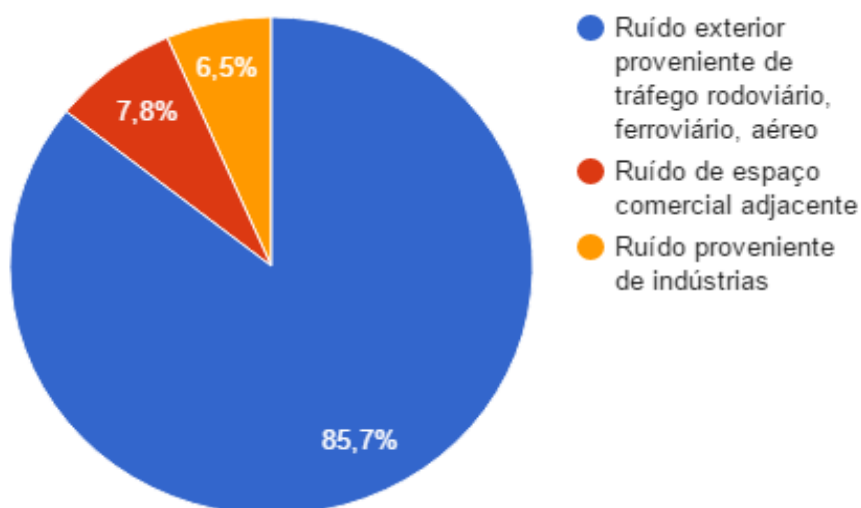


Figura 4.9 - Distribuição das respostas segundo o desconforto por tipos de fonte de ruído

4.5.9 Grau de desconforto face à fonte de ruído

No conjunto total das respostas consideradas foi possível discriminar a população quanto ao grau de desconforto face à fonte de ruído escolhida numa escala numérica de 1 a 10.

Observa-se que mais de 60% (figura 4.10) dos inquiridos indicaram um grau de desconforto à fonte de ruído igual ou superior a 5 na escala enunciada. A sensibilidade média da população inquirida equivale a 6 numa escala de 1 a 10.

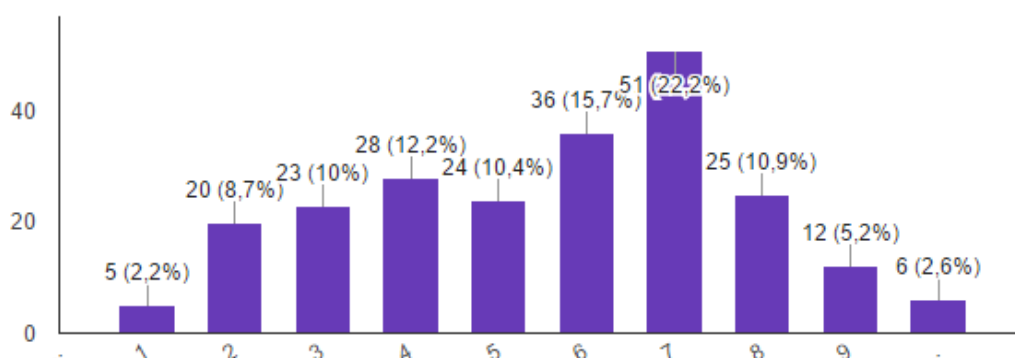


Figura 4.10 - Distribuição das respostas segundo o grau de desconforto face ao tipo de ruído exterior

4.5.10 Proximidade de via de tráfego

A caracterização da amostra populacional em função da existência ou não de uma via de tráfego próxima da habitação é relevante, na medida em que é um factor com influência directa na avaliação da incomodidade causada pelo ruído exterior.

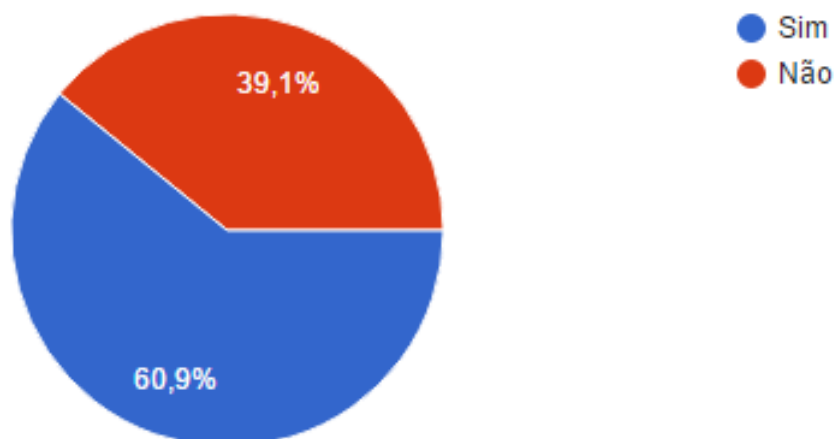


Figura 4.11 - Distribuição das respostas quanto à existência de uma via de tráfego junto à residência

4.5.11 Horário de desconforto

É relevante caracterizar o horário onde os inquiridos manifestam um maior desconforto face ao ruído exterior. Este factor terá influência para o horário onde se apresenta um maior caudal de tráfego, e onde existe uma maior probabilidade de o inquirido se encontrar na habitação (figura 4.12). É possível analisar que os grupos horários com maior percentagem respondida pendem para os intervalos horários com maior volume de tráfego, das 18h-21h e 6h-9h.

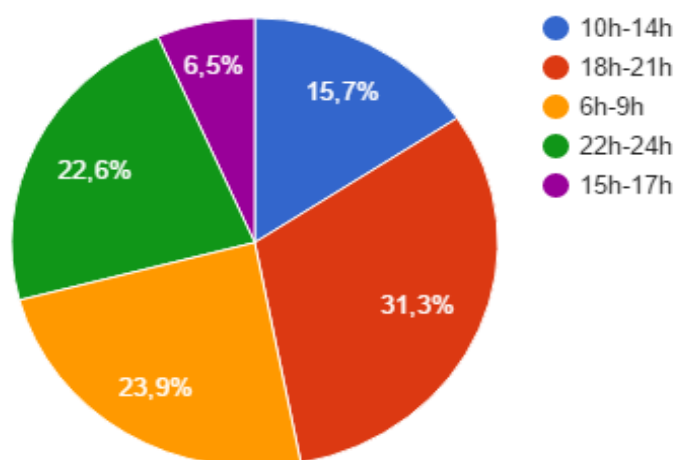


Figura 4.12- Distribuição das respostas segundo o intervalo de horário onde existe um maior desconforto

4.5.12 Isolamento ao ruído exterior

No conjunto total das respostas consideradas foi possível discriminar a população quanto à importância do isolamento face ao ruído exterior numa escala numérica de 1 a 10.

Observa-se que mais de 93% (figura 4.13) dos inquiridos indicaram a importância do isolamento face ao ruído exterior igual ou superior a 7 na escala enunciada. A sensibilidade média da população inquirida equivale a 9 numa escala de 1 a 10, mostrando que a população-alvo mostra uma notável preocupação com o isolamento da habitação.

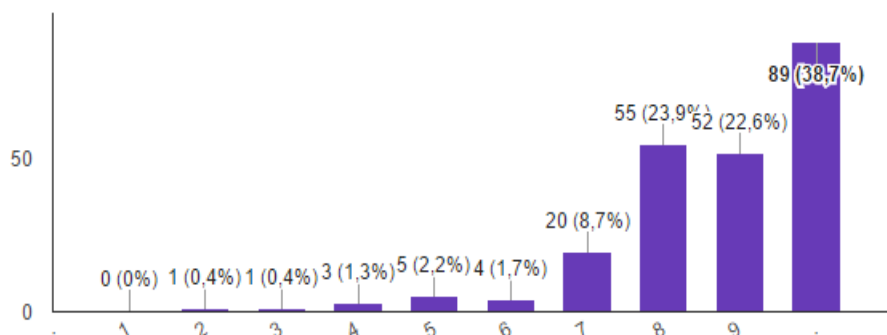


Figura 4.13 - Distribuição das respostas quanto à importância do isolamento face ao ruído exterior

4.5.13 Estanqueidade ao ar das fachadas

No conjunto total das respostas consideradas foi possível discriminar a população quanto à importância do isolamento face ao ruído exterior numa escala numérica de 1 a 10.

Observa-se que mais de 90% (figura 4.14) dos inquiridos indicaram a importância da estanqueidade ao ar das zonas translúcidas (janelas) das fachadas exterior igual ou superior a 6 na escala enunciada. A sensibilidade média da população inquirida equivale a 8 numa escala de 1 a 10, mostrando que a população-alvo mostra uma considerável preocupação com a estanqueidade ao ar das fachadas de edifícios habitacionais.

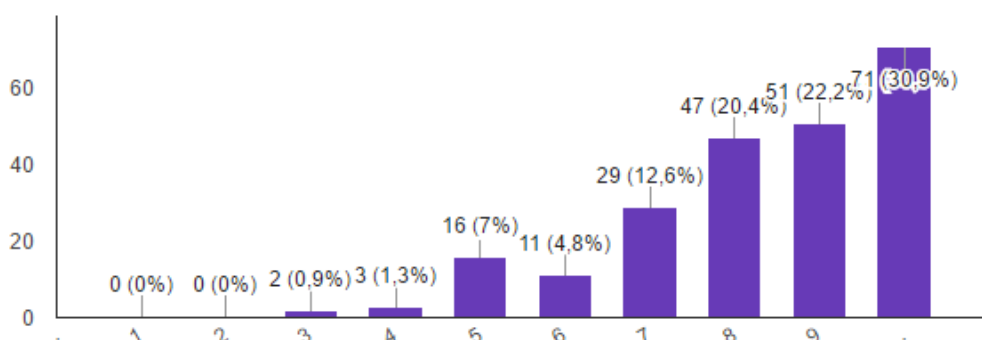


Figura 4.14 - Distribuição das respostas segundo a importância da estanqueidade ao ar das fachadas habitacionais

5. Ensaio acústicos

5.1 Introdução e Objectivo

A determinação do isolamento aos sons aéreos de acordo com a Norma NP EN ISO 16283-1 (24) necessita da escolha de dois compartimentos, um emissor, que conterá a fonte sonora e outro receptor. Todos os procedimentos, segundo a mesma norma, são válidos para compartimentos com volume compreendido entre 10 m³ e 250 m³ na gama de frequências entre 50 e 5000 Hz. As medições necessárias para os ensaios incluem os níveis de pressão sonora em ambos os compartimentos, com as fontes de operação, e os tempos de reverberação no compartimento receptor que serão enunciados mais adiante no trabalho.

No procedimento geral para o nível de pressão sonora, para todas as frequências, é utilizado um microfone fixo. A principal consideração a ter em conta no compartimento emissor inclina-se com a necessidade de utilização de protecção auditiva por parte do operador, devido à possível elevada pressão sonora que se possa sentir. Para o compartimento receptor o objectivo consiste na minimização do efeito residual, pelo que o operador deve decidir se será benéfico estar presente no mesmo, de modo a poder detectar a existência de ruído residual intermitente, ou se deve estar fora do compartimento para ser assegurado que o ruído residual não seja afectado pela presença do operador (24).

O objectivo deste ensaio passa por quantificar, avaliar e comparar o isolamento sonoro a sons aéreos para um determinado número de áreas de abertura realizadas no elemento separador das câmaras de ensaio, simulando vários cenários possíveis que irão ser especificados em seguida.

5.2 Procedimento experimental

Para estes ensaios foram utilizadas as câmaras acústicas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil com um volume de 120 m³ (figura 5.1), com uma área de 10 m² de separação entre câmaras, sendo esta a área de absorção sonora equivalente de referência para ensaios acústicos, que permite a instalação de pavimentos, fachadas translúcidas (janelas) ou paredes de estudo. As câmaras são construídas em betão armado e os seus compartimentos independentes minimizando, desta forma, a propagação de transmissões marginais.

A realização dos ensaios para a determinação da redução sonora requer a utilização de equipamentos técnicos específicos. O registo dos níveis de pressão sonora e tempos de reverberação é realizado através de um microfone (figura 5.2) e um sonómetro da marca Brüel & Kjær. O calibrador, também apresentado na figura 5.2, da mesma marca que os dispositivos anteriores, é concebido para a calibração de sonómetros. O campo sonoro no compartimento de ensaio é estimulado pela utilização do amplificador ou fonte sonora que deve ter potência suficiente, para que o nível de pressão sonora no compartimento receptor seja, no mínimo, 10 dB mais elevado que o nível de ruído de fundo em qualquer banda de frequências. Foi estabelecido o uso de apenas uma fonte sonora (figura 5.3) que seria colocado em duas posições

diferentes como dita a Norma NP EN ISO 16283-1. A potência sonora da fonte deve ser suficientemente elevada para que o nível de pressão sonora no compartimento receptor esteja significativamente acima do ruído residual (ruído ambiente a que se suprimem um ou mais ruídos particulares) (24).



Figura 5.1 - Câmaras acústicas do LNEC



Figura 5.2 – Microfone (esquerda) e calibrador (direita) utilizados nos ensaios



Figura 5.3 - Fonte sonora (altifalante) utilizada nos ensaios

Nos ensaios realizados, os níveis médios de pressão sonora (L_1 e L_2) em cada câmara reverberante, foram medidos utilizando filtros de bandas de frequência de um terço de oitava (tabela 5-1).

Tabela 5-1 - Bandas de frequência utilizadas para os ensaios

Bandas de Frequência (Hz)				
50	160	500	1600	5000
63	200	630	2000	
80	250	800	2500	
100	315	1000	3150	
125	400	1250	4000	

A fonte sonora deve encontrar-se a uma certa distância do elemento separador, para que a radiação sonora estabelecida na câmara reverberante tenha as características de campo difuso. A distância entre as superfícies do compartimento emissor e o altifalante foi respeitada conforme o descrito na Norma NP EN ISO 16283-1, deve ser pelo menos 1,0 m no caso da divisória de separação com o compartimento receptor. Esta distância deve ser medida desde a superfície até ao centro do altifalante mais próximo dessa mesma superfície (24).

Os microfones, são colocados tanto no compartimento receptor como emissor, e devem ser repartidos por toda a câmara. Considerou-se, para este efeito, três posições diferentes de

colocação nas câmaras de ensaio. Para os ensaios realizados, os microfones utilizados são do tipo fixo, utilizando um tripé para manter os mesmos em posição vertical.

As distâncias mínimas entre posições dos microfones são as seguintes:

- 0,7 m entre posições fixas do microfone;
- 0,5 m entre qualquer posição do microfone e os limites do compartimento;
- 1,0 m entre a posição do altifalante e o microfone.

Para cada posição individual do microfone, foi seguido o estipulado pela Norma NP EN ISO 16283-1, em que a duração da medição deve ser pelo menos 6 s nas bandas de frequências entre 100 e 400 Hz e, entre os 50 Hz e os 80 Hz, a duração em cada posição do microfone deve ser, pelos menos, 15 s. No âmbito dos ensaios realizados foi considerado uma duração de 55 s para cada ensaio em todas as bandas de frequência consideradas para o estudo.

No início e no fim de qualquer sessões de medições e, pelo menos, no início e no fim de cada dia de medições (aplicado nos ensaios para este trabalho) todo o sistema de medição do nível de pressão sonora deve ser verificado, através de um calibrador sonoro que satisfaça os requisitos de classe 0 ou 1 de acordo com o IEC 60942. A diferença entre as leituras de duas verificações consecutivas deve ser igual ou inferior a 0,5 dB. Se este valor for excedido, os resultados obtidos nas medições realizadas após a última verificação satisfatória não devem ser considerados.

Para a verificação da conformidade dos instrumentos de medição do nível de pressão sonora, dos filtros e do calibrador sonoro, com os requisitos relevantes, deve ser verificada pela existência de um certificado de conformidade válido. Quando for aplicável, a resposta do microfone para incidência aleatória deve ser verificada por um procedimento de acordo com o IEC 61183 (24).

De modo a simular o comportamento acústico de uma fachada de um edifício habitacional, foram considerados vários cenários com o intuito de simular o desgaste da envolvente da fachada translúcida ao longo do tempo, agrupados em 4 grupos com as seguintes áreas correspondentes (tabela 5-2).

Tabela 5-2 - Áreas das aberturas consideradas nos ensaios e cenários correspondentes

Grupo	Área (cm ²)	Cenário considerado
1	0.5	Folgas dos parafusos constituintes da fachada translúcida
	1	
2	5	Desgaste dos vedantes plásticos da fachada
	10	
	25	
3	50	Aberturas na caixa de estores da fachada na zona interior do edifício
	75	
	100	
	150	
4	200	Degradação considerável da fachada (fendas)
	250	

Para a realização das aberturas na divisória entre as câmaras foram utilizados um berbequim e brocas com um comprimento bastante considerável, superior a 20 cm, como se encontra ilustrado na figura 5.4, visto que a largura da divisória era superior a 15 cm e com um remate da parede que era muito justo à cabeça do berbequim. Por isto, foi então necessária uma broca com um comprimento enunciado para ser possível a perfuração de um lado ao outro da divisória.



Figura 5.4 – Brocas (direita) e berbequim (esquerda) utilizados nos ensaios

A execução desta tarefa foi de dificuldade acrescida, não só pela divisória ter um perfil metálico em alumínio mas, também, pelo facto de no seu interior integrar dois cavaletes em L de metal juntamente com um bloco de madeira maciça entre os mesmos. Para os ensaios as medidas das brocas utilizadas foram:

- Broca de ponta de diamante com 8 mm de diâmetro, área equivalente a 50 mm²;
- Broca de ponta de diamante com 10 mm de diâmetro, área equivalente a 79 mm²;
- Broca de ponta de diamante com 12 mm de diâmetro, área equivalente a 113 mm².

Os primeiros dois diâmetros de broca foram utilizados, exclusivamente, na parte inferior do perfil metálico da divisória (figura 5.5), enquanto que os furos com 12 mm de diâmetro foram feitos nas partes laterais desse mesmo perfil metálico (figura 5.6).



Figura 5.5 - Furos na parte inferior do perfil metálico da divisória



Figura 5.6 - Furos na parte lateral do perfil metálico da divisória

A tabela 5-3 apresenta o número de furos e o tamanho das brocas utilizadas na realização dos furos, para cada abertura considerada no estudo.

Tabela 5-3 - Número de furos e áreas de aberturas realizados nos ensaios

Área de abertura (cm ²)	Número de furos	Total de furos
0.5	1 furo com broca de 8 mm	1
1	2 furos com broca de 8 mm	2
5	10 furos com broca de 8 mm	10
25	11 furos com broca de 8 mm + 25 furos com broca de 10 mm	36
50	12 furos com broca de 8 mm + 56 furos com broca de 10 mm	68
75	12 furos com broca de 8 mm + 82 furos com broca de 10 mm	94
100	12 furos com broca de 8 mm + 82 furos com broca de 10 mm + 26 furos com broca de 12 mm	120
150	Furar 55.5 cm ² e vedar 9 buracos de 12 mm	
200	Furar 115.5 cm ² e vedar 5 buracos de 12 mm	
250	Furar 171 cm ² e vedar 5 buracos de 12 mm	

É importante referir que para os últimos 3 grupos de áreas de abertura (150;200 e 250 cm²) as aberturas foram realizadas na parte lateral da divisória das câmaras acústicas, dado o facto de a parte inferior da mesma encontrar-se competamente preenchida com aberturas para as áreas de menor valor. Estas áreas tiveram de ser “cavadas” (figura 5.7) pois a uma certa altura, relativamente 1,25 metros depois do início da divisória, a broca não atravessava por completo a zona lateral do perfil metálico, induzindo que toda essa zona apartir desse ponto era de metal, sendo impossível prosseguir com a furação com o equipamento disponível.



Figura 5.7 - Abertura na parte lateral da divisória para a criação das áreas de maiores dimensões

5.3 Resultados

5.3.1 Índices de isolamento sonoro

Previamente à realização dos ensaios foi necessário proceder-se ao cálculo da área de absorção sonora equivalente (A) para cada gama de frequências em estudo, a mesma é calculada com base na fórmula de Sabine descrita na expressão 2.6. Os tempos de reverberação para cada banda de frequências foram cedidos pelos operadores do LNEC, com isto os valores da área de absorção sonora são descritos na seguinte tabela, sabendo o volume da câmara receptora (120 m³).

Tabela 5-4 - Áreas de absorção sonora equivalente para as diversas bandas de frequência ensaiadas

Banda de Frequências (Hz)	T(s)	A (m ²)	Banda de Frequências (Hz)	T(s)	A (m ²)
50	4.08	4.71	630	1.36	14.09
63	4.08	4.71	800	1.35	14.24
80	3.63	5.29	1000	1.33	14.47
100	2.30	8.33	1250	1.34	14.29
125	2.05	9.39	1600	1.35	14.23
160	2.41	7.97	2000	1.34	14.34
200	1.57	12.22	2500	1.31	14.70
250	1.28	15.00	3150	1.32	14.54
315	1.24	15.45	4000	1.28	14.98
400	1.22	15.70	5000	1.19	16.12
500	1.20	16.04			

Seguidamente, procedeu-se à medição dos vários níveis de pressão sonora contabilizando os microfones nas câmaras emissora e receptora, perfazendo 3 ensaios para cada posição de microfone, em três posições ensaiadas (figura 5.8), num total de 18 medições, considerando cada área de abertura previamente referida. Os resultados para a primeira medição usando o microfone na posição 1 para a área de 0,5 cm² são apresentados na seguinte tabela.



Figura 5.8 - Posições dos microfones consideradas nos ensaios acústicos

Tabela 5-5 - Índices de nível sonoro para uma área de 0,5 cm²

Fonte posição 1, Posição micro 1, Repetição 1		
Banda de Frequências (Hz)	Nível sonoro (dB) Câmara emissora	Nível sonoro (dB) Câmara receptora
50	73.5	61.2
63	81.8	60.6
80	81.8	57.2
100	89.4	60.0
125	93.6	62.0
160	96.5	64.0
200	96.2	58.5
250	94.9	57.9
315	94.4	56.0
400	94.4	55.1
500	94.1	53.0
630	91.3	48.2
800	90.2	44.3
1000	87.7	40.7
1250	89.0	40.8
1600	89.8	41.7
2000	87.9	40.9
2500	87.0	38.1
3150	85.0	33.6
4000	81.6	26.9
5000	79.3	21.9

As restantes tabelas serão apresentadas em formato digital, para uma decisiva análise de todos os valores de nível sonoro na câmara emissora e receptora em todas as áreas de abertura ensaiadas.

Após a realização dos ensaios com o intuito de caracterizar o isolamento acústico do sistema para as diversas áreas em análise, foi necessário proceder-se ao cálculo da média energética de todos os valores obtidos para cada posição, tanto na câmara emissora como na câmara receptora, pela equação 5.1.

$$L = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (5.1)$$

Onde:

L – Nível de pressão sonora (dB);

L_1, L_2, \dots, L_n – Níveis de pressão sonora medidos nas n diferentes posições do microfone no compartimento analisado (dB).

O índice de isolamento sonoro do sistema é obtido como o descrito na equação 3.6, que representa a diferença de pressão registada nos dois compartimentos acrescida de um factor correctivo devido à absorção da câmara receptora.

Seguidamente, são apresentados os níveis de pressão sonora e os respectivos índices de isolamento sonoro para as áreas de 0,5 cm² e 1 cm².

Tabela 5-6 - Níveis de pressão sonora e índices de isolamento sonoro para as áreas de abertura de 0,5 cm² e 1 cm²

Área de abertura de 0,5 cm ²					Área de abertura de 1 cm ²				
Banda de Frequências (Hz)	L1 (dB)	L2 (dB)	ΔL (dB)	R (dB)	Banda de Frequências (Hz)	L1 (dB)	L2 (dB)	ΔL (dB)	R (dB)
50	81.5	63.2	18.2	21.5	50	81.1	63.9	17.1	20.4
63	81.5	60.0	21.5	24.8	63	81.3	59.9	21.4	24.7
80	84.3	60.7	23.5	26.3	80	84.2	59.6	24.6	27.4
100	89.8	61.8	28.0	28.8	100	90.0	60.9	29.1	29.9
125	94.5	63.2	31.3	31.6	125	94.5	64.1	30.5	30.8
160	96.5	63.9	32.6	33.6	160	96.6	64.2	32.4	33.4
200	96.5	61.0	35.5	34.6	200	96.4	61.7	34.7	33.8
250	95.6	58.7	36.9	35.1	250	95.3	58.8	36.4	34.7
315	93.8	57.3	36.5	34.6	315	93.8	57.4	36.4	34.5
400	94.4	55.5	38.9	37.0	400	94.4	55.4	39.0	37.1
500	93.5	52.3	41.2	39.1	500	93.5	52.2	41.3	39.3
630	91.7	48.5	43.3	41.8	630	92.0	48.5	43.5	42.0
800	90.4	44.3	46.1	44.5	800	90.6	44.5	46.1	44.6
1000	88.6	40.3	48.3	46.7	1000	88.4	41.0	47.4	45.8
1250	88.3	39.9	48.4	46.9	1250	88.1	41.6	46.5	45.0
1600	89.4	42.0	47.5	45.9	1600	89.6	42.7	47.0	45.4
2000	88.0	40.9	47.1	45.5	2000	88.0	41.0	47.0	45.4
2500	87.0	37.9	49.0	47.4	2500	86.8	38.6	48.3	46.6
3150	84.9	33.4	51.5	49.8	3150	84.8	33.8	51.0	49.4
4000	81.2	27.1	54.1	52.4	4000	81.3	27.3	54.0	52.2
5000	79.6	22.1	57.5	55.4	5000	79.6	22.5	57.1	55.0

Pela análise da tabela anterior, pode-se verificar um decréscimo geral dos valores do índice de isolamento sonoro R nas diferentes áreas de abertura, para as diversas bandas de frequências consideradas nos ensaios.

A tabela 5-7 apresenta os valores referentes aos níveis de pressão sonora e respectivos índices de isolamento sonoro para as áreas de 5 cm² e 10 cm².

Similarmente como observado na tabela 5-6, pode-se verificar um decréscimo geral dos valores do índice de isolamento sonoro R nas diferentes áreas de abertura.

As tabelas 5-8; 5-9; 5-10 e 5-11 apresentam, respectivamente, os valores referentes aos níveis de pressão sonora e respectivos índices de isolamento sonoro R para as áreas de 25 cm² e 50 cm²; 75 cm² e 100 cm²; 150 cm² e 200 cm² e, por fim, 250 cm².

Tabela 5-7 - Níveis de pressão sonora e índices de isolamento sonoro para as áreas de abertura de 5 cm² e 10 cm²

Área de abertura de 5 cm ²					Área de abertura de 10 cm ²				
Banda de Frequências (Hz)	L1 (dB)	L2 (dB)	ΔL (dB)	R (dB)	Banda de Frequências (Hz)	L1 (dB)	L2 (dB)	ΔL (dB)	R (dB)
50	81.4	63.9	17.5	20.8	50	81.4	63.7	17.7	21.0
63	81.3	59.9	21.3	24.6	63	81.1	59.7	21.4	24.6
80	84.2	61.4	22.7	25.5	80	84.0	61.8	22.1	24.9
100	90.1	62.1	28.0	28.8	100	90.1	63.0	27.1	27.9
125	94.6	63.9	30.7	31.0	125	94.7	64.8	29.8	30.1
160	96.6	64.1	32.5	33.5	160	96.6	64.8	31.8	32.8
200	96.5	62.5	34.0	33.2	200	96.6	62.7	33.9	33.0
250	95.5	61.3	34.1	32.4	250	95.3	60.9	34.4	32.7
315	93.8	57.8	36.0	34.1	315	93.6	59.2	34.4	32.5
400	94.3	56.7	37.6	35.6	400	94.4	58.9	35.4	33.5
500	93.4	55.4	38.0	36.0	500	93.5	57.6	35.9	33.9
630	91.8	53.0	38.8	37.3	630	91.8	57.7	34.1	32.6
800	90.5	52.1	38.4	36.8	800	90.5	57.1	33.3	31.8
1000	88.6	51.4	37.2	35.6	1000	88.5	56.0	32.5	30.9
1250	87.8	50.3	37.4	35.9	1250	88.0	54.9	33.1	31.6
1600	89.6	50.2	39.4	37.8	1600	89.4	55.8	33.6	32.1
2000	87.9	46.5	41.4	39.8	2000	88.1	52.1	35.9	34.4
2500	86.9	43.2	43.7	42.0	2500	86.8	47.2	39.6	38.0
3150	84.9	37.7	47.2	45.6	3150	84.7	41.3	43.4	41.8
4000	81.0	30.7	50.3	48.6	4000	81.0	33.8	47.2	45.5
5000	79.5	26.1	53.5	51.4	5000	79.4	28.6	50.8	48.7

Tabela 5-8 - Níveis de pressão sonora e índices de isolamento sonoro para as áreas de abertura de 25 cm² e 50 cm²

Área de abertura de 25 cm ²					Área de abertura de 50 cm ²				
Banda de Frequências (Hz)	L1 (dB)	L2 (dB)	ΔL (dB)	R (dB)	Banda de Frequências (Hz)	L1 (dB)	L2 (dB)	ΔL (dB)	R (dB)
50	81.3	63.9	17.4	20.6	50	80.8	63.9	16.9	20.2
63	81.1	60.1	21.0	24.3	63	81.1	60.1	21.0	24.3
80	84.1	62.8	21.3	24.0	80	83.9	63.6	20.3	23.1
100	90.2	63.4	26.8	27.6	100	90.6	63.1	27.4	28.2
125	94.5	65.7	28.7	29.0	125	94.4	66.2	28.2	28.5
160	96.4	65.9	30.6	31.6	160	96.5	66.8	29.7	30.6
200	96.4	64.3	32.2	31.3	200	96.4	65.3	31.1	30.2
250	95.6	62.6	33.0	31.2	250	95.6	64.3	31.3	29.5
315	93.9	61.3	32.6	30.7	315	93.9	63.6	30.3	28.4
400	94.5	60.8	33.6	31.7	400	94.2	63.8	30.4	28.5
500	93.3	59.8	33.5	31.5	500	93.4	62.6	30.8	28.7
630	91.7	59.8	31.9	30.4	630	91.7	62.4	29.3	27.8
800	90.3	59.8	30.6	29.0	800	90.6	63.2	27.4	25.9
1000	88.3	58.8	29.5	27.9	1000	88.1	62.1	26.0	24.4
1250	87.7	58.6	29.0	27.5	1250	87.6	62.3	25.3	23.8
1600	89.6	60.3	29.4	27.8	1600	89.4	63.8	25.6	24.1
2000	88.0	57.7	30.3	28.8	2000	88.0	61.0	27.0	25.5
2500	86.7	53.5	33.2	31.6	2500	86.7	57.1	29.6	27.9
3150	84.6	47.4	37.2	35.6	3150	84.5	51.0	33.5	31.9
4000	81.2	40.4	40.8	39.0	4000	81.0	43.8	37.1	35.4
5000	79.5	35.0	44.5	42.4	5000	79.4	38.2	41.2	39.1

Tabela 5-9 - Níveis de pressão sonora e índices de isolamento sonoro para as áreas de abertura de 75 cm² e 100 cm²

Área de abertura de 75 cm ²					Área de abertura de 100 cm ²				
Banda de Frequências (Hz)	L1 (dB)	L2 (dB)	ΔL (dB)	R (dB)	Banda de Frequências (Hz)	L1 (dB)	L2 (dB)	ΔL (dB)	R (dB)
50	80.9	64.2	16.7	20.0	50	81.2	64.3	16.9	20.2
63	81.4	63.8	17.6	20.9	63	81.1	59.8	21.3	24.6
80	83.9	64.2	19.7	22.5	80	83.8	63.6	20.2	23.0
100	90.4	65.6	24.8	25.6	100	90.5	64.5	26.0	26.8
125	94.7	67.2	27.5	27.8	125	94.6	66.6	28.0	28.2
160	96.5	67.9	28.5	29.5	160	96.6	69.1	27.5	28.5
200	96.5	69.5	26.9	26.1	200	96.8	70.6	26.2	25.3
250	95.7	66.3	29.4	27.6	250	95.8	66.9	28.9	27.1
315	93.9	66.2	27.7	25.8	315	93.8	66.8	27.0	25.2
400	94.5	66.2	28.2	26.3	400	94.5	66.9	27.6	25.6
500	93.4	65.3	28.2	26.1	500	93.5	65.8	27.7	25.6
630	91.6	65.2	26.4	24.9	630	91.6	65.3	26.3	24.8
800	90.6	65.8	24.8	23.3	800	90.7	65.7	24.9	23.4
1000	88.4	65.3	23.1	21.5	1000	88.5	65.2	23.3	21.7
1250	87.8	65.2	22.6	21.1	1250	87.8	65.1	22.7	21.2
1600	89.4	66.5	23.0	21.4	1600	89.5	66.1	23.4	21.9
2000	88.0	63.8	24.2	22.7	2000	88.2	63.7	24.5	22.9
2500	86.9	60.1	26.8	25.1	2500	87.0	60.3	26.7	25.1
3150	84.7	53.9	30.7	29.1	3150	84.9	55.1	29.8	28.2
4000	81.2	47.2	34.0	32.3	4000	81.2	48.8	32.4	30.7
5000	79.4	41.2	38.2	36.1	5000	79.6	44.4	35.2	33.1

Tabela 5-10 - Níveis de pressão sonora e índices de isolamento sonoro para as áreas de abertura de 150 cm² e 200 cm²

Área de abertura de 150 cm ²					Área de abertura de 200 cm ²				
Banda de Frequências (Hz)	L1 (dB)	L2 (dB)	ΔL (dB)	R (dB)	Banda de Frequências (Hz)	L1 (dB)	L2 (dB)	ΔL (dB)	R (dB)
50	80.7	65.2	15.5	18.7	50	81.0	65.4	15.6	18.8
63	81.1	59.5	21.6	24.9	63	81.1	59.6	21.4	24.7
80	84.0	63.2	20.8	23.5	80	84.0	63.5	20.5	23.3
100	90.4	62.4	27.9	28.7	100	90.3	59.3	31.0	31.8
125	94.5	66.9	27.7	27.9	125	94.7	67.1	27.6	27.8
160	96.6	70.5	26.1	27.1	160	96.7	71.1	25.6	26.6
200	96.4	71.1	25.4	24.5	200	96.5	71.4	25.2	24.3
250	95.6	67.2	28.4	26.6	250	95.4	68.3	27.1	25.4
315	93.8	67.6	26.2	24.4	315	93.7	68.4	25.2	23.3
400	94.5	68.0	26.5	24.5	400	94.3	69.1	25.2	23.2
500	93.1	67.3	25.8	23.7	500	93.6	68.7	24.9	22.8
630	91.5	66.6	24.9	23.4	630	91.6	68.0	23.5	22.1
800	90.3	66.7	23.7	22.1	800	90.3	67.4	23.0	21.4
1000	88.4	66.0	22.4	20.8	1000	88.2	66.7	21.6	20.0
1250	87.7	65.9	21.8	20.3	1250	87.7	66.6	21.0	19.5
1600	89.4	67.6	21.8	20.3	1600	89.4	68.2	21.1	19.6
2000	88.1	65.1	23.0	21.4	2000	87.9	66.0	21.9	20.3
2500	87.1	62.8	24.3	22.6	2500	86.9	63.9	23.0	21.3
3150	84.7	58.4	26.4	24.7	3150	84.7	60.3	24.4	22.8
4000	81.2	53.2	28.0	26.3	4000	81.3	55.2	26.0	24.3
5000	79.6	48.6	31.0	28.9	5000	79.6	51.2	28.3	26.3

Tabela 5-11 - Níveis de pressão sonora e índice de isolamento sonoro para a área de abertura de 250 cm²

Área de abertura de 250 cm ²				
Banda de Frequências (Hz)	L1 (dB)	L2 (dB)	ΔL (dB)	R (dB)
50	81.1	63.8	17.3	20.6
63	81.1	59.9	21.2	24.5
80	82.5	62.7	19.8	22.6
100	90.4	60.5	29.9	30.7
125	94.5	65.9	28.6	28.9
160	96.7	70.9	25.8	26.7
200	96.5	71.1	25.4	24.5
250	95.4	69.2	26.2	24.4
315	93.7	69.5	24.2	22.3
400	94.2	70.0	24.2	22.2
500	93.6	69.7	23.9	21.8
630	91.6	69.0	22.5	21.0
800	90.2	68.3	21.9	20.3
1000	88.2	67.7	20.5	18.9
1250	87.5	68.1	19.4	17.9
1600	89.2	69.2	20.0	18.5
2000	87.9	67.1	20.8	19.2
2500	86.6	65.3	21.3	19.7
3150	84.6	62.0	22.6	21.0
4000	81.3	56.9	24.4	22.6
5000	79.6	52.9	26.6	24.5

Podemos verificar um decréscimo generalizado dos valores referentes ao índice de isolamento sonoro R nas diferentes áreas de abertura onde, esse mesmo índice, apresenta um menor valor para a maior área de abertura considerada no estudo (250 cm²).

A partir dos valores descritos nas tabelas anteriores, foi possível expressar graficamente a evolução dos vários índices de isolamento sonoro para as áreas de abertura ensaiadas, de modo a que fosse mais perceptível a alteração dos mesmos ao longo das diversas bandas de frequências utilizadas nos ensaios.

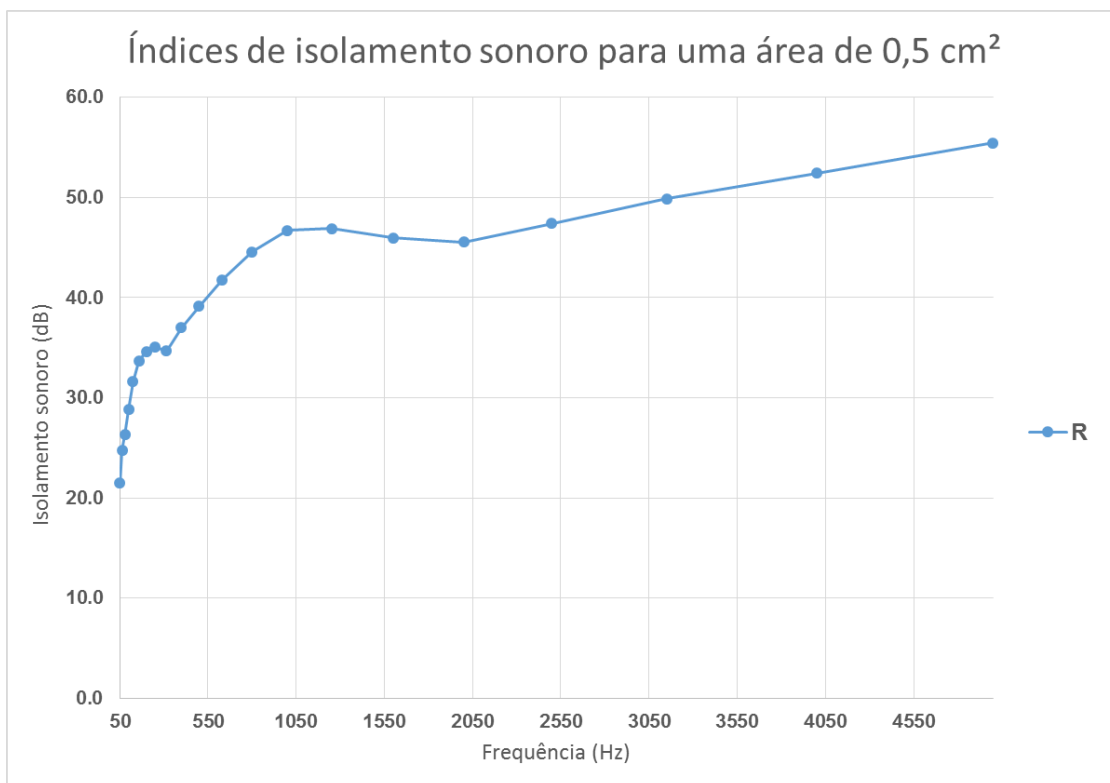


Figura 5.9 - Índices de isolamento sonoro para uma área de 0,5 cm²

A figura 5.9 apresenta a variação dos índices de isolamento sonoro para a área ensaiada de 0,5 cm², enquanto que os mesmos valores de R para as áreas podem ser consultados no Anexo 1 A.

A figura 5.10 apresenta a comparação dos índices de isolamento sonoro para todas as áreas estudadas, realçando a variação do isolamento sonoro ao longo das bandas de frequências analisadas.

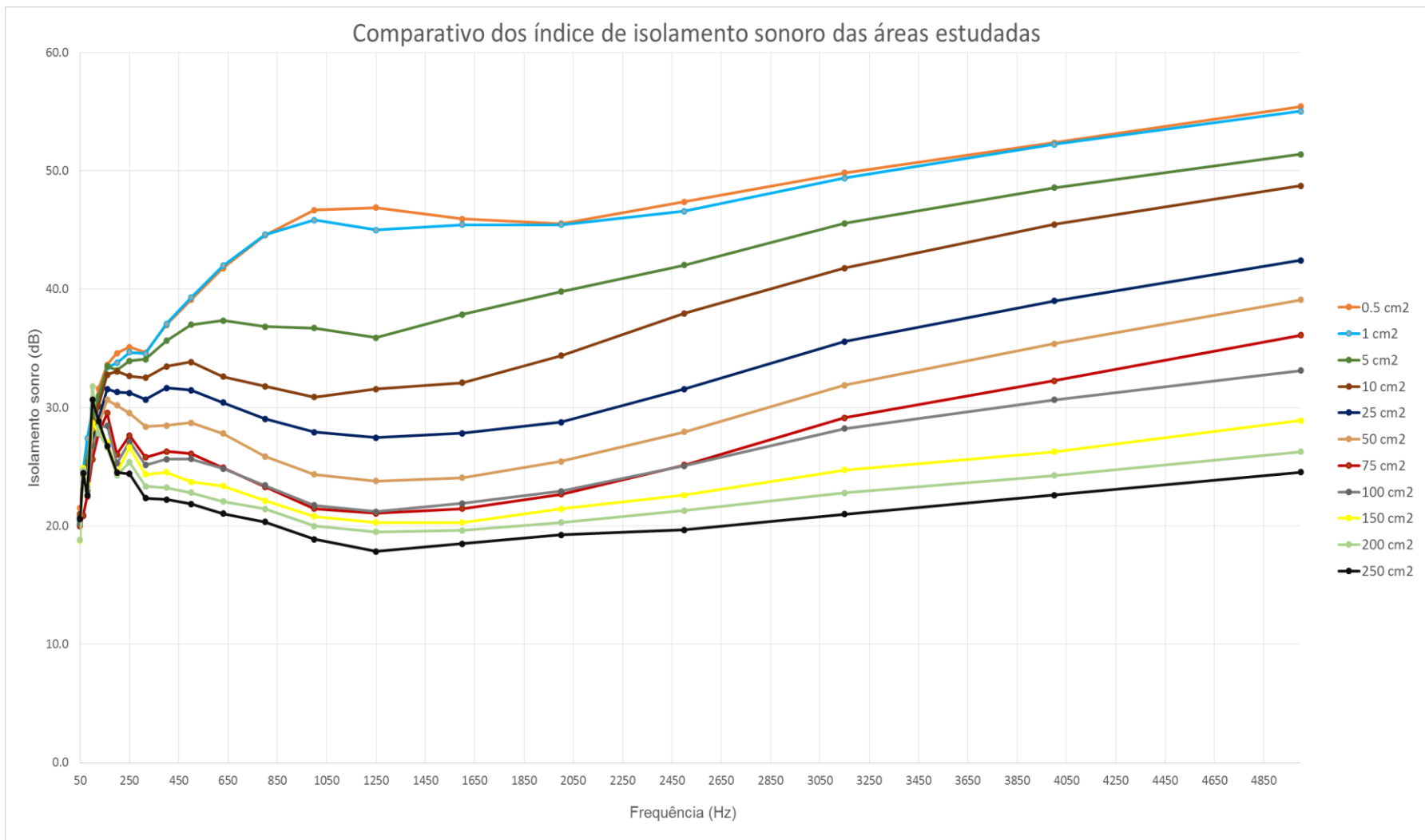


Figura 5.10 - Comparativo dos índices de isolamento sonoro para as áreas estudadas

Através da análise do gráfico anterior é possível destacar que, para o intervalo de baixas frequências (50 – 100 Hz) os valores dos índices de isolamento sonoro são muito semelhantes e, por isso, é notória uma sobreposição das linhas correspondentes às áreas estudadas, estabelecendo um padrão probatório que mostra a irrelevância da dimensão da área de abertura para efeitos de isolamento sonoro. Para o intervalo correspondente entre 500 Hz e 1600 Hz, a diferença entre os índices de isolamento sonoro tem um padrão curvo de tendência parabólica. Por fim, no intervalo de 2000 – 5000 Hz, a variação dos índices de isolamento sonoro das áreas estudadas segue um padrão linear decrescente no valor global de isolamento.

5.3.2 Análise pelo Método de Comparação

Pelo descrito no subcapítulo 3.3.1, os resultados das medições realizadas têm de ser ajustados a uma curva de referência, para que a soma dos desvios desfavoráveis desta curva a subtrair por uma constante x seja a maior possível mas nunca superior a 32 (26). A tabela 5-12 apresenta o valor da constante x para todas as áreas de abertura consideradas nos ensaios.

Tabela 5-12 - Valor da constante x utilizado para cada área de abertura estudadas

Área (cm ²)	Valor de X	Área (cm ²)	Valor de X
0.5	8	75	28
1	9	100	28
5	15	150	30
10	19	200	31
25	22	250	32
50	25		

Os valores da curva de referência com a subtração do valor x , vão ser subtraídos aos valores do isolamento sonoro já calculados, onde apenas os valores iguais ou inferiores a zero são considerados na soma dos desvios desfavoráveis, que ocorrem quando o valor medido é inferior ao valor de referência. É importante salientar que apenas foram consideradas as frequências entre 100 e 3150 Hz, visto que a norma EN ISO 717-1 (26) apenas apresenta a curva de referência neste intervalo de valores.

O valor, descrito em decibéis, da ordenada da curva de referência correspondente à banda de frequências de 500 Hz, já descrito em 3.3.1, corresponde ao índice de isolamento sonoro normalizado R_w . Na tabela 5-13 todos os valores da curva de referência, curva de referência deslocada, soma dos desvios desfavoráveis e índice de redução sonora normalizado para a primeira área de abertura ensaiada (0,5 cm²).

Tabela 5-13 - Valores da curva de referência, curva de referência deslocada, soma dos desvios desfavoráveis e índice de redução sonora normalizado para uma área de abertura de 0,5 cm²

Área de abertura de 0,5 cm ²					
Banda de Frequências (Hz)	ΔL (dB)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio
50	18.2	21.5			
63	21.5	24.8			
80	23.5	26.3			
100	28.0	28.8	33	25	0
125	31.3	31.6	36	28	0
160	32.6	33.6	39	31	0
200	35.5	34.6	42	34	0
250	36.9	35.1	45	37	-1.905015794
315	36.5	34.6	48	40	-5.358293432
400	38.9	37.0	51	43	-6.017301789
500	41.2	39.1	52	44	-4.896192601
630	43.3	41.8	53	45	-3.215797547
800	46.1	44.5	54	46	-1.450854808
1000	48.3	46.7	55	47	-0.332950804
1250	48.4	46.9	56	48	-1.117579816
1600	47.5	45.9	56	48	-2.060284021
2000	47.1	45.5	56	48	-2.46225752
2500	49.0	47.4	56	48	-0.625849516
3150	51.5	49.8	56	48	0
4000	54.1	52.4			
5000	57.5	55.4			
Soma					-29.44237765
					29.4
					≤32

As restantes tabelas serão apresentadas em formato digital, para uma decisiva análise de todos os valores anteriormente referenciados.

Em seguida são expostos as figuras referentes ao ajuste da curva de referência para as áreas de abertura estudadas e o valor do índice de isolamento sonoro associado.

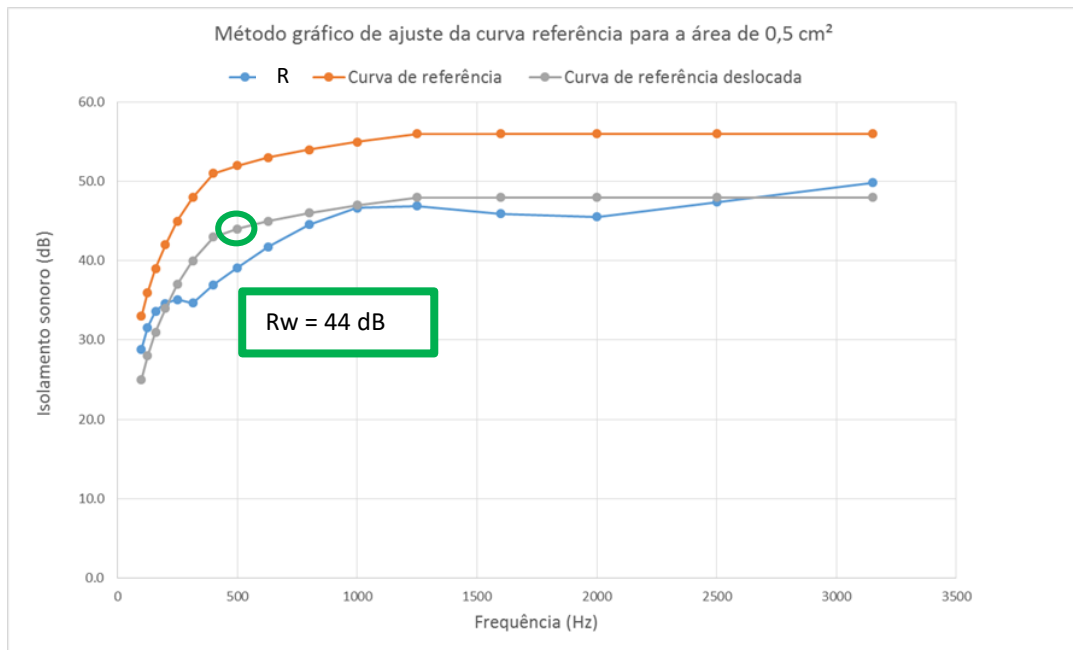


Figura 5.11 - Método gráfico de ajuste da curva de referência para a área de 0,5 cm²

O gráfico da figura anterior apresenta um ajuste à curva de referência no valor de 8 unidades, em que a ordenada correspondente à frequência de 500 Hz da curva ajustada vai tomar o valor de 44 dB, sendo este o índice de redução sonora normalizado para a área de 0,5 cm².

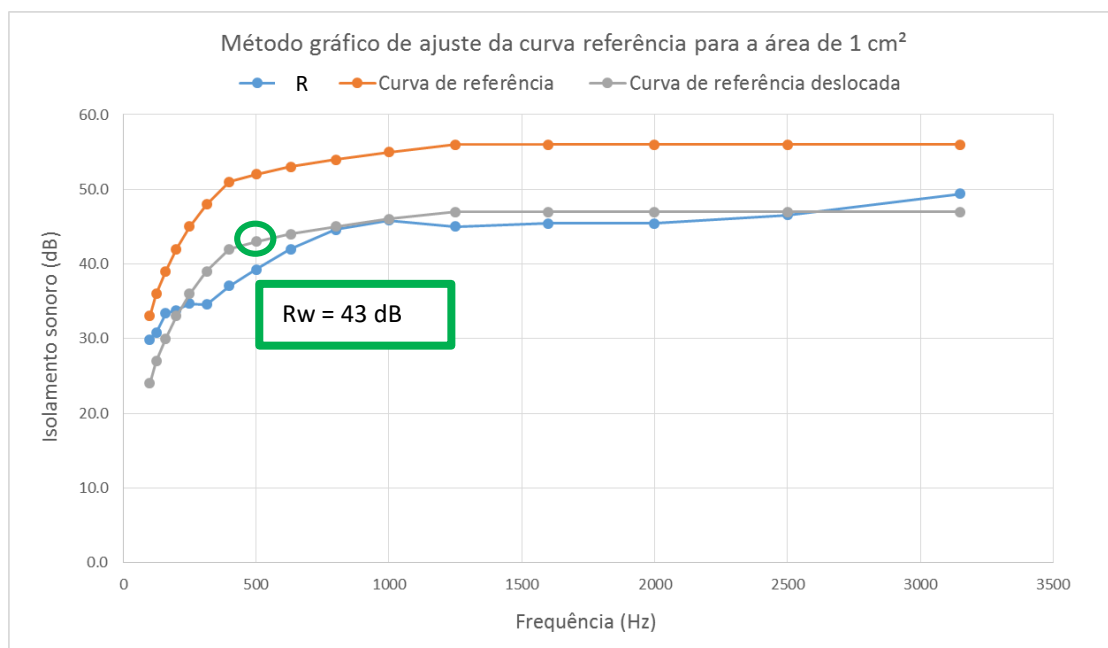


Figura 5.12 - Método gráfico de ajuste da curva de referência para a área de 1 cm²

Para uma área de 1 cm², verificou-se que o valor de ajuste à curva de referência era de 9 unidades em que o índice de R_w , correspondente à ordenada da curva ajustada para a frequência de 500 Hz toma o valor de 43 dB.

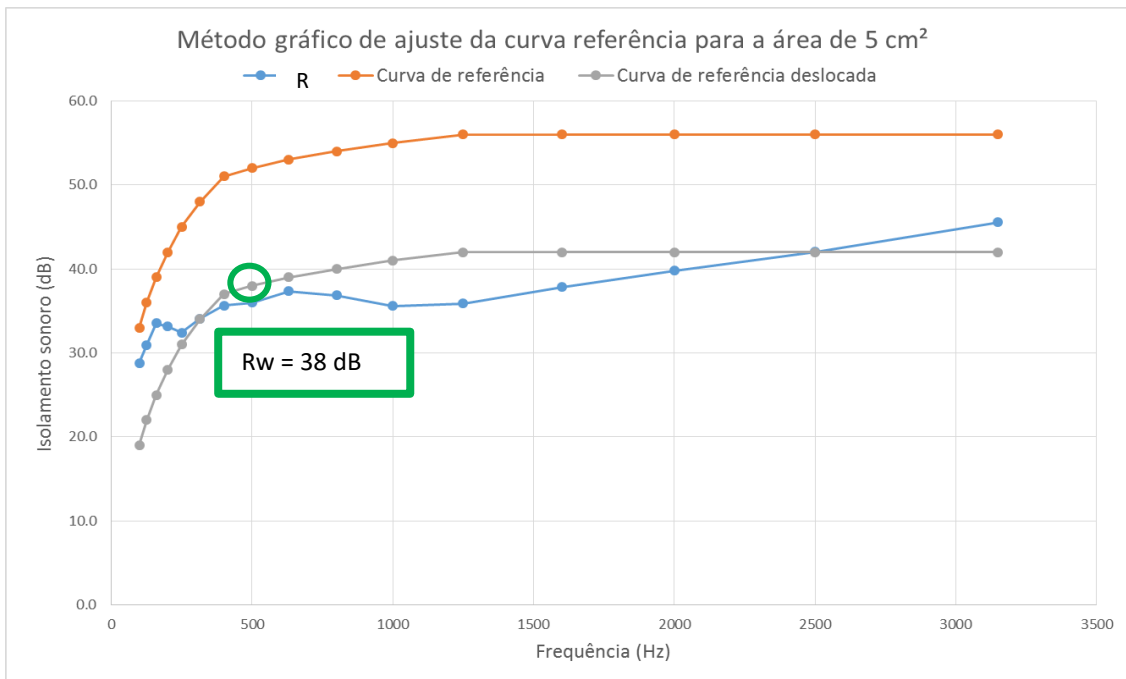


Figura 5.13 - Método gráfico de ajuste da curva de referência para a área de 5 cm²

Esta figura apresenta um ajuste à curva de referência no valor de 15 unidades, em que a ordenada correspondente à frequência de 500 Hz, traduzida pelo índice de R_w , toma o valor de 38 dB.

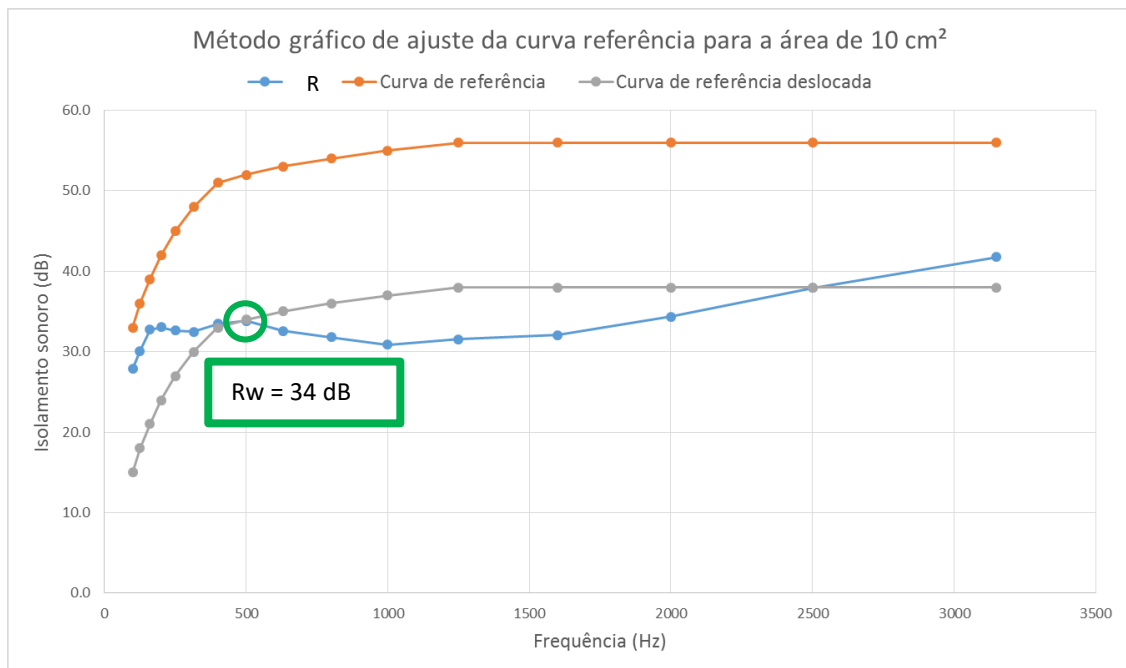


Figura 5.14 - Método gráfico de ajuste da curva de referência para a área de 10 cm²

A figura 5.14 apresenta um ajuste à curva de referência no valor de 19 unidades, em que a ordenada correspondente à frequência de 500 Hz da curva ajustada vai ter o valor de 34 dB.

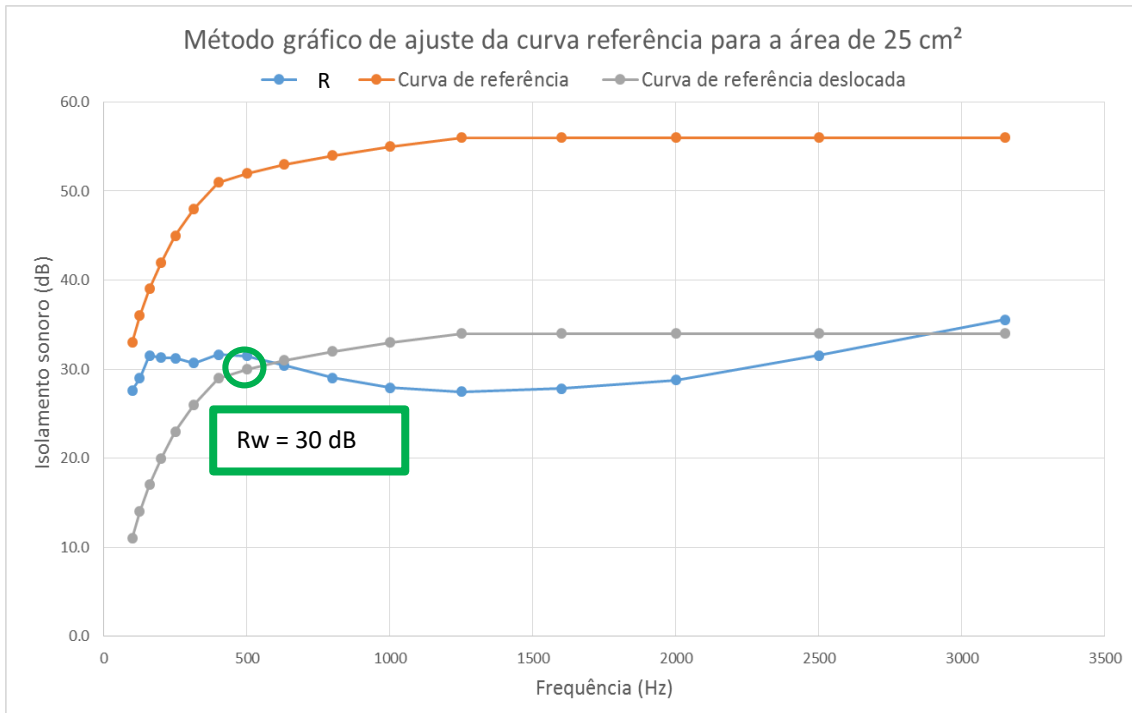


Figura 5.15 - Método gráfico de ajuste da curva de referência para a área de 25 cm²

Para uma área de 25 cm², verificou-se que o valor de ajuste à curva de referência era de 22 unidades em que o índice de R_w correspondente à ordenada da curva ajustada para a frequência de 500 Hz adota o valor de 30 dB.

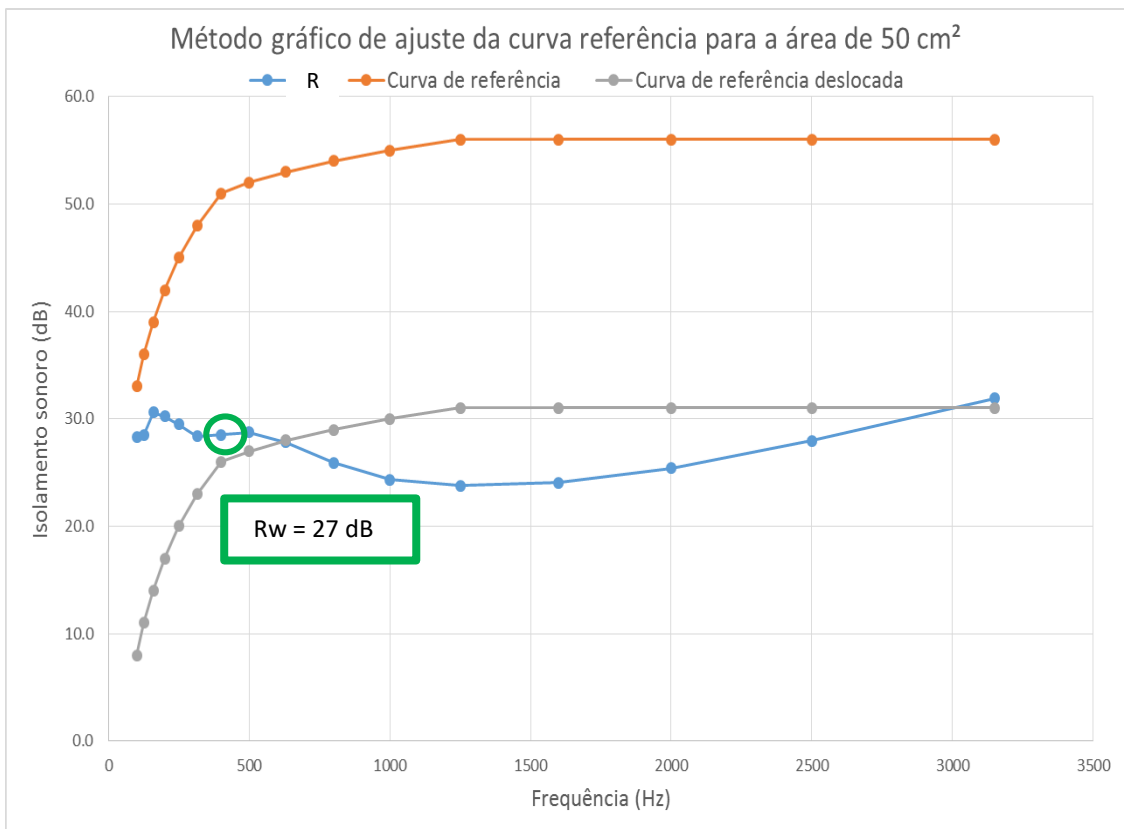


Figura 5.16 - Método gráfico de ajuste da curva de referência para a área de 50 cm²

Esta figura apresenta um ajuste à curva de referência no valor de 25 unidades, em que a ordenada correspondente à frequência de 500 Hz, traduzida pelo índice de R_w , toma o valor de 27 dB.

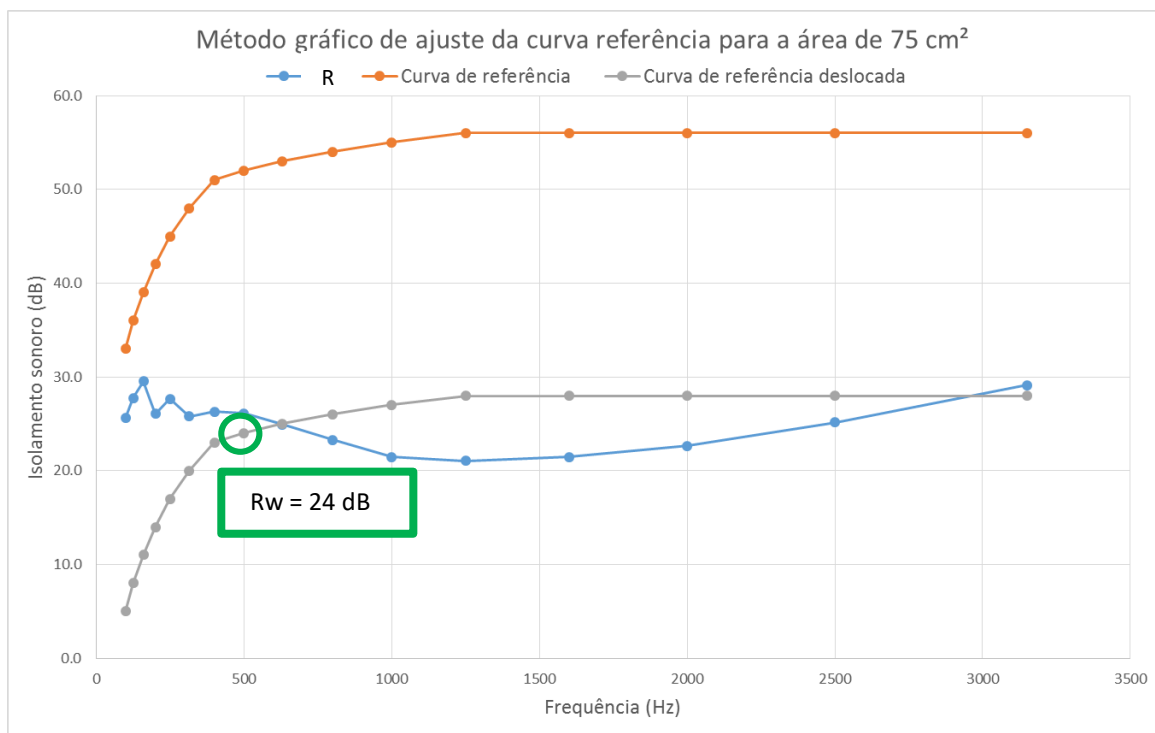


Figura 5.17 - Método gráfico de ajuste da curva de referência para a área de 75 cm²

A figura 5.17 apresenta um ajuste à curva de referência no valor de 28 unidades, em que a ordenada correspondente à frequência de 500 Hz da curva ajustada vai ter o valor de 24 dB.

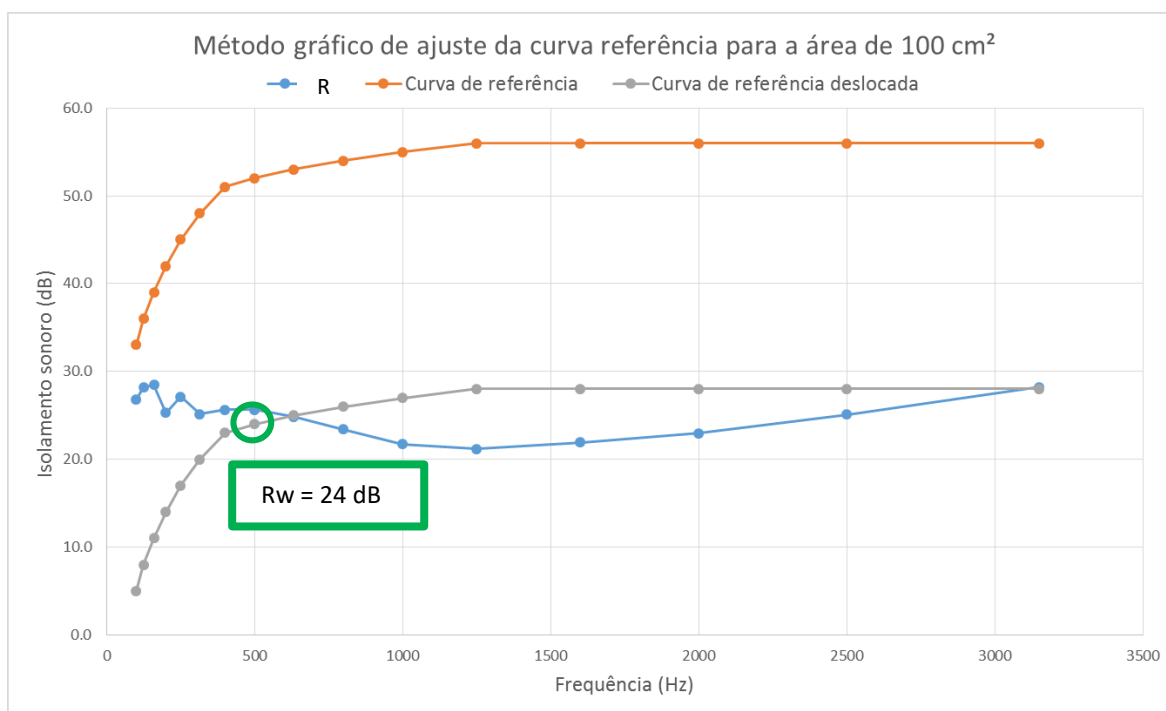


Figura 5.18 - Método gráfico de ajuste da curva de referência para a área de 100 cm²

Para uma área de 100 cm², verificou-se que o valor de ajuste à curva de referência era de 28 unidades em que o índice de R_w correspondente à ordenada da curva ajustada para a frequência de 500 Hz adquire o valor de 24 dB.

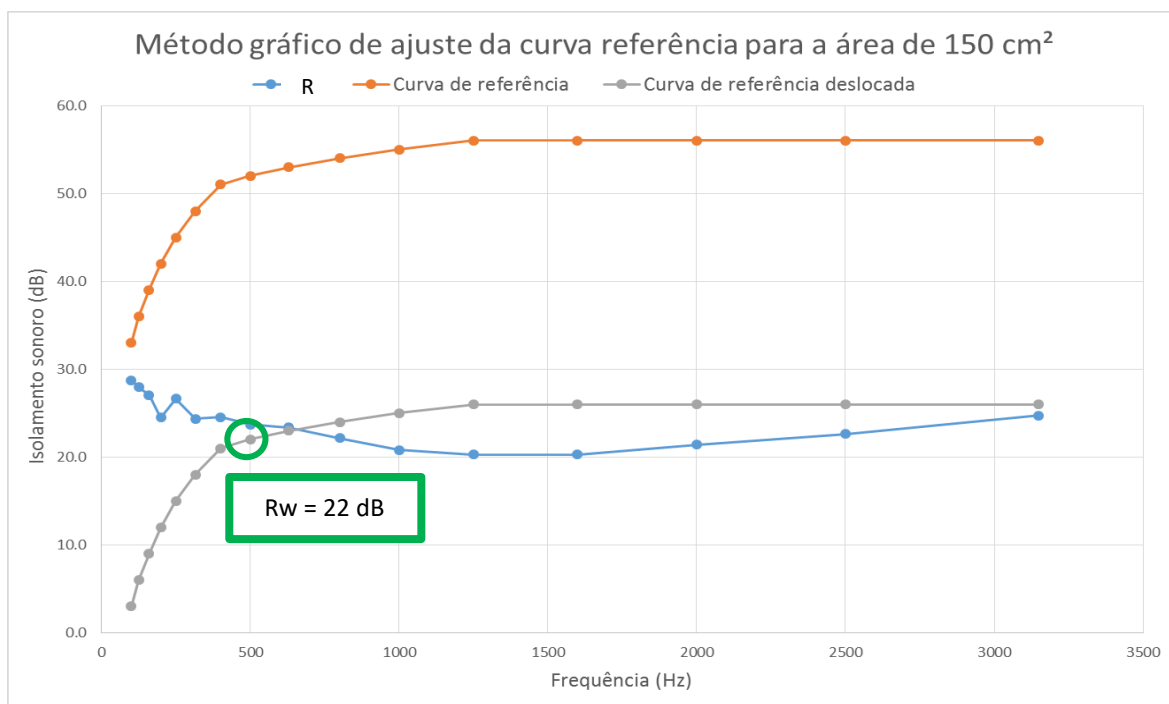


Figura 5.19 - Método gráfico de ajuste da curva de referência para a área de 150 cm²

Esta figura apresenta um ajuste à curva de referência no valor de 30 unidades, em que a ordenada correspondente à frequência de 500 Hz, traduzida pelo índice de R_w , adota o valor de 22 dB.

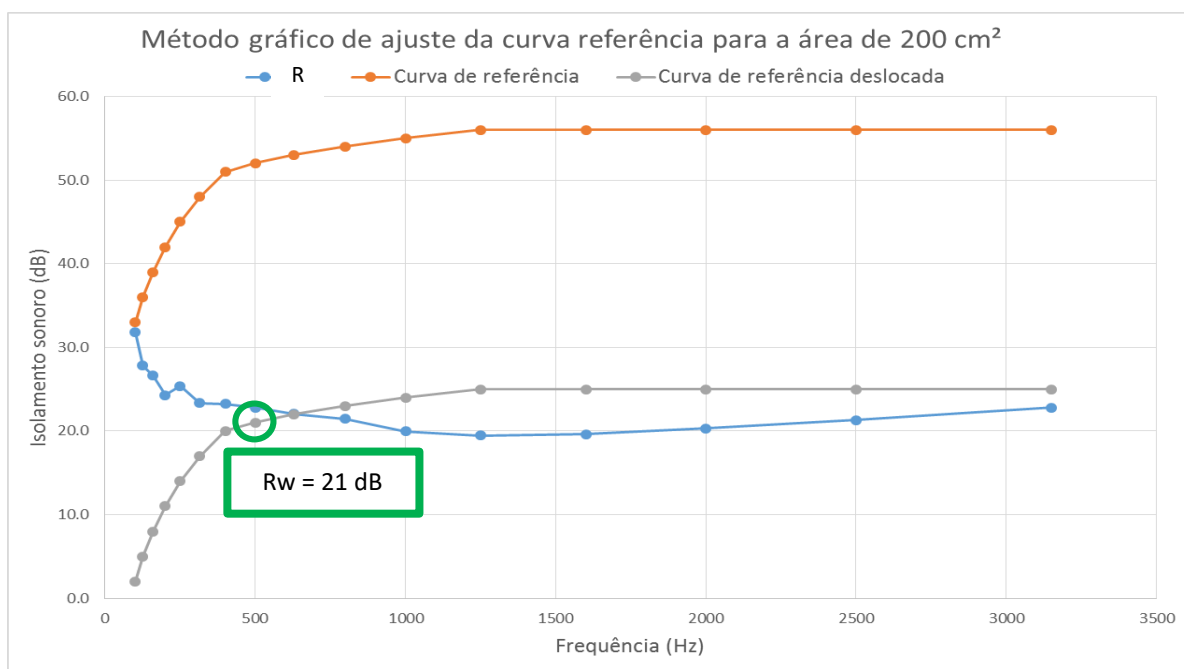


Figura 5.20 - Método gráfico de ajuste da curva de referência para a área de 200 cm²

Para uma área de 200 cm², verificou-se que o valor de ajuste à curva de referência era de 31 unidades em que o índice de R_w correspondente à ordenada da curva ajustada para a frequência de 500 Hz toma o valor de 21 dB.

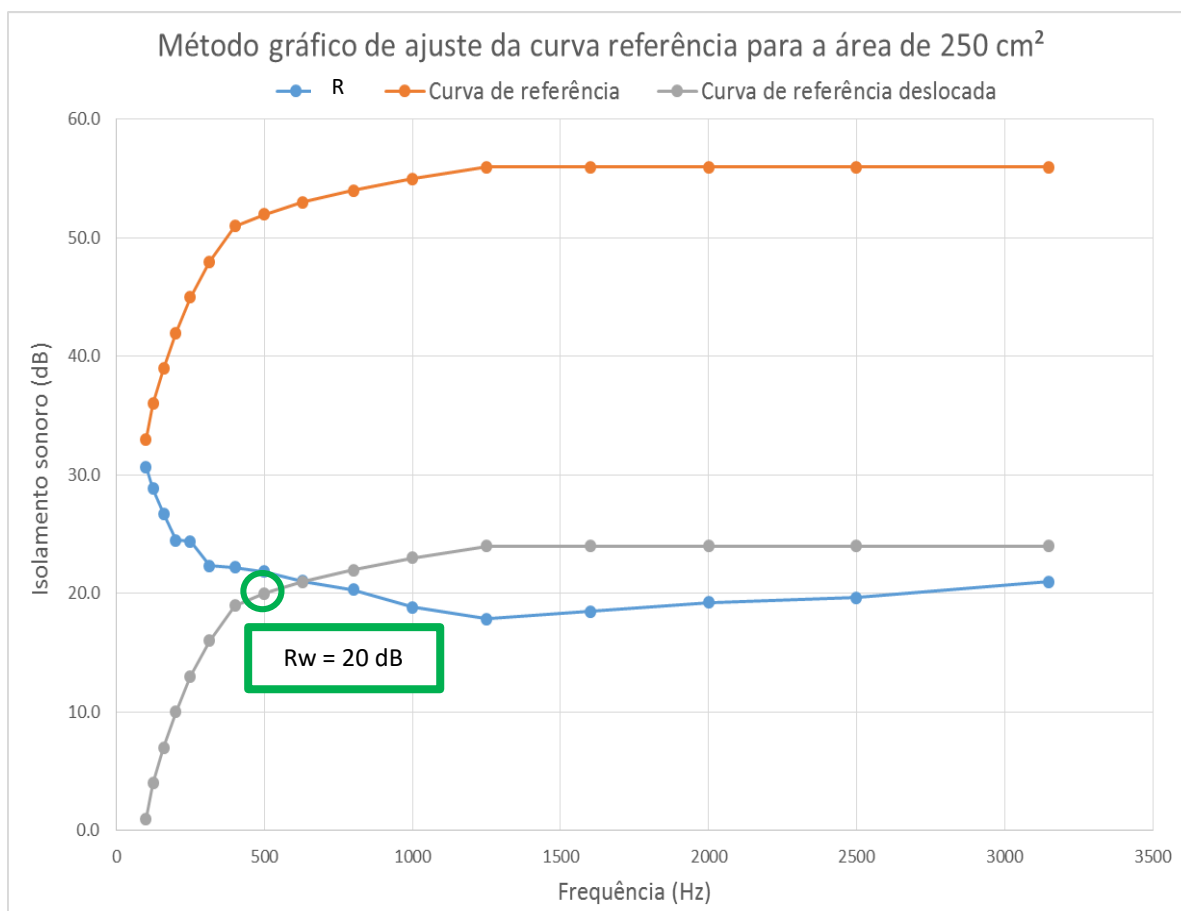


Figura 5.21 - Método gráfico de ajuste da curva de referência para a área de 250 cm²

Esta figura apresenta um ajuste à curva de referência no valor de 32 unidades, em que a ordenada correspondente à frequência de 500 Hz, traduzida pelo índice de R_w , terá o valor de 20 dB.

A tabela 5-14 apresenta as diferenças dos vários índice de isolamento sonoro normalizado para as áreas estudadas face à primeira área de 0,5 cm², de modo a ser notória a evolução da perda de isolamento sonoro da divisória ao modo que a área de abertura aumenta.

Tabela 5-14 - Diferenças de isolamento sonoro da divisória face à área de 0,5 cm²

Área (cm ²)	Diferença de isolamento sonoro face a 0,5 cm ² (dB)
0.5	0
1	-1
5	-6
10	-10
25	-14
50	-17
75	-20
100	-20
150	-22
200	-23
250	-24

4.3.3 Factores de transmissão energética e termos de adaptação

Como já foi observado anteriormente, o ruído é transmitido para o interior de um compartimento de uma habitação através da sua envolvente. Assim, um elemento, construtivo, com desempenho acústico mais fraco, pode diminuir significativamente o isolamento sonoro do elemento principal em análise, por melhor que seja o desempenho acústico deste último. Esta situação pode ocorrer devido à existência de heterogeneidades como janelas, portas, entre outros.

Neste trabalho, embora não tenham sido efectuados ensaios *in situ*, os investigadores do LNEC disponibilizaram dados de modo a que esta análise se tornasse o mais similar possível a um ensaio *in situ*. Com isto, foram fornecidos os índices de redução sonora de uma parede já estudada pelo LNEC, de dupla alvenaria de tijolo furado com 15 cm de espessura nos dois panos e uma caixa-de-ar de 6 cm, preenchida com lã de rocha de 40 mm, com uma área de fachada associada de 11,2 cm². A tabela 5-15 apresenta os índices de isolamento sonoro da parede considerada para estudo.

Tabela 5-15 - Índices de isolamento sonoro de uma parede dupla de alvenaria de tijolo furado com 15 cm nos dois panos + caixa-de-ar de 6 cm

Banda de Frequências (Hz)	R parede (dB)	Banda de Frequências (Hz)	R parede (dB)
100	40.2	800	50.9
125	37.7	1000	54.4
160	40.5	1250	58.1
200	44.3	1600	59.2
250	41.3	2000	61.8
315	42.1	2500	64.2
400	44.7	3150	67.4
500	46.7	4000	68.9
630	48.7	5000	67.9

Outro factor a ter em conta, prende-se com a necessidade de estudo de uma fachada translúcida. Para este efeito, foram consideradas dois tipos distintos de fachadas translúcidas previamente ensaiados pelo LNEC, sendo a primeira uma fachada com vidro duplo de 4 mm, caixa-de-ar de

12 mm e a segunda uma fachada de vidro simples com 8 mm, ambas com 1,5 m de largura por 1,2 m de altura, perfazendo uma área total de 1,8 m². A figura 5.22 exibe a variação do isolamento sonoro dos dois tipos de vidro em causa.

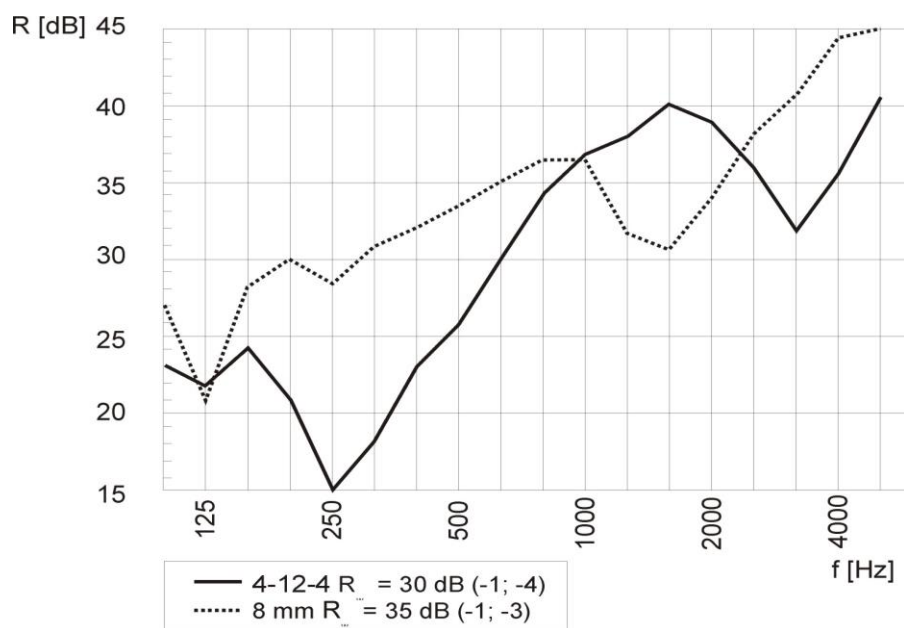


Figura 5.22 - Índices de isolamento sonoro para os dois tipos de vidro considerados para estudo

Com os dados dos dois elementos construtivos a serem estudados já conhecidos é possível calcular o valor do índice de isolamento sonoro global da fachada de um edifício habitacional de elementos compostos (32) e o valor da transmissão energética (8), dados pelas seguintes equações:

$$R_w = 10 \times \log \left(\frac{\sum_i S_i}{\sum_i S_i \times 10^{(R_i/10)}} \right) \quad (5.2)$$

Onde:

R_w – Índice de isolamento sonoro global (dB);

S_i – Área do elemento i (m²);

R_i – Índice de redução sonora do elemento i (dB).

$$\tau = 10^{(-R_w/10)} \quad (5.3)$$

Em que:

τ – Valor da transmissão energética do elemento.

Conhecidas as equações foi possível determinar o valor dos índices de isolamento sonoro globais e transmissões energéticas associadas, com a característica de apenas ter sido analisado o intervalo de frequências de 100 – 5000 Hz, dados pela tabela 4-16.

Tabela 5-16 - índices de isolamento sonoro globais e transmissões energéticas associadas para a parede e os dois tipos de janela considerados no estudo

Bandas de Frequência (Hz)	R parede (dB)	Janela 1	Rw (dB)	τ fachada	Janela 2	Rw (dB)	τ fachada
		vidro 4-12-4 mm			vidro 8mm		
100	40.2	23.0	31.1	7.76E-04	27.0	34.5	3.58E-04
125	37.7	22.0	29.9	1.02E-03	21.0	29.0	1.25E-03
160	40.5	24.0	32.0	6.29E-04	28.0	35.3	2.97E-04
200	44.3	21.0	29.5	1.13E-03	30.0	37.7	1.71E-04
250	41.3	15.0	23.5	4.44E-03	28.0	35.5	2.83E-04
315	42.1	28.0	35.6	2.73E-04	31.0	37.9	1.63E-04
400	44.7	23.0	31.4	7.23E-04	32.0	39.3	1.17E-04
500	46.7	26.0	34.4	3.66E-04	33.0	40.6	8.78E-05
630	48.7	30.0	38.2	1.50E-04	35.0	42.6	5.54E-05
800	50.9	34.0	42.1	6.21E-05	37.0	44.6	3.46E-05
1000	54.4	37.0	45.1	3.07E-05	37.0	45.1	3.07E-05
1250	58.1	38.0	46.3	2.33E-05	32.0	40.5	8.87E-05
1600	59.2	40.0	48.3	1.49E-05	31.0	39.5	1.11E-04
2000	61.8	39.0	47.4	1.80E-05	34.0	42.5	5.57E-05
2500	64.2	36.0	44.5	3.51E-05	38.0	46.5	2.23E-05
3150	67.4	32.0	40.6	8.75E-05	41.0	49.5	1.12E-05
4000	68.9	36.0	44.6	3.49E-05	44.0	52.5	5.62E-06
5000	67.9	41.0	49.5	1.11E-05	45.0	53.4	4.52E-06

Seguidamente, tornou-se essencial a conjugação das áreas de abertura de um exemplo teórico de fachada de edifício habitacional, de modo a que fosse possível a sua correcta análise em termos de desempenho acústico. Com isto, foi necessária a conversão dos índices de isolamento sonoro já calculados em 5.3.1 para valores de transmissão energética, dada pela equação 5.3. Seguidamente é apresenta a tabela 5-17 com os valores referentes a esta operação para uma área de abertura de 0,5 cm².

Tabela 5-17 - Valores da transmissão energética para uma área de abertura de 0,5 cm²

Área de abertura de 0,5 cm ²		
Frequência (Hz)	R (dB)	τ
50	21.5	7.09E-03
63	24.8	3.34E-03
80	26.3	2.35E-03
100	28.8	1.31E-03
125	31.6	6.94E-04
160	33.6	4.35E-04
200	34.6	3.47E-04
250	35.1	3.09E-04
315	34.6	3.43E-04
400	37.0	2.00E-04
500	39.1	1.23E-04
630	41.8	6.63E-05
800	44.5	3.51E-05
1000	46.7	2.15E-05
1250	46.9	2.05E-05
1600	45.9	2.55E-05
2000	45.5	2.79E-05
2500	47.4	1.83E-05
3150	49.8	1.04E-05
4000	52.4	5.78E-06
5000	55.4	2.86E-06

Os resultados referentes aos valores de transmissão energética para as restantes áreas de aberturas ensaiadas encontram-se disponíveis no anexo 1 B.

Com os valores de transmissão energética das áreas de abertura conhecidos foi possível o cálculo dos índices de redução sonora total para a fachada de edifício habitacional, este resultado foi possível a partir da soma dos valores de transmissão energética da fachada teórica em estudo com o das áreas de abertura ensaiadas. Para o cálculo dos índices de redução sonora totais aplicou-se a equação 5.4, os resultados referentes a este passo, para uma área de abertura de 0,5 cm² são apresentados na tabela 5-18, para a fachada com a janela com vidro duplo (tipo 1), para a mesma área de abertura, mas considerando, agora, a fachada com a janela com vidro simples (tipo 2) , os resultados são apresentados na tabela 5-19.

$$R_{total} = -10 \log \tau_{fachada} \quad (5.4)$$

Onde:

R_{total} – Índice de redução sonora total da fachada ensaiada (dB);

$\tau_{fachada}$ – Transmissão energética da fachada analisada

Tabela 5-18 - Valores da transmissão energética e índices de isolamento sonoro total para uma área de abertura de 0,5 cm² para uma fachada com janela do tipo 1

Frequência (Hz)	τ fachada	τ buraco 0.5 cm ²	τ total	Rtotal (dB)
100	7.76E-04	1.31E-03	2.09E-03	26.8
125	1.02E-03	6.94E-04	1.71E-03	27.7
160	6.29E-04	4.35E-04	1.06E-03	29.7
200	1.13E-03	3.47E-04	1.48E-03	28.3
250	4.44E-03	3.09E-04	4.75E-03	23.2
315	2.73E-04	3.43E-04	6.16E-04	32.1
400	7.23E-04	2.00E-04	9.24E-04	30.3
500	3.66E-04	1.23E-04	4.89E-04	33.1
630	1.50E-04	6.63E-05	2.16E-04	36.6
800	6.21E-05	3.51E-05	9.72E-05	40.1
1000	3.07E-05	2.15E-05	5.23E-05	42.8
1250	2.33E-05	2.05E-05	4.38E-05	43.6
1600	1.49E-05	2.55E-05	4.04E-05	43.9
2000	1.80E-05	2.79E-05	4.59E-05	43.4
2500	3.51E-05	1.83E-05	5.34E-05	42.7
3150	8.75E-05	1.04E-05	9.79E-05	40.1
4000	3.49E-05	5.78E-06	4.07E-05	43.9
5000	1.11E-05	2.86E-06	1.40E-05	48.5

Tabela 5-19 - Valores da transmissão energética índices de isolamento sonoro total para uma área de abertura de 0,5 cm² para uma fachada com janela do tipo 2

Frequência (Hz)	τ fachada	τ abertura 0.5 cm ²	τ total	Rtotal (dB)
100	3.58E-04	1.31E-03	1.67E-03	27.8
125	1.25E-03	6.94E-04	1.94E-03	27.1
160	2.97E-04	4.35E-04	7.32E-04	31.4
200	1.71E-04	3.47E-04	5.18E-04	32.9
250	2.83E-04	3.09E-04	5.93E-04	32.3
315	1.63E-04	3.43E-04	5.07E-04	33.0
400	1.17E-04	2.00E-04	3.17E-04	35.0
500	8.78E-05	1.23E-04	2.11E-04	36.8
630	5.54E-05	6.63E-05	1.22E-04	39.1
800	3.46E-05	3.51E-05	6.97E-05	41.6
1000	3.07E-05	2.15E-05	5.23E-05	42.8
1250	8.87E-05	2.05E-05	1.09E-04	39.6
1600	1.11E-04	2.55E-05	1.36E-04	38.6
2000	5.57E-05	2.79E-05	8.36E-05	40.8
2500	2.23E-05	1.83E-05	4.06E-05	43.9
3150	1.12E-05	1.04E-05	2.15E-05	46.7
4000	5.62E-06	5.78E-06	1.14E-05	49.4
5000	4.52E-06	2.86E-06	7.38E-06	51.3

Os restantes valores para diferentes áreas de abertura nos dois cenários de fachada habitacional considerados para estudo serão apresentados em formato digital.

Conhecidos os índices de isolamento sonoro total da fachada habitacional, com os vários tipos de aberturas contabilizados, aplicaram-se os mesmo passos já descritos no subcapítulo 5.3.2.

Os resultados referentes aos valores de isolamento sonoro total e índice de isolamento R_w , com os dois tipos de janela estudados, estão apresentados no anexo 1 C e 1 D.

Um factor muito importante para o desempenho acústico centra-se no conhecimento dos termos de adaptação, estes irão simular o comportamento acústico real de um elemento aplicando uma “correção” tendo em conta dois exemplos de espectro específicos, já descritos no subcapítulo 3.3.1. A norma EN ISO 717-1 (26) estipula que, para o cálculo destes termos de adaptação deve ser usada a seguinte fórmula:

$$C_j = X_{Aj} - X_w \quad (5.5)$$

Em que:

C_j – Índice de identificação dos espectro em causa, seja C ou C_{tr} ;

X_w – Índice de isolamento sonoro calculado (seja R_w ou $D_{n,w}$);

X_{Aj} – É calculado pela expressão:

$$X_{Aj} = -10 \log \sum 10^{(L_{i,j}-X_i)/10} \quad (dB) \quad (5.6)$$

Onde:

i – Índice para as bandas de frequência de um terço de oitava de 100 Hz a 3150 Hz;

$L_{i,j}$ – Níveis de pressão sonora referidos na tabela 2-2;

X_i – Redução sonora R_i , ou a diferença de níveis normalizada $D_{n,i}$

O valor de X_{Aj} ao ser calculado tem de ser arredondado para um número inteiro. O termo de adaptação espectral é por definição um número inteiro e deve ser identificado de acordo com o espectro utilizado para o seu cálculo, da seguinte forma (26):

C – Quando calculado de acordo com o espectro de ruído rosa;

C_{tr} – Quando calculado de acordo com o espectro de ruído de tráfego urbano

Para a indicação do índice isolamento sonoro, em relação com os resultados de medições realizadas por bandas de frequências com a largura de um terço de oitava são, associados, os dois termos de adaptação espectral entre parênteses, após o índice, separados por ponto e vírgula. Tendo como exemplo:

$$R_w = 40 (0; -5) \text{ dB}$$

Analisando o gráfico 5-13, pode-se constatar que para os tipos de vidros considerados temos:

- Vidro 4-12-4 mm

$$R = 30 (-1; -4) \text{ dB}$$

- Vidro 8 mm

$$R = 35 (-1; -3) \text{ dB}$$

Estes termos de adaptação são um ponto de comparação para os valores considerando as áreas de abertura da divisória e da fachada habitacional teórica com dois tipos de janela, expressos no Anexo 1 E, F e G.

Para uma melhor percepção da evolução dos valores referentes aos índices de isolamento sonoro normalizados e aos termos de adaptação para os cenários considerados, ao longo das várias áreas de abertura estudadas, foi realizada uma compilação de dados expostos na seguinte tabela.

Tabela 5-20 - Índices de isolamento sonoro e termos de adaptação para o ensaio laboratorial e os dois cenários de fachada com diferentes tipos de janela

Fachada com janela 1 (vidro duplo)				Fachada com janela 2 (vidro simples)			
Área de abertura (cm ²)	R _w (dB)	C	Ctr	Área de abertura (cm ²)	R _w (dB)	C	Ctr
0.5	40	-1	-4	0.5	40	-1	-3
1	40	-1	-4	1	40	-1	-3
5	37	-1	-3	5	37	-1	-2
10	33	-1	-2	10	33	0	-1
25	30	-1	-2	25	30	-1	-1
50	27	-1	-1	50	27	-1	-1
75	24	-1	-1	75	24	-1	-1
100	24	-1	-1	100	24	-1	-1
150	22	0	0	150	22	0	0
200	21	0	0	200	21	0	0
250	20	0	0	250	20	0	0

Ensaio experimental			
Área de abertura (cm ²)	R _w (dB)	C	Ctr
0.5	40	-1	-4
1	40	-1	-3
5	37	-1	-2
10	33	-1	-2
25	30	-1	-1
50	27	-1	-1
75	24	-1	-1
100	24	-1	-1
150	22	0	0
200	21	0	0
250	20	0	0

Analisando a tabela 5-20 é possível verificar que, a partir de uma área de abertura de 25 cm² (associado ao desgaste dos vedantes plásticos da fachada translúcida), os valores referentes ao índice de isolamento sonoro R_w são iguais para todos os cenários estudados, podendo aferir-se que as condições de estudo foram correctamente praticadas para as áreas de fachada estipuladas (ensaio laboratorial com os mesmos valores de ensaios teóricos *in situ*).

A tabela 5-21 apresenta as variações de isolamento sonoro R_w e percentagens diferenciais de todos os cenários considerados e das áreas de abertura ensaiadas face à primeira área analisada.

Tabela 5-21 - Diferenças de isolamento sonoro e percentagem associada em relação à área de 0,5 cm²

Fachada com janela 1 (duplo)				Fachada com janela 2 (vidro simples)			
Área de abertura (cm ²)	R _w (dB)	Diferença face a 0,5 cm ² (dB)	% de variação	Área de abertura (cm ²)	R _w (dB)	Diferença face a 0,5 cm ² (dB)	% de variação
0.5	38	0	0	0.5	40	0	0
1	38	0	0	1	40	0	0
5	36	-2	-5.3	5	37	-3	-7.5
10	33	-5	-13.2	10	33	-7	-17.5
25	30	-8	-21.1	25	30	-10	-25.0
50	27	-11	-28.9	50	27	-13	-32.5
75	24	-14	-36.8	75	24	-16	-40.0
100	24	-14	-36.8	100	24	-16	-40.0
150	22	-16	-42.1	150	22	-18	-45.0
200	21	-17	-44.7	200	21	-19	-47.5
250	20	-18	-47.4	250	20	-20	-50.0

Ensaio Laboratorial			
Área de abertura (cm ²)	R _w (dB)	Diferença face a 0,5 cm ² (dB)	% de variação
0.5	44	0	0
1	43	-1	-2
5	38	-6	-13.6
10	34	-10	-22.7
25	30	-14	-31.8
50	27	-17	-38.6
75	24	-20	-45.5
100	24	-20	-45.5
150	22	-22	-50.0
200	21	-23	-52.3
250	20	-24	-54.5

Pela análise da tabela anterior, é notória a existência de uma larga variação dos valores de isolamento sonoro para os três cenários analisados, principalmente se forem consideradas as últimas áreas de abertura. Para estes cenários, a progressão da variação de isolamento sonoro foi similar, podendo-se admitir que os ensaios laboratoriais têm um contexto semelhante com o manifestado nas fachadas habitacionais teóricas. Os valores referentes a 25 cm² e de 75 cm², mostram-se como os mais relevantes, dado que apresentam o maior intervalo de variação (20% – 45%) e estão associados aos cenários mais comuns de desgaste das fachadas translúcidas.

De modo a ser mais perceptível a evolução dos termos de adaptação C e C_{tr} ao longo das áreas estudadas, são apresentados em seguida dois gráficos com variação destes valores para todos os cenários considerados.

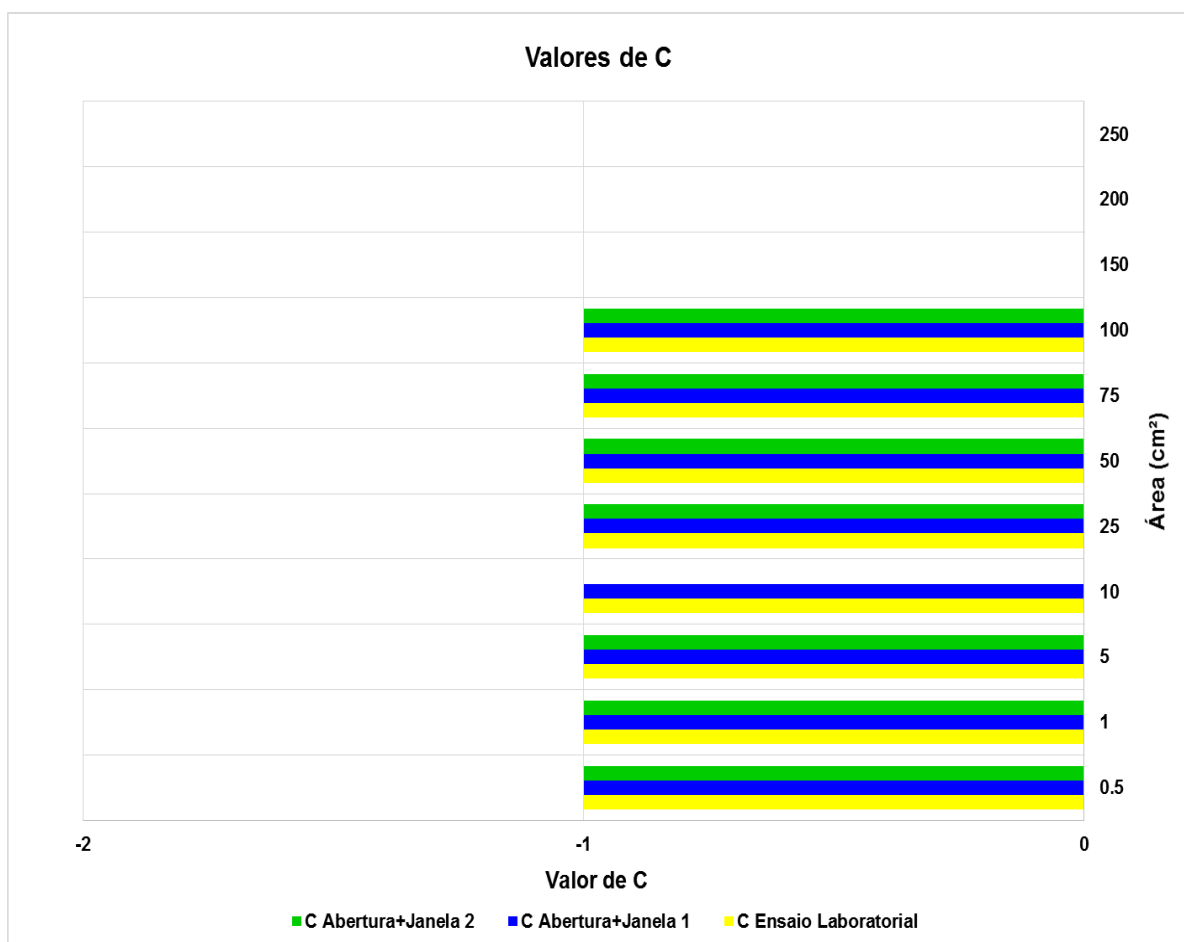


Figura 5.23 - Variação dos valores de C ao longo das diferentes áreas de abertura

A figura anterior mostra que os valores de C , até uma área de 100 cm^2 , são iguais para todos os cenários estudados tomando o mesmo valor do valor exposto na figura 5.21 para dois tipos de vidro analisados. No caso da área de abertura de 10 cm^2 , o valor referente ao cenário da fachada de edifício habitacional com uma janela do tipo 2 tem um valor de C é 0, assumindo-se o facto de ter sido possível existir uma falha no tratamento de dados. Para as 3 últimas áreas, relacionadas com o cenário de completa degradação da fachada, o valor de C é 0.

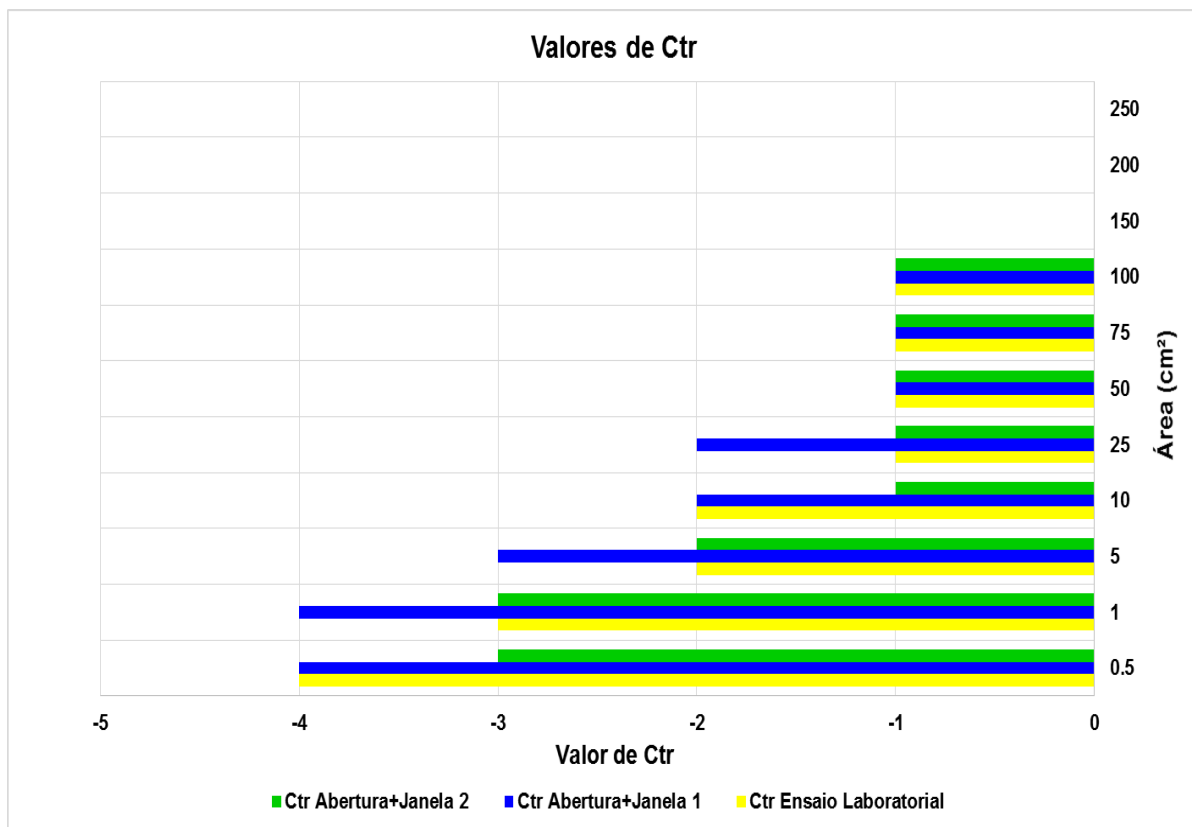


Figura 5.24 - Variação dos valores de Ctr ao longo das diferentes áreas de abertura

Na figura 5.24, a evolução não é tão clara como para o gráfico anterior. Nas primeiras duas áreas expostas, os valores de C_{tr} para os dois tipos de janela seguem o mesmo valor dos descritos na figura 5.21. Com o aumento das áreas de abertura, a diferença de valores segue um decréscimo linear até ficarem estagnadas no valor de -1 para as áreas de 50, 75 e 100 cm². Para as últimas 3 áreas, o cenário é análogo ao do gráfico 5.22, onde o termo C_{tr} toma o valor de 0.

Para ser possível comparar os valores de isolamento sonoro da fachada habitacional teórica estudada com o regulamento em vigor, teve de ser calculado o índice $D_{nT,w}$. O valor de $D_{2m,nT,w}$, não pôde ser contabilizado pois não foram realizados ensaios *in situ* autênticos, para obter valores fidedignos de pressão sonora medida a 2 metros da fachada. Com simiralidade dos valores das áreas de fachada estudadas (10 m² no laboratório e 12 m² na fachada teórica) foi possível obter-se uma apreciação genérica e utilizar os valores de $D_{nT,w}$ para a verificação do requisitos acústicos regulamentares, em termos teóricos.

O valor de isolamento a sons aéreos $D_{nT,w}$ é medido *in situ*, ajustado pela curva de referência normalizada da NP EN ISO 717-1 (26) e padronizado para um tempo de reverberação do compartimento receptor T_0 (igual a 0,5 s). Este termo inclui o efeito das transmissões marginais, sendo dado pela expressão:

$$D_{nT,w} = R'_w + 10 \log \left(\frac{0,16 \times V}{S \times T_0} \right) \quad (5.7)$$

Onde:

$D_{nT,w}$ – Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado (dB);

R'_w – Índice de redução sonora padronizado, contabilizando as perdas marginais (dB);

V – Volume do compartimento analisado (considerado 48 m³);

S – Área do elemento a estudar (m²);

T_0 – Tempo de reverberação de referência (0,5 s)

Neste trabalho, considerou-se que a transmissão marginal não iria ser significativa, pois o elemento condicionante para o ensaio seria a fachada de um edifício habitacional com dois tipos diferentes de janela. Procedeu-se, assim, ao cálculo de $D_{nT,w}$ considerando R'_w igual ao valor de R_w , já calculado anteriormente, os valores de $D_{nT,w}$ são apresentados na tabela 5-22.

Tabela 5-22 - Índices de isolamento sonoro a ruídos de condução aéreas padronizados para as fachadas de edifícios com os dois tipos de janela ensaiadas

	Fachada com janela 1	Fachada com janela 2
Área de abertura (cm ²)	Dnt,w (dB)	Dnt,w (dB)
0.5	39	41
1	39	41
5	37	38
10	34	34
25	31	31
50	28	28
75	25	25
100	25	25
150	23	23
200	22	22
250	21	21

Analisando a tabela anterior, a partir de uma área de abertura de 75 cm², os dois exemplos de fachadas de edifícios estudados não cumprem com o que é exigido regulamentarmente no RRAE (1), onde o valor do isolamento a sons de condução aérea tem de ser ≥ 28 dB para zonas sensíveis.

6. Ensaios de permeabilidade ao ar

6.1 Introdução e Objectivo

Este método de ensaio visa a determinação do caudal de ar, por unidade de área, que atravessa as várias áreas de abertura da divisória ensaiada nas câmaras acústicas do LNEC e, conseqüentemente, a sua classificação baseada no grupo de classes dispostas na EN 12207:2000 (28). A determinação da permeabilidade ao ar foi feita através da aplicação de pressões positivas.

As condições de ensaio seguem as descritas na norma de ensaio EN 1026:2000 (27) e são caracterizadas por um intervalo de temperatura de 10 °C a 30 °C e um intervalo de humidade relativa de 25% a 75%.

O objectivo final destes ensaios, pretende provar a necessidade de compreender a forma como as variações das áreas de abertura analisadas, vão afectar a mudança de classes de permeabilidade ao ar existentes na norma em vigor.

6.2 Método Experimental

Para estes ensaios foram utilizadas as mesmas câmaras acústicas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil com um volume de 120 m³ onde decorreram os ensaios acústicos, servindo a divisória como propósito para a determinação do caudal de ar. O sentido da realização deste ensaio foi realizado com as primeiras medições para a maior área de abertura, sendo que o valor máximo de pressão neste ensaio seria o valor de referência para os ensaios seguintes, de maneira em que se pudessem conjugar todos os valores de pressão medidos. Para estes ensaios, foi preciso a coordenação de técnicos especializados com autorização para manusear o equipamento específico.

Para a correcta execução dos ensaios é importante que sejam utilizados os seguintes equipamentos:

- Micromanómetro;
- Termómetro e higrómetro;
- Barómetro;
- Paquímetro;
- Fita métrica.

Os 3 primeiros equipamentos descritos nos pontos anteriores são os mais susceptíveis a erros de medição tornando-se, assim, fundamental a sua calibração. Todos estes equipamentos foram calibrados anteriormente ao ensaio com especial preocupação para o micromanómetro, que mede as diferenças de pressão na câmara de ensaio. Em seguida são expostos os valores referentes à calibração, realizada no LNEC, do micromanómetro utilizado.

O modelo utilizado para estes ensaios é o Airflow – EDRA 6 com uma capacidade de medir caudais volúmicos de ar numa gama de 0 m³/h a 550 m³/h, a sua calibração está disposta em três gráficos distintos, o primeiro está definido por uma recta de ajuste para caudais de 0 m³/h a 20 m³/h, seguido por uma recta de ajuste para caudais de 20 m³/h a 100 m³/h e a última de 100 m³/h a 550 m³/h.

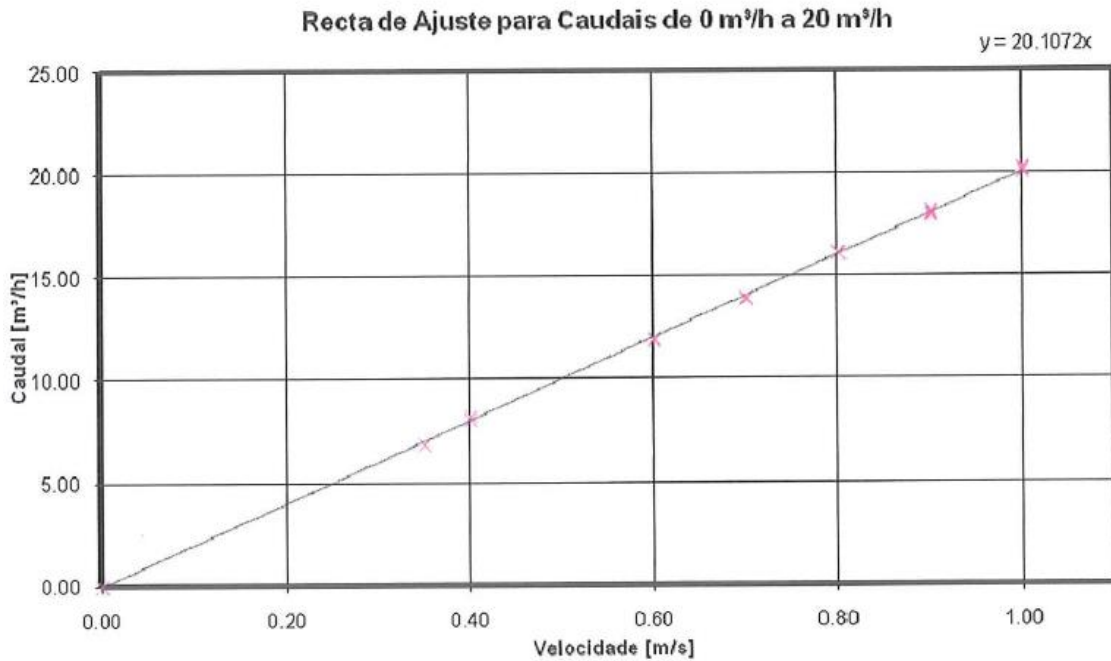


Figura 6.1 - Recta de ajuste para caudais de 0 m³/h a 20 m³/h

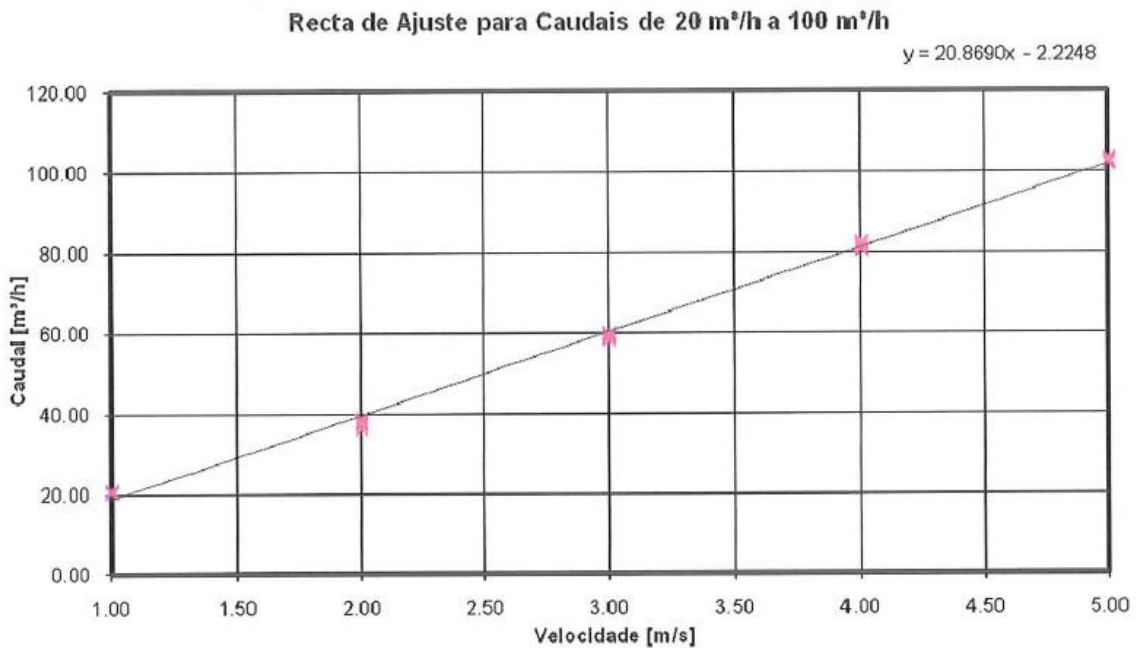


Figura 6.2 - Recta de ajuste para caudais de 20 m³/h a 100 m³/h

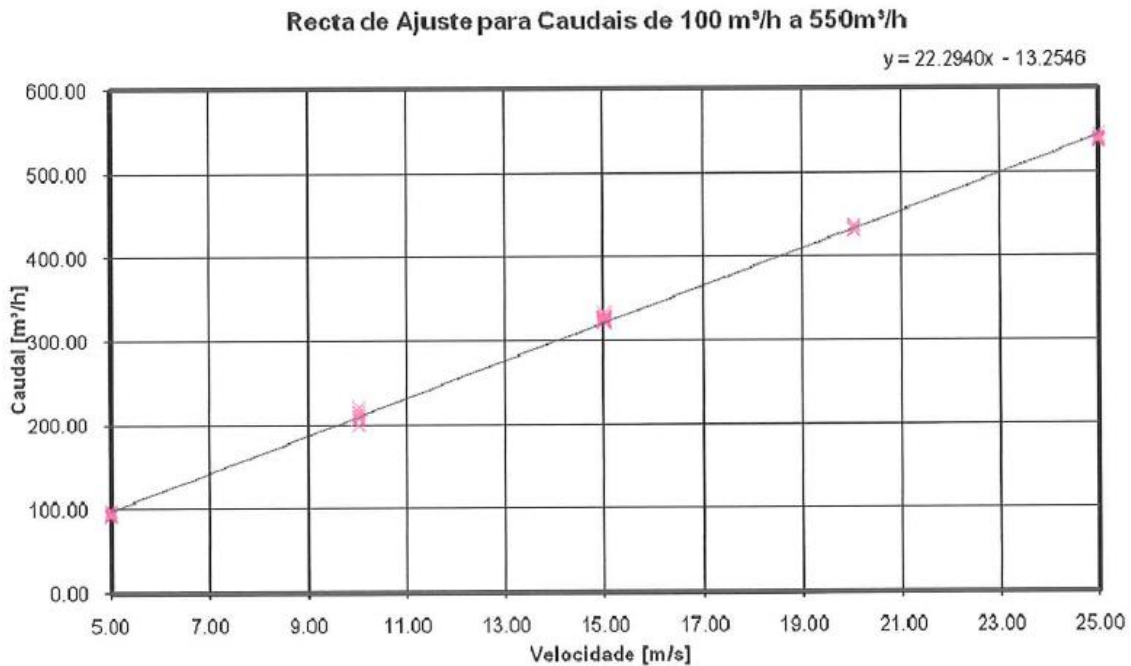


Figura 6.3 - Recta de ajuste para caudais de 100 m³/h a 550 m³/h

Com a análise destes gráficos é importante referir o valor da equação da recta calculada, esta equação vai ser fundamental para a determinação do correcto valor do caudal para cada valor de pressão medido na câmara de ensaio. As equações estão dispostas por:

- Caudal entre 0 m³/h a 20 m³/h; $y = 20,1072x$
- Caudal entre 20 m³/h a 100 m³/h; $y = 20,8690x - 2,2248$
- Caudal entre 100 m³/h a 550 m³/h; $y = 22,2940x - 13,2546$

O valor de x comum às três equações é correspondente ao valor real do caudal medido na câmara de ensaio para cada nível de pressão. Todos estes valores vão ser considerados para o cálculo do caudal (equação 6.1) em condições normais (temperatura de 20 °C e pressão de 101,3 kPa), considerando a temperatura e a pressão medidas na altura do ensaio T_x e p_x respectivamente (27).

$$Q_0 = Q_x \times \frac{293}{273 + T_x} \times \frac{p_x}{101,3} \quad (6.1)$$

Onde:

Q_0 – Caudal para um certo nível de pressão (m³/h);

T_x – Temperatura medida no ensaio (°C);

p_x – Pressão medida no ensaio (kPa);

Q_x – Caudal referente ao ensaio (m³/h);

Para o cálculo de Q_x é necessário ter em conta os seguintes requisitos:

Para um caudal inferior a 1 m/s temos:

$$Q_x = 20,107 \times \text{caudal medido} \quad (6.2)$$

Para um caudal superior a 1 m/s temos:

$$Q_x = 20,869 \times \text{caudal medido} + (-2,225) \quad (6.3)$$

Para um caudal superior a 5 m/s temos:

$$Q_x = 22,2940 \times \text{caudal medido} + (-13,255) \quad (6.4)$$

Com estes pressupostos teóricos analisados foi possível avançar com o procedimento experimental. Inicialmente foi medida a temperatura e a humidade relativa, verificando se estes valores estariam no intervalo descrito no subcapítulo 6.1, os valores medidos nos ensaios foram de 15,9 °C e 73,9% de humidade relativa. Em seguida, para tornar a câmara emissora de pressão estanque, foi necessário adaptar um contraplacado com as dimensões da porta de acesso à câmara de ensaio com um buraco para a passagem do tubo admissor de pressão de acesso à câmara (figura 6.4) e aplicar fita adesiva de forma a tornar todas as juntas do protótipo estanques aquando da emissão de pressão para a mesma (figura 6.5).



Figura 6.4 - Contraplacado utilizado para a porta da câmara de ensaio



Figura 6.5 - Contraplacado com fita adesiva para tornar as juntas estanques

Em seguida foi efectuada a medição das fugas da câmara de ensaio, através da realização do ensaio de permeabilidade ao ar com todas as juntas da divisória tornadas estanques, através do vedamento dos furos com pastilhas adesivas plásticas moldáveis (figura 6.6), para as faixas laterais abertas foi utilizada uma placa de contraplacado colmatando as falhas com fita adesiva, como pode ser visto na figura 6.7.



Figura 6.6 - Vedante plástico utilizado para fechar as aberturas da divisória



Figura 6.7 - Placas e fita adesiva utilizadas para vedar as faixas laterais

Os valores medidos para o ensaio de calibração, que irá ser o ponto de comparação para todas as áreas a estudar, são apresentados na seguinte tabela.

Tabela 6-1 - Valores de pressão medidos na câmara de ensaio e caudal calculado para o ensaio de calibração

Pressão na Câmara [Pa]	5	10	15	20	25
Caudal medido [m/s]	0.56	0.87	1.28	1.50	1.68
Caudal Calculado a 20 °C [m³/h]	11.26	17.50	24.49	29.08	32.84

Todos os valores calculados respeitam as condicionantes descritas nas equações 6.2 a 6.4, sendo o caudal calculado a 20 °C retirado da equação 6.1. Com os valores de referência calculados, procedeu-se à medição para todos os valores referentes às áreas de abertura já estudadas nos ensaios acústicos, presentes no Anexo 1 H. Para o cálculo do caudal real em $m^3/h \times m^2$ é necessário dividir o caudal calculado no ensaio, expresso em m^3/h pelo valor da área da divisória estudada ($10 m^2$).

6.3 Análise de resultados

Com os valores dos caudais referentes a cada área de abertura calculados, foi necessário verificar a sua correlação com o gráfico da figura 3.7 de modo a saber-se em que classe de permeabilidade ao ar ficaria inserido o ensaio realizado para cada área de abertura, estes resultados estão expostos nas figuras seguintes.

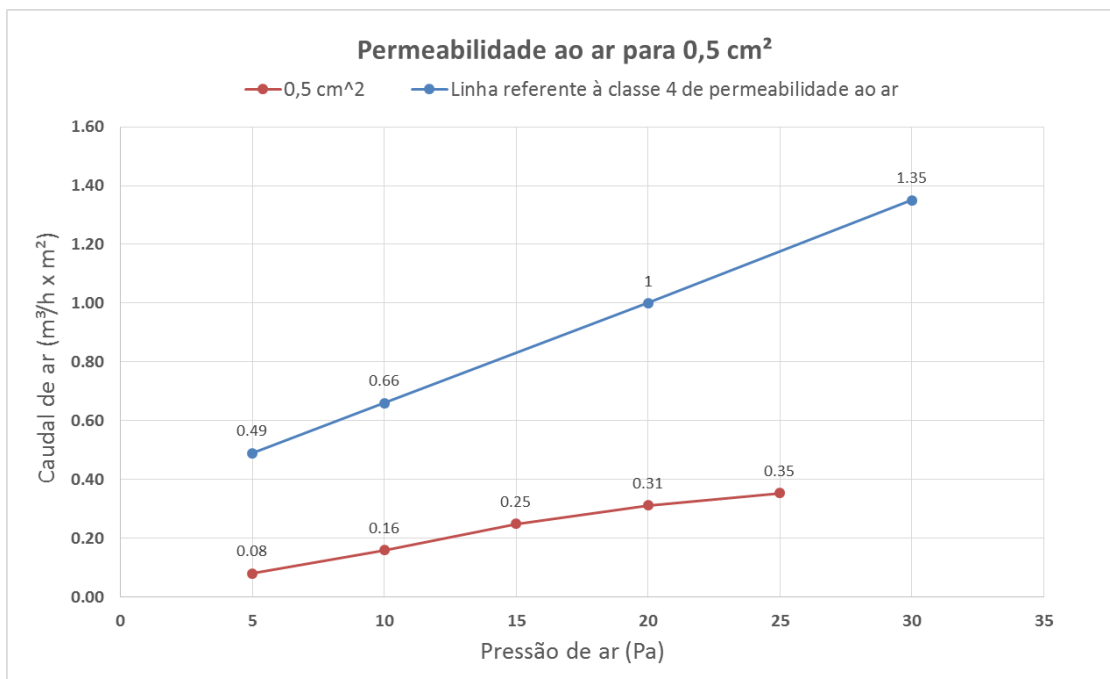


Figura 6.8 - Classe de permeabilidade ao ar para uma área de abertura de 0,5 cm²

Pela análise da figura anterior é possível constatar que a linha relacionada ao caudal para uma área de abertura de 0,5 cm², encontra-se bastante abaixo da recta de valores referentes à classe 4 de permeabilidade ao ar, sendo de fácil interpretação que a divisória está inserida na classe 4.

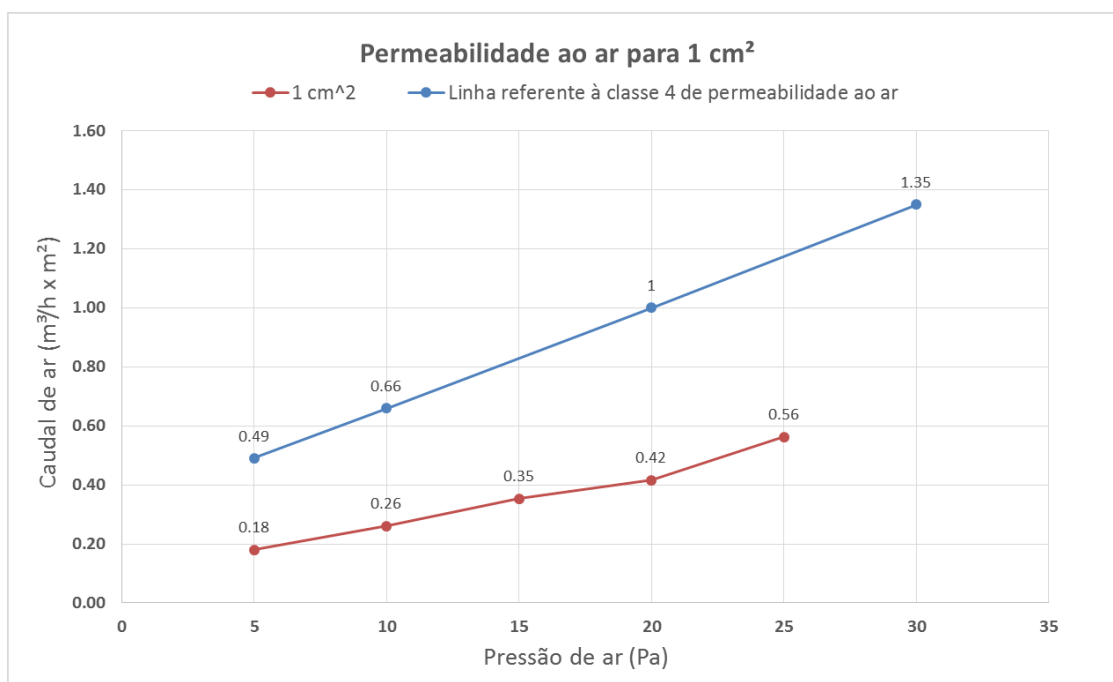


Figura 6.9 - Classe de permeabilidade ao ar para uma área de abertura de 1 cm²

Após a observação do gráfico da figura 6.9, pode-se aferir que este apresenta as mesmas condições analisadas no gráfico da figura 6.8, verificando-se que a divisória para um área de abertura de 1 cm² está, também, englobada na classe 4.

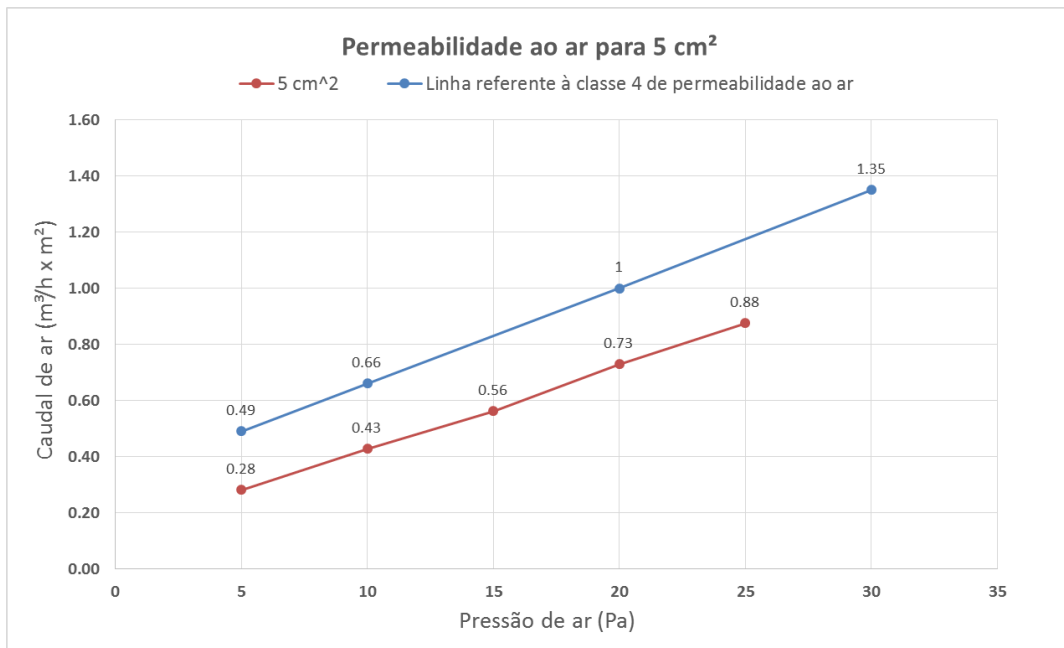


Figura 6.10 - Classe de permeabilidade ao ar para uma área de abertura de 5 cm²

Para uma área de abertura de 5 cm², a recta referente ao caudal de ar que passa pela divisória tem o mesmo comportamento descrito nos gráficos anteriores, sendo possível concluir que, a mesma se encontra na classe 4 de permeabilidade ao ar.

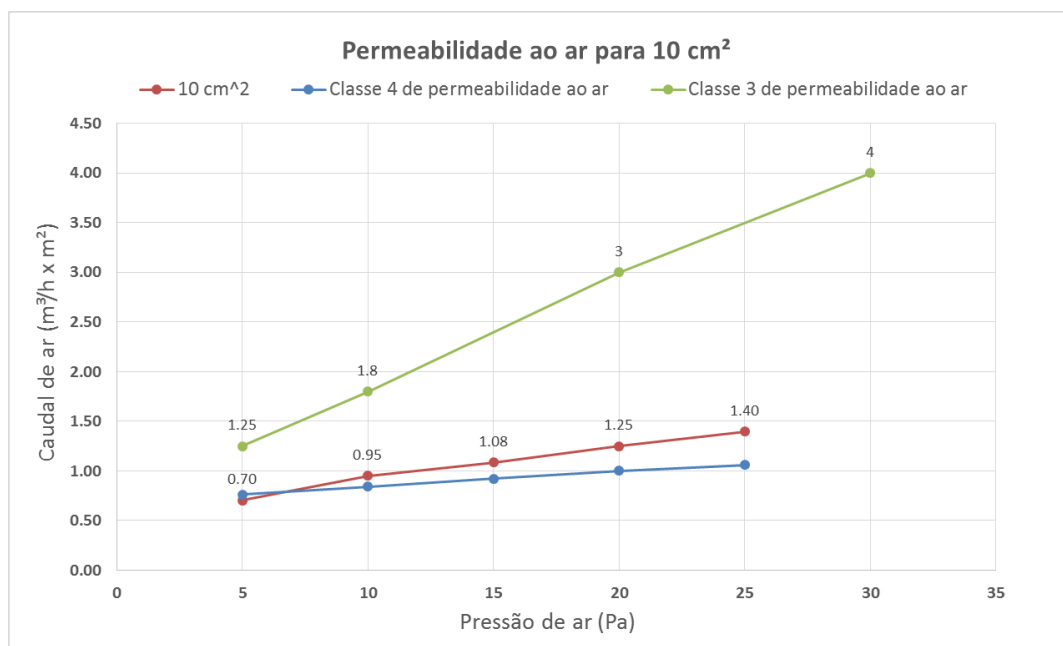


Figura 6.11 - Classe de permeabilidade ao ar para uma área de abertura de 10 cm²

O gráfico da figura anterior apresenta uma diferença face a todos os gráficos anteriormente analisados. Torna-se evidente que a recta referente ao caudal de ar que passa na divisória para uma área de 10 cm² é superior, desde uma pressão acima de 5 Pa, à linha que limita a classe 4 de permeabilidade ao ar, mas inferior à linha referente à classe 3, concluindo-se, desse modo,

que a divisória com uma área de abertura de 10 cm² fica enquadrada na classe 3 de permeabilidade ao ar.

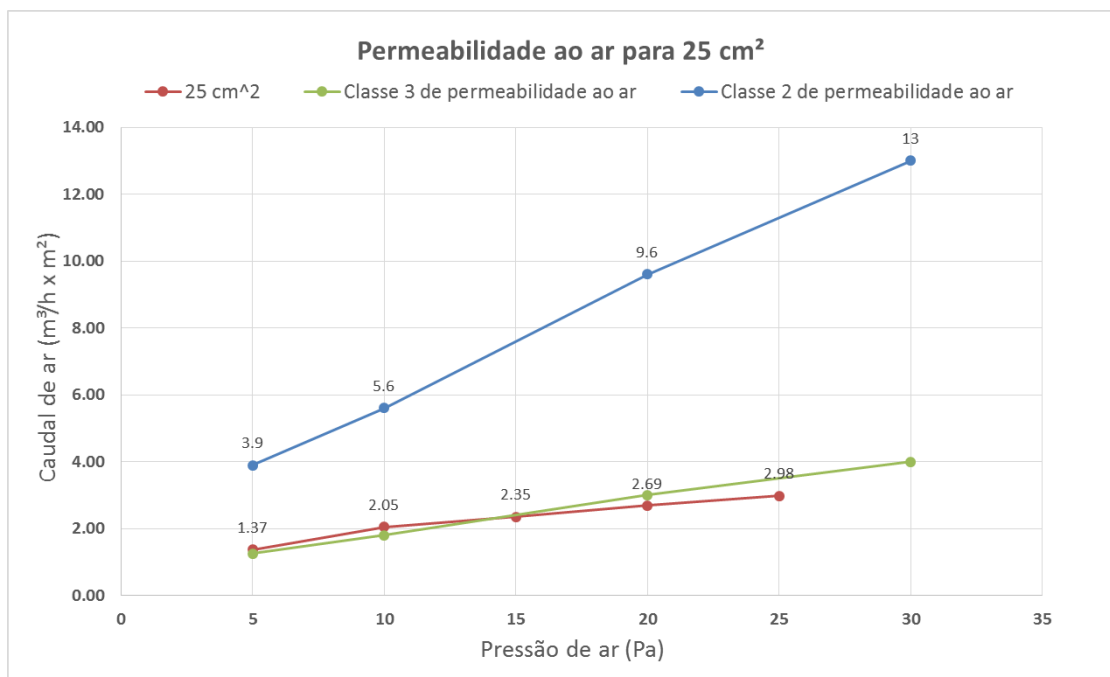


Figura 6.12 - Classe de permeabilidade ao ar para uma área de abertura de 25 cm²

Pela análise do gráfico da figura 6.12, torna-se perceptível que a recta alusiva ao caudal de ar que atravessa a divisória para uma área de abertura de 25 cm² está compreendida entre as classes 2 e 3 de permeabilidade ao ar. Considerando as pressões de ar superiores a 15 Pa como as mais condicionantes, determinou-se que esta área estudada está inserida na classe 3.

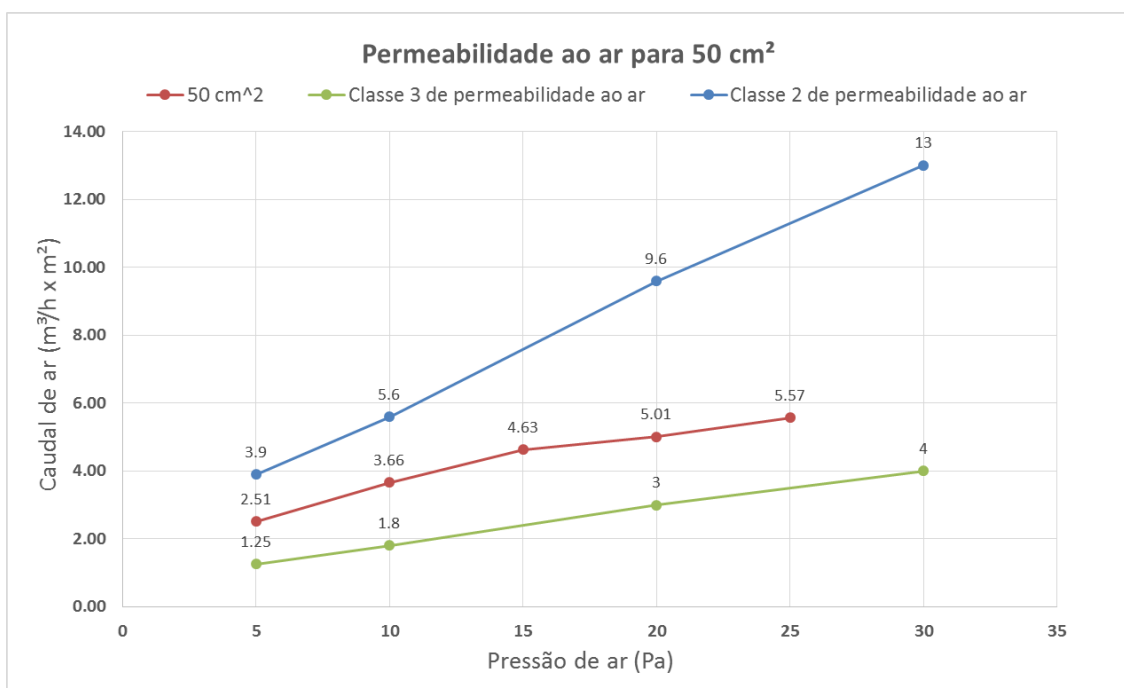


Figura 6.13 - Classe de permeabilidade ao ar para uma área de abertura de 50 cm²

O gráfico da figura anterior evidencia que a curva relacionada com o caudal para uma área de abertura de 50 cm², encontra-se bastante abaixo da curva de valores referentes à classe 2 de permeabilidade ao ar, sendo de fácil interpretação que a divisória ensaiada insere-se na classe 2.

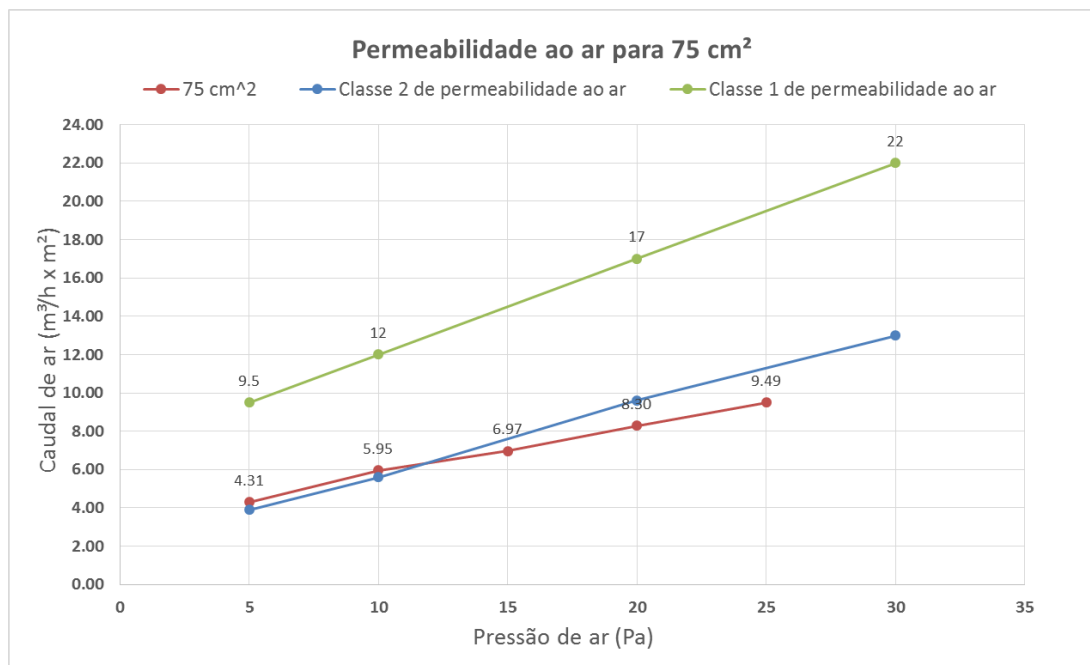


Figura 6.14 - Classe de permeabilidade ao ar para uma área de abertura de 75 cm²

Pela análise do gráfico da figura 6.14, torna-se perceptível que a recta alusiva ao caudal de ar que atravessa a divisória para uma área de abertura de 75 cm² está compreendida entre as classes 2 e 1 de permeabilidade ao ar. Considerando as pressões de ar superiores a 15 Pa como as mais condicionantes, determinou-se que esta área estudada está enquadrada na classe 2.

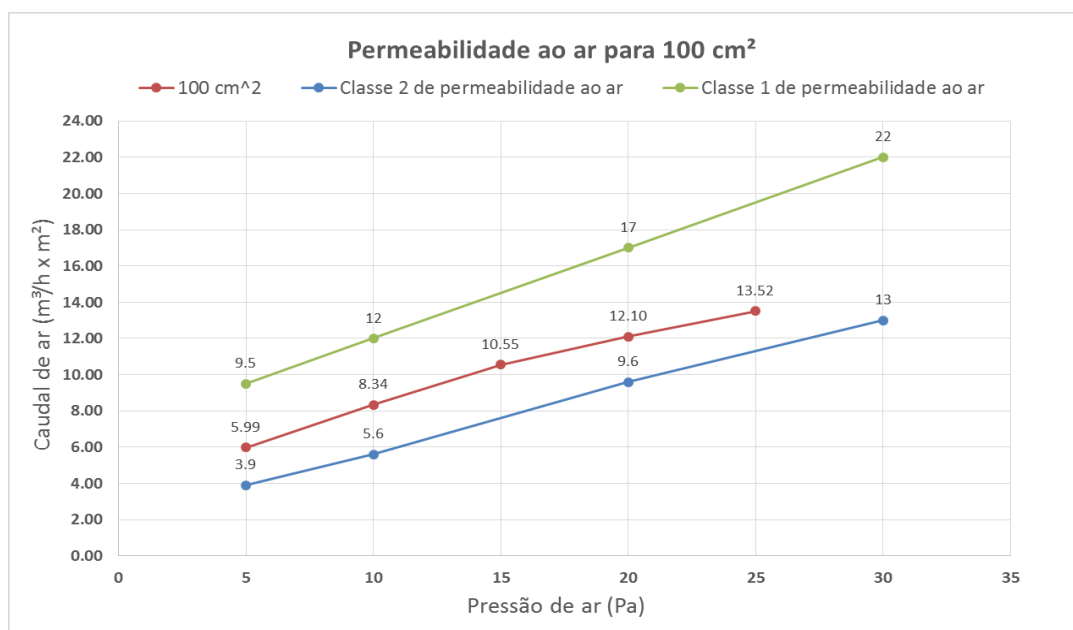


Figura 6.15 - Classe de permeabilidade ao ar para uma área de abertura de 100 cm²

Para uma área de abertura de 100 cm² é possível constatar que a recta do caudal escoada para esta área encontra-se abaixo da linha de valores referentes à classe 1 de permeabilidade ao ar, sendo de fácil interpretação que a divisória está inserida na classe 1.

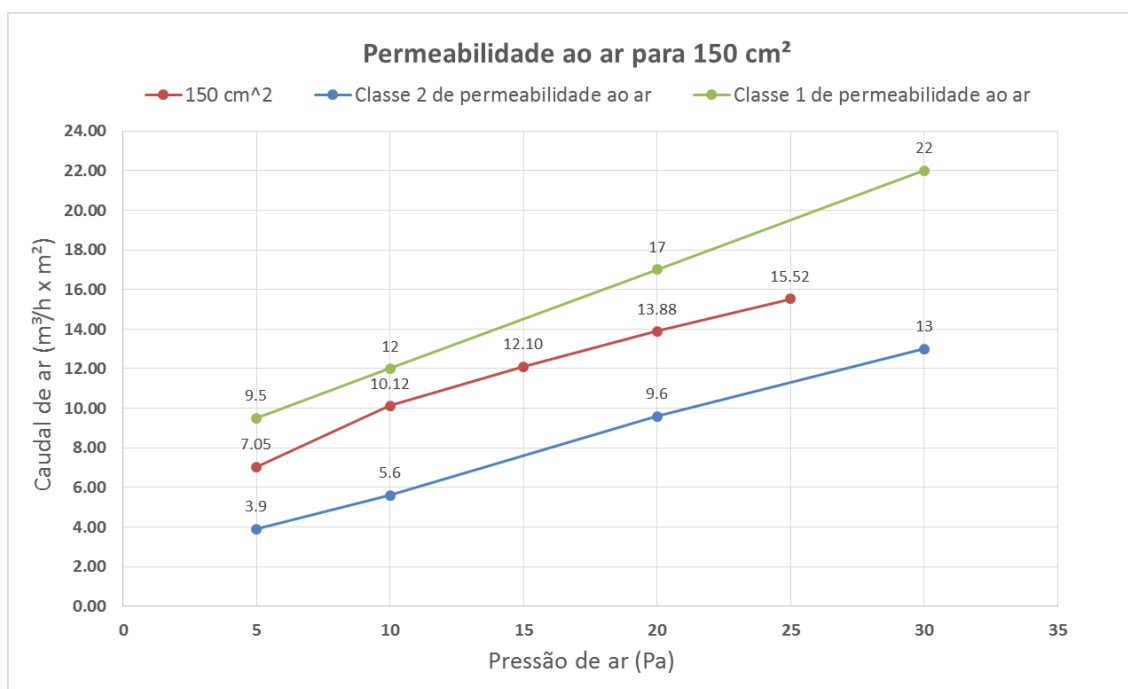


Figura 6.16 - Classe de permeabilidade ao ar para uma área de abertura de 150 cm²

Após a observação do gráfico da figura anterior, pode-se aferir que este apresenta as mesmas condições analisadas no gráfico da figura 6.15, verificando-se que a divisória para um área de abertura de 150 cm² está, também, englobada na classe 1.

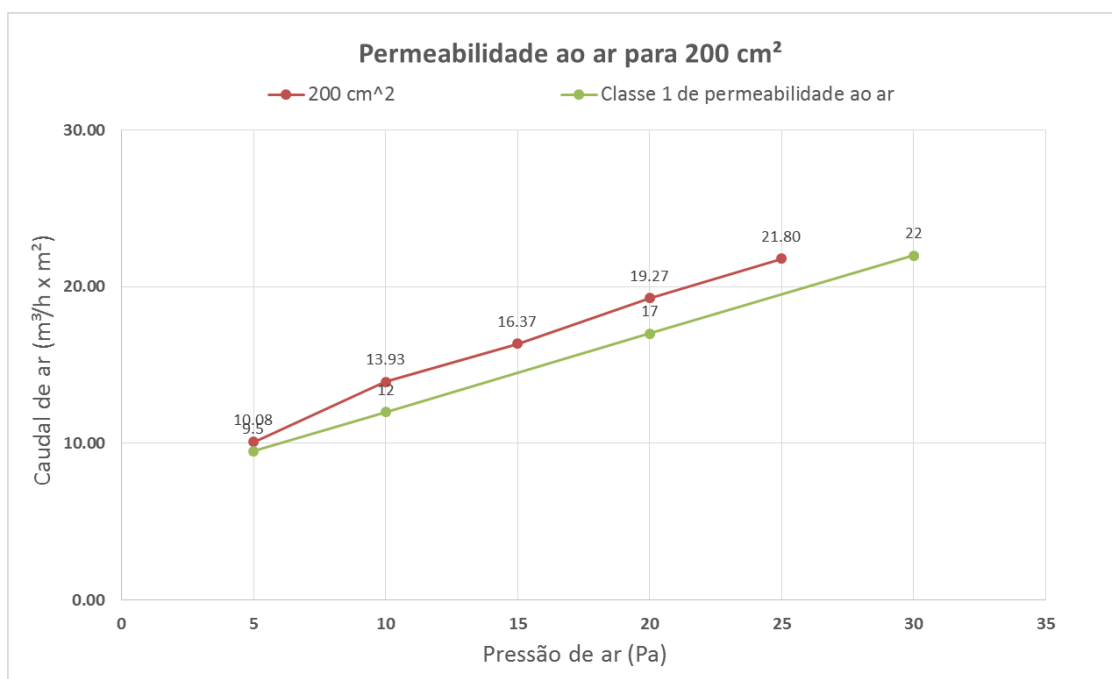


Figura 6.17 - Classe de permeabilidade ao ar para uma área de abertura de 200 cm²

O gráfico da figura 6.17 apresenta uma diferença face a todos os gráficos anteriormente analisados, uma vez que a recta referente ao caudal de ar que passa na divisória para uma área de 200 cm² é superior, em todos os seus valores, à linha associada a uma classe de permeabilidade ao ar 1, estando enquadrada na classe 0, ou seja, a classe sem ensaio determinado.

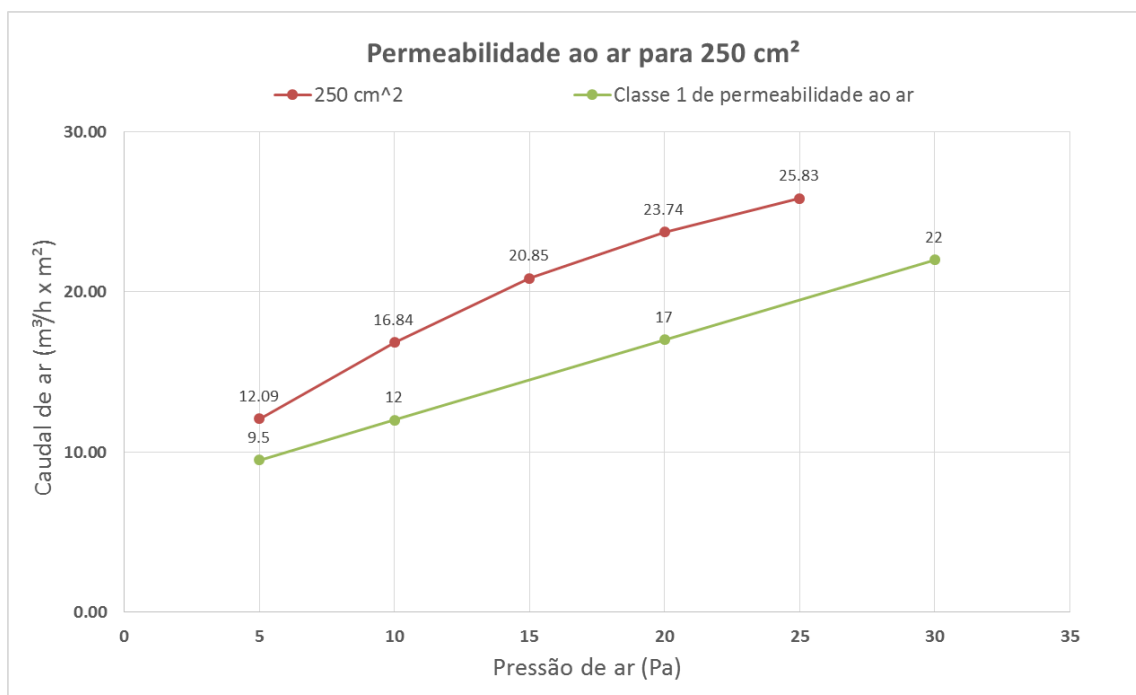


Gráfico 6.1 - Classe de permeabilidade ao ar para uma área de abertura de 250 cm²

Para uma área de abertura de 250 cm², a recta referente ao caudal de ar que passa pela divisória tem o mesmo comportamento do que já foi descrito no gráfico anterior, sendo possível concluir que, a mesma se encontra na classe 0 de permeabilidade ao ar.

Para uma percepção mais significativa dos resultados obtidos para as diversas classes de permeabilidade ao ar, foram compilados todos os valores calculados que são apresentados na tabela em seguida.

Tabela 6-2 - Classes de permeabilidade ao ar para as áreas ensaiadas

Área de abertura (cm ²)	Classe	Área de abertura (cm ²)	Classe
0.5	4	75	2
1	4	100	1
5	4	150	1
10	3	200	0
25	3	250	0
50	2		

7. Conclusões e desenvolvimentos futuros

Após a realização desta investigação, que teve como principal objectivo avaliar em que sentido o isolamento acústico está relacionado com a permeabilidade ao ar e, de que maneira os dois estão relacionados com o conforto acústico das habitações e o bem-estar dos residentes, pode-se afirmar que, de uma forma geral, os objectivos traçados foram cumpridos.

Em termos de síntese, primeiramente foram abordados alguns temas, designadamente: as noções gerais da Acústica (capítulo 2); no capítulo 3 descreveram-se os fundamentos referentes a isolamentos a sons aéreos e permeabilidade ao ar de fachadas de edifícios sendo, também, apresentado o enquadramento legal em vigor no território nacional e de que modo os resultados obtidos respeitariam o descrito nos mesmos. A concepção destes capítulos, foi fulcral para um correcto desenvolvimento e análise da investigação.

Analisando os resultados obtidos nos capítulos 5 e 6, foi possível determinar o quão relevante é uma correcta manutenção das fachadas em termos de conforto acústico. No capítulo 5, os resultados dos termos de comparação evidenciam o facto de, com a variação das áreas de abertura analisadas, estas “correções” tomarem um valor cada vez menor para os valores de referência dos diferentes tipos de janelas considerados, (-1;-4) para o vidro duplo e (-1;-3) para o vidro simples. Para o termo C, as variações não apresentam uma mudança notável em que, só a partir de uma área de 150 cm², tomam o valor de 0, concluindo-se que a fachada analisada apresenta uma perda de isolamento tão significativa que a “correção” a adaptar não é relevante.

Considerando o termo C_{tr} , a variação para as diferentes áreas de abertura ensaiadas segue um comportamento diferente do observado para o termo anterior. As duas primeiras áreas de abertura não têm variação face aos valores de referência em que, a partir dos mesmos, apresentam uma variação linear, até tomarem o valor de 0 desde a área de 150 cm², similarmente como o observado para o termo C.

A partir de uma área de abertura de 25 cm², o isolamento sonoro nos ensaios laboratoriais tem um valor inferior para as médias frequências num intervalo de 1000 – 2000 Hz do que o analisado para as baixas e altas frequências, podendo-se concluir que, quanto maior a área de abertura, menor o isolamento sonoro neste intervalo de frequências.

Em termos regulamentares, a partir de uma área de abertura de 75 cm², o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea não se encontra no intervalo dos valores expostos no Regulamento Geral do Ruído, para nenhum dos dois exemplos de fachada ensaiada.

Pelo capítulo 6 foi possível inferir que a mudança de classe de permeabilidade ao ar apenas é notória a partir de uma área de 5 cm², até apresentar , para as duas últimas áreas analisadas, um valor de 0 que nem possui ensaios de referência.

Em relação às áreas ensaiadas pode-se aferir que, para as áreas de 0,5 e 1 cm², englobadas no grupo referente a folgas de aparafusamento da fachada translúcida, não foi encontrado qualquer tipo de diferença em termos acústicos ou de permeabilidade ao ar, face aos valores de referência, podendo deduzir que este cenário não provoca qualquer variação significativa numa fachada habitacional.

Para as últimas duas áreas estudadas, que simulam uma degradação considerável da fachada, o panorama é completamente divergente. Em termos acústicos e de permeabilidade ao ar conclui-se que, para estas áreas, o cenário é semelhante ao de uma janela aberta devido à elevada perda de isolamento acústico e a baixa permeabilidade ao ar.

Segundo Patrício (34) “em termos de comparação entre janelas fechadas e estores abertos temos: no caso da JÁ-EA (Janela aberta com estore aberto) e de JÁ-EMA (Janela aberta com estore meio aberto) temos um decréscimo do isolamento acústico de 15-17 dB, enquanto no caso da JÁ-EF (Janela aberta com estore fechado) temos um decréscimo do isolamento acústico de 7-10 dB. Com estes resultados, podemos fazer uma comparação genérica com este trabalho, no sentido de que, quanto maior é a área de abertura, menor irá ser o isolamento acústico de uma fachada habitacional, onde a posição estore do artigo vai servir de ponto equivalente para as áreas medidas neste trabalho.

A respeito do inquérito realizado, descrito no capítulo 7, o conjunto de respostas dos inquiridos permitiu comprovar a indiscutível importância dos temas estudados neste trabalho, tal como a preocupação de uma correcta adopção de factores que possam mitigar qualquer desconforto por parte dos residentes de edifícios habitacionais.

No âmbito do desenvolvimento de ensaios futuros, seria interessante analisar casos *in situ* reais para uma correcta percepção da variação dos índices de isolamento sonoro face aos ensaios laboratoriais.

Deve ser identificado o factor de erro de ensaio, onde as medidas consideradas para o mesmo podem não ter sido completamente iguais ao descrito no trabalho, dado que os instrumentos de medição não foram os ideais, sendo por isso, importante garantir, em ensaios futuros um processo de medição mais rigoroso. Quanto ao formato das áreas em si, seria importante um estudo do formato das áreas de abertura com uma área igual, por exemplo, analisar as diferenças de isolamento entre uma área de abertura circular e uma quadrangular.

Outro aspecto deveras importante, prende-se com o facto da necessidade de estabelecer uma correspondência entre várias soluções construtivas, frequentemente utilizadas em fachadas, e as classes de conforto acústico e de permeabilidade ao ar a elas associadas.

Este tema merece estudos mais aprofundados que contribuam para a produção de novas metodologias, capazes de permitir uma mais correcta abordagem da variação das perdas de isolamento sonoro e da permeabilidade ao ar pelo desgaste das fachadas habitacionais.

Bibliografia

1. **Decretos, Leis.** "Regulamento de Requisitos Acústicos dos Edifícios". Portugal : DL 96/2008 de 9 de Junho.
2. —. "Regulamento Geral do Ruído". Portugal : DL 9/2007 de 17 de Janeiro.
3. **MATEUS, D., PEREIRA, A. e ABRANTES, V.** "Acoustics and Noise Control within School within Buildings". Maio 2011, International Journal Building - Cadernos d'Obra (CdO).
4. **Bies, A. David e Colin, Hansen H.** "Engineering Noise Control. Theory and Practice". London : Spon Press, Third Edition, 2003.
5. **Henrique, Luís L.** *Acústica Musical*. Lisboa : Fundação Calouste Gulbenkian, 2002. 1.
6. **Wikipedia.** Acoustics. *Wikipedia.* [Online] http://en.wikipedia.org/wiki/Acoustics#Early_research_in_acoustics.
7. **Carvalho, A. P. O.** *Texto de Apoio à Disciplina de Acústica Ambiental e de Edifícios*. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.
8. **Patrício, Jorge Viçoso.** *Acústica nos Edifícios*. Lisboa : Verlag Dashöfer, 2010.
9. **Fernandes, João.** *Acústica e Ruídos*. Bauru : UNESP, 2005.
10. **Silva, L.** *Sebenta de Apoio à disciplina Gestão Ambiental Urbana*. s.l. : Universidade do Minho-DEC, 2009.
11. **Tremaine, Howard.** *Audio Cyclopedia*. Michigan : Howard W. Sams & Co., Inc, 1969.
12. **Rasmussen, Birgit.** Sound insulation between dwellings - Requirements in building regulations in Europe. *Horsholm : Elsevier*. 2009, Vol. 71, pp. 373-385.
13. **Ambiente, Associação Portuguesa do.** [Online] http://www.apambiente.pt/_zdata/DAR/Ruido/o_rudo_e_a_cidade.
14. **Silva, Pedro Martins da.** *Projecto de condicionamento acústico de edifícios*. Lisboa : LNEC, 2010. 4ª edição.
15. **Antunes, Sónia.** *Avaliação do ambiente sonoro em zonas urbanas. Integração de aspectos qualitativos - Tese de Douturamento*. Aveiro : Universidade de Aveiro, 2011.
16. **Grimwood, C.** "Complaints about poor sound insulation between dwellings in England and Wales". *Applied Acoustics*. nº3/4, 1997, Vol. 52.
17. <http://anasoares1.wordpress.com>. <http://anasoares1.wordpress.com/2011/01/31/some-caracteristicas-do-somfrequencia>. [Online]

18. IEEE. IEEE Standard 100 Dicionário de Termos Standards. New York : The Institute of Electrical and Electronics Engineering, 2000.
19. Wikipedia. Weighting filter. http://en.wikipedia.org/wiki/Weighting_filter. [Online]
20. Carvahó, A. P. O. *Texto de Apoio à Disciplina de Acústica Ambiental e de Edifícios*. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.
21. CSTB. *Choix des fenêtres en fonction de leur exposition: Mémento pour les maitres d'ouvre (Document Technique Unifié 36.1/37.1)*. Paris : CSTB, 1974.
22. IPQ. *Ventilação e evacuação dos produtos de combustão dos locais com aparelhos a gás, Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação Natural*. Monte da Caparica : Instituto Português da Qualidade, NP 1037-1, 2002.
23. —. *NP EN 20140-3 Acústica. Medição in situ do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 3*. Lisboa : INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 1998.
24. —. *NP EN ISO 16283-1: 2014 - Acústica. Medição in situ do isolamento sonoro em edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Isolamento a sons de condução aérea*. Lisboa : INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2014.
25. —. *INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE - NP EN ISO 140-5:2015 - Acústica. Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 5: Medição in situ do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e de elementos de fachada*. Lisboa : INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2015.
26. —. *NP EN ISO 717-1. Determinação do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Isolamento sonoro a sons de condução aérea*. Lisboa : INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2013.
27. BSI. *Janelas e Portas – Permeabilidade ao ar – Método de teste*. s.l. : British Standards Institution. EN 1026, 2000.
28. —. *Janelas e Portas – Permeabilidade ao ar – Classificação*. s.l. : British Standards Institution, 2000. EN 12207, 2000.
29. Viegas, João Carlos. *Componentes de edifícios: Selecção de caixilharias e seu dimensionamento mecânico (ITE 51)*. Lisboa : LNEC, 2006.
30. IPQ. *NP 4476. Avaliação da incomodidade devida ao ruído por meio de inquéritos sociais e sócio-acústicos*. Lisboa : INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE, 2008.
31. Iarossi, Giuseppe. *O poder da concepção em inquéritos por questionário*. Lisboa : Fundação Calouste Gulbenkian, 2011.

32. *Acústica de Edifícios e Controlo de Ruído*. Mateus, Diogo. Dezembro 2008.
33. Roth, T., Hanebuth, D. e Probst, R. Prevalence of age-related hearing loss in Europe: a review. 2011, Vols. 268, pp. 1101-1107.
34. Patrício, Jorge e Bragança, Luís. "*Some considerations about the contribution of roller shutters positions to noise insulation of façades*". Lisboa : s.n., Dezembro 2004.

8. Anexos

Anexo 1 A – Gráficos dos índices de isolamento sonoro das áreas estudadas

Índices de isolamento sonoro para 1 e 5 cm²

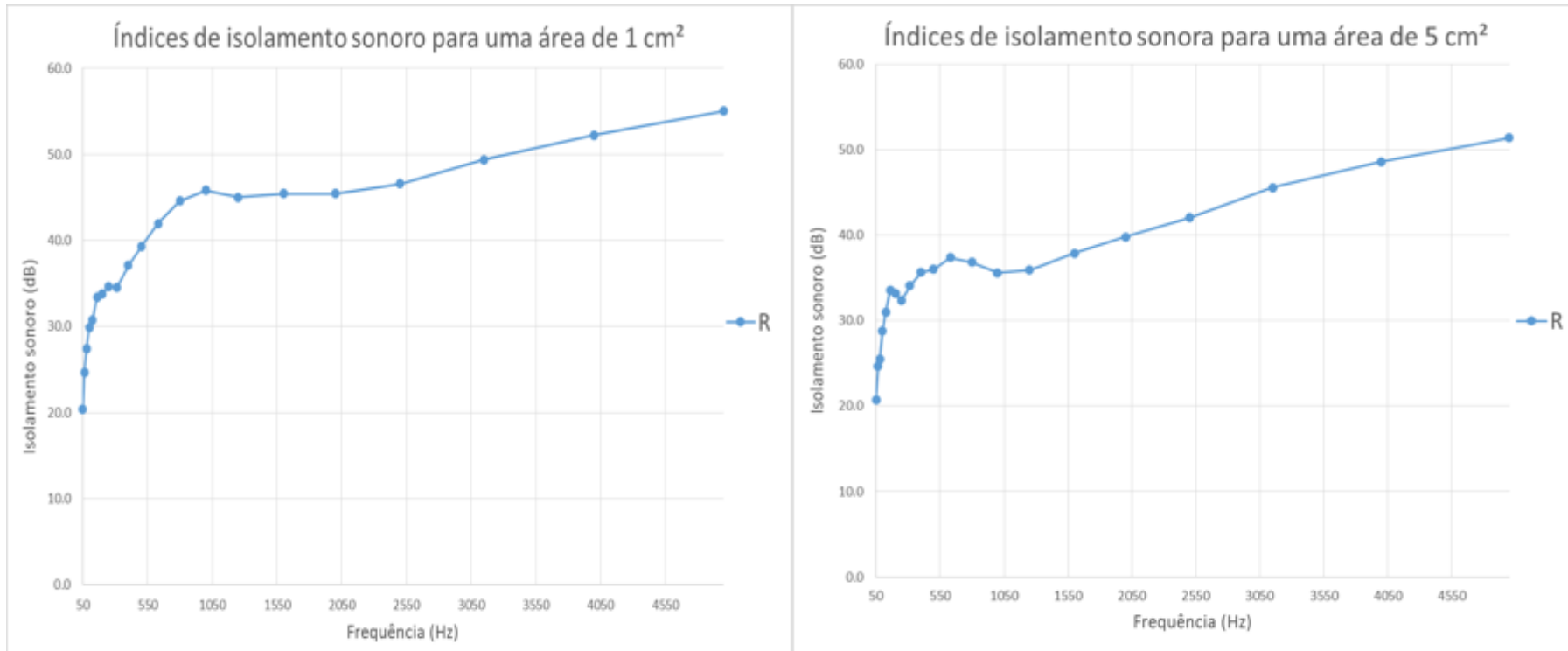


Figura 8.1 - Índices de isolamento sonoro para 1 e 5 cm²

Índices de isolamento sonoro para 10 cm² e 25 cm²

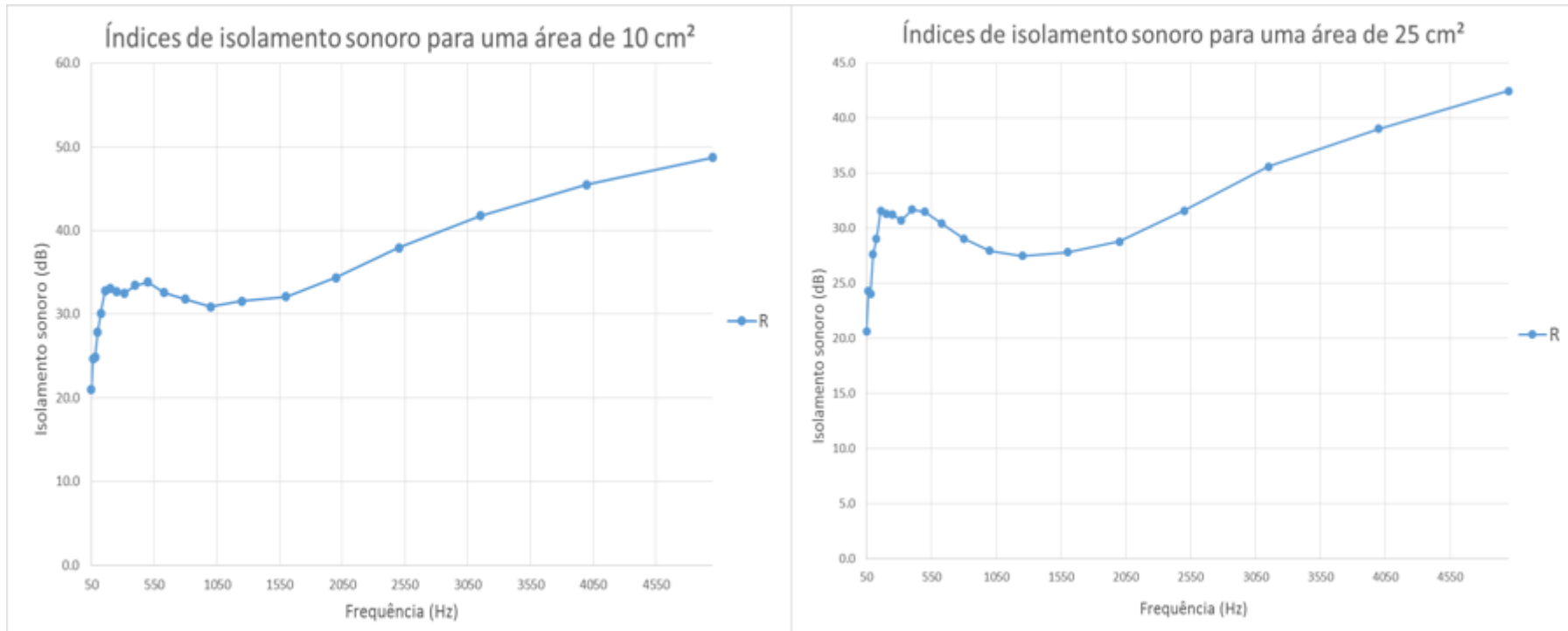


Figura 8.2 - Índices de isolamento sonoro para 10 cm² e 25 cm²

Índices de Isolamento sonoro para 50 cm² e 75 cm²

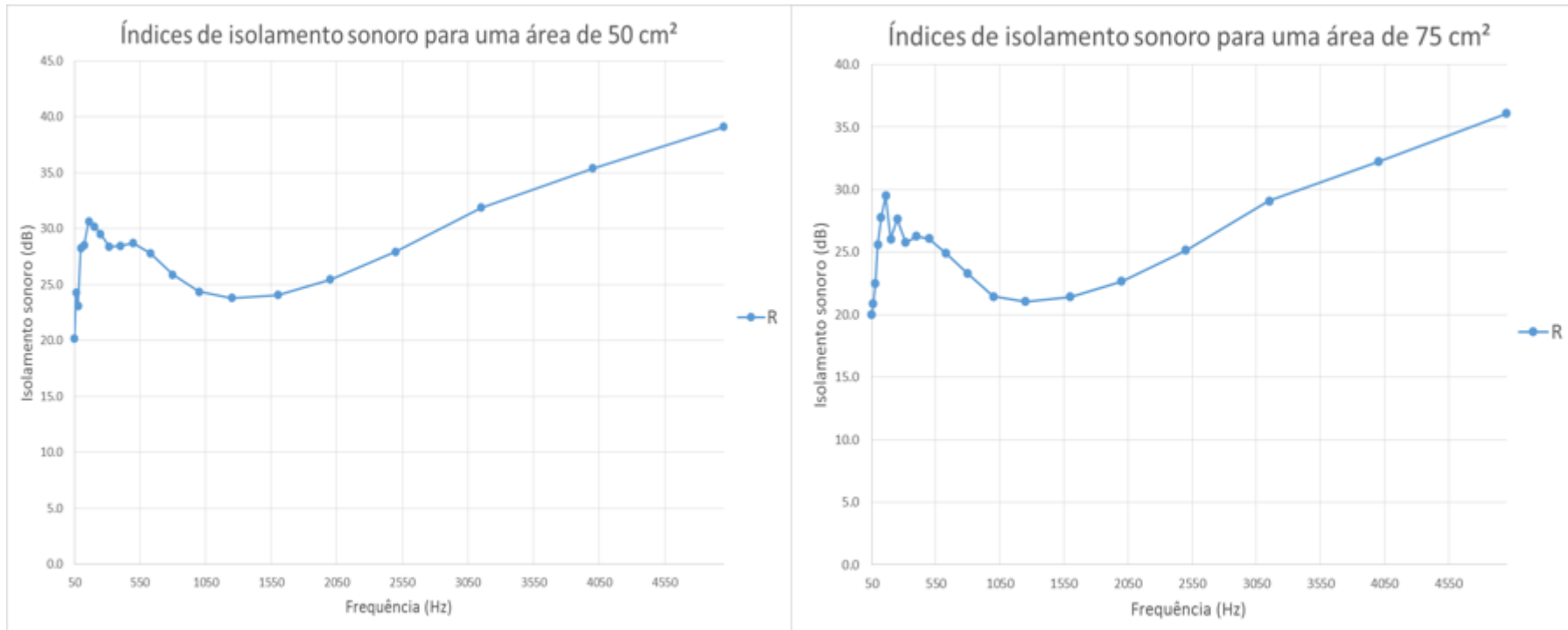


Figura 8.3 - Índices de Isolamento sonoro para 50 cm² e 75 cm²

Índices de Isolamento sonoro para 100 cm² e 150 cm²

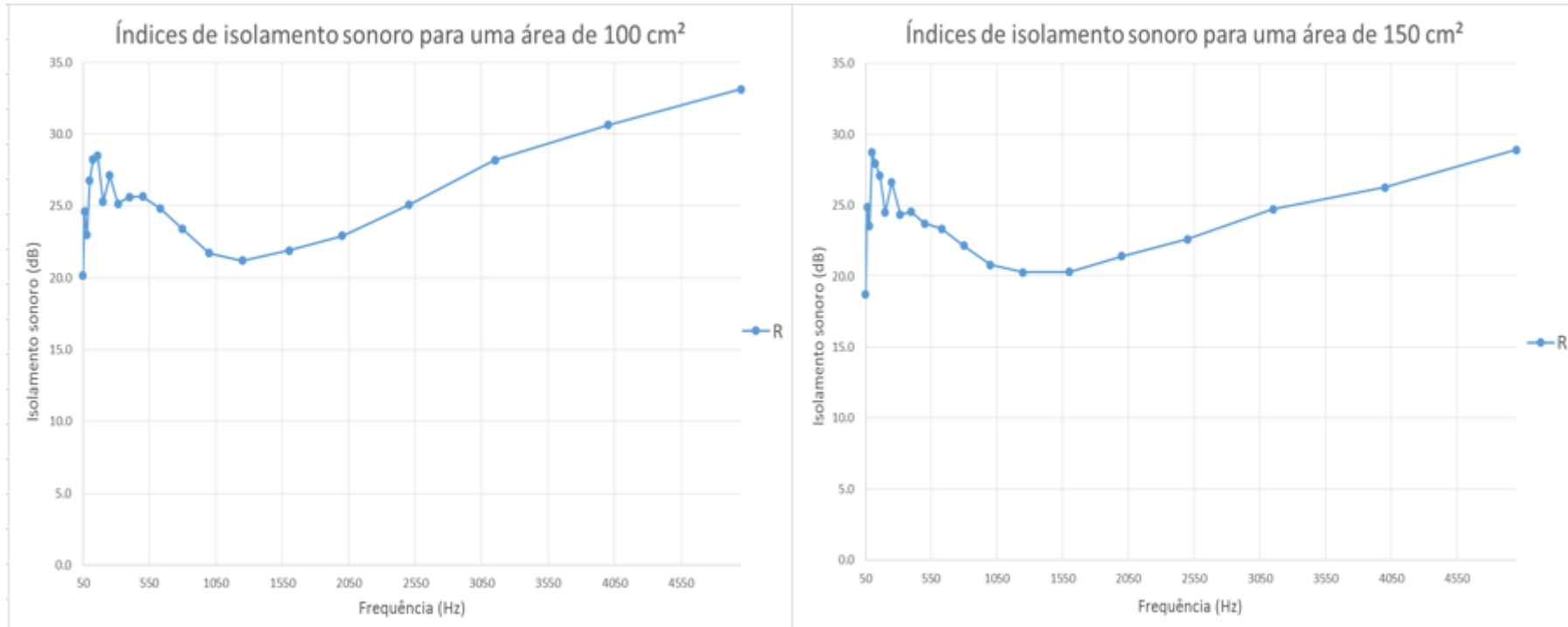


Figura 8.4 - Índices de Isolamento sonoro para 100 cm² e 150 cm²

Índices de Isolamento sonoro para 200 cm² e 250 cm²

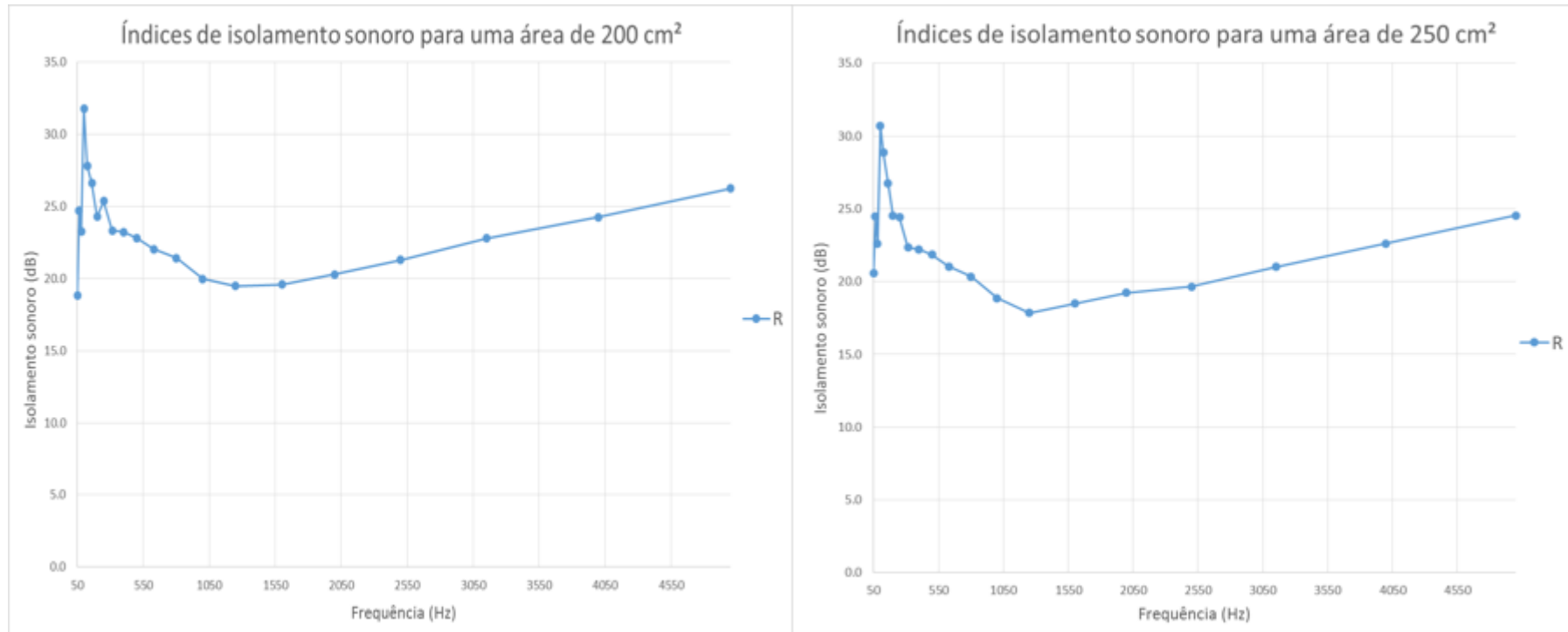


Figura 8.5 - Índices de Isolamento sonoro para 200 cm² e 250 cm²

Anexo 1 B – Valores de transmissão energética para as áreas de abertura estudadas

Área de abertura de 1; 5 e 10 cm²

Tabela 8-1 - Valores de transmissão energética para as áreas de abertura de 1; 5 e 10 cm²

Banda de Frequências (Hz)	Área de abertura de 1 cm ²		Área de abertura de 5 cm ²		Área de abertura de 10 cm ²	
	R (dB)	τ	R (dB)	τ	R (dB)	τ
50	20.4	9.17E-03	20.8	8.41E-03	21.0	7.91E-03
63	24.7	3.40E-03	24.6	3.46E-03	24.6	3.43E-03
80	27.4	1.81E-03	25.5	2.82E-03	24.9	3.23E-03
100	29.9	1.02E-03	28.8	1.32E-03	27.9	1.62E-03
125	30.8	8.40E-04	31.0	8.03E-04	30.1	9.74E-04
160	33.4	4.56E-04	33.5	4.46E-04	32.8	5.29E-04
200	33.8	4.18E-04	33.2	4.84E-04	33.0	4.96E-04
250	34.7	3.41E-04	32.4	5.78E-04	32.7	5.42E-04
315	34.5	3.51E-04	34.1	3.90E-04	32.5	5.61E-04
400	37.1	1.96E-04	35.6	2.73E-04	33.5	4.49E-04
500	39.3	1.18E-04	36.0	2.53E-04	33.9	4.12E-04
630	42.0	6.32E-05	37.3	1.84E-04	32.6	5.49E-04
800	44.6	3.46E-05	36.8	2.07E-04	31.8	6.61E-04
1000	45.8	2.61E-05	35.6	2.77E-04	30.9	8.15E-04
1250	45.0	3.17E-05	35.9	2.57E-04	31.6	6.97E-04
1600	45.4	2.85E-05	37.8	1.64E-04	32.1	6.18E-04
2000	45.4	2.85E-05	39.8	1.05E-04	34.4	3.65E-04
2500	46.6	2.20E-05	42.0	6.27E-05	38.0	1.60E-04
3150	49.4	1.15E-05	45.6	2.78E-05	41.8	6.64E-05
4000	52.2	5.97E-06	48.6	1.39E-05	45.5	2.84E-05
5000	55.0	3.14E-06	51.4	7.26E-06	48.7	1.34E-05

Área de abertura de 25, 50, 75 e 100 cm²

Tabela 8-2 - Valores de transmissão energética para as áreas de abertura de 25, 50, 75 e 100 cm²

Banda de Frequências (Hz)	Área de abertura de 25 cm ²		Área de abertura de 50 cm ²		Área de abertura de 75 cm ²		Área de abertura de 100 cm ²	
	R (dB)	τ	R (dB)	τ	R (dB)	τ	R (dB)	τ
50	20.6	8.66E-03	20.2	9.59E-03	20.0	1.00E-02	20.2	9.61E-03
63	24.3	3.70E-03	24.3	3.76E-03	20.9	8.18E-03	24.6	3.45E-03
80	24.0	3.94E-03	23.1	4.94E-03	22.5	5.61E-03	23.0	5.03E-03
100	27.6	1.73E-03	28.2	1.50E-03	25.6	2.75E-03	26.8	2.10E-03
125	29.0	1.26E-03	28.5	1.41E-03	27.8	1.67E-03	28.2	1.50E-03
160	31.6	6.98E-04	30.6	8.62E-04	29.5	1.12E-03	28.5	1.42E-03
200	31.3	7.42E-04	30.2	9.56E-04	26.1	2.48E-03	25.3	2.96E-03
250	31.2	7.53E-04	29.5	1.12E-03	27.6	1.72E-03	27.1	1.94E-03
315	30.7	8.55E-04	28.4	1.45E-03	25.8	2.63E-03	25.2	3.05E-03
400	31.7	6.82E-04	28.5	1.42E-03	26.3	2.35E-03	25.6	2.73E-03
500	31.5	7.14E-04	28.7	1.35E-03	26.1	2.45E-03	25.6	2.72E-03
630	30.4	9.10E-04	27.8	1.66E-03	24.9	3.23E-03	24.8	3.28E-03
800	29.0	1.25E-03	25.9	2.59E-03	23.3	4.68E-03	23.4	4.57E-03
1000	27.9	1.61E-03	24.4	3.67E-03	21.5	7.15E-03	21.7	6.72E-03
1250	27.5	1.79E-03	23.8	4.17E-03	21.1	7.83E-03	21.2	7.60E-03
1600	27.8	1.65E-03	24.1	3.92E-03	21.4	7.17E-03	21.9	6.46E-03
2000	28.8	1.33E-03	25.5	2.85E-03	22.7	5.41E-03	22.9	5.09E-03
2500	31.6	6.99E-04	27.9	1.61E-03	25.1	3.06E-03	25.1	3.11E-03
3150	35.6	2.77E-04	31.9	6.48E-04	29.1	1.22E-03	28.2	1.51E-03
4000	39.0	1.26E-04	35.4	2.90E-04	32.3	5.94E-04	30.7	8.60E-04
5000	42.4	5.71E-05	39.1	1.23E-04	36.1	2.45E-04	33.1	4.87E-04

Área de abertura de 150, 200 e 250 cm²

Tabela 8-3 - Valores de transmissão energética para as áreas de abertura de 150, 200 e 250 cm²

Banda de Frequências (Hz)	Área de abertura de 150 cm ²		Área de abertura de 200 cm ²		Área de abertura de 250 cm ²	
	R (dB)	τ	R (dB)	τ	R (dB)	τ
50	18.7	1.33E-02	18.8	1.31E-02	20.6	8.72E-03
63	24.9	3.26E-03	24.7	3.39E-03	24.5	3.57E-03
80	23.5	4.43E-03	23.3	4.72E-03	22.6	5.52E-03
100	28.7	1.34E-03	31.8	6.60E-04	30.7	8.55E-04
125	27.9	1.61E-03	27.8	1.65E-03	28.9	1.30E-03
160	27.1	1.96E-03	26.6	2.18E-03	26.7	2.12E-03
200	24.5	3.56E-03	24.3	3.73E-03	24.5	3.54E-03
250	26.6	2.17E-03	25.4	2.90E-03	24.4	3.63E-03
315	24.4	3.67E-03	23.3	4.63E-03	22.3	5.85E-03
400	24.5	3.52E-03	23.2	4.74E-03	22.2	5.99E-03
500	23.7	4.25E-03	22.8	5.23E-03	21.8	6.54E-03
630	23.4	4.61E-03	22.1	6.22E-03	21.0	7.87E-03
800	22.1	6.10E-03	21.4	7.19E-03	20.3	9.25E-03
1000	20.8	8.32E-03	20.0	1.01E-02	18.9	1.30E-02
1250	20.3	9.37E-03	19.5	1.13E-02	17.9	1.64E-02
1600	20.3	9.34E-03	19.6	1.10E-02	18.5	1.41E-02
2000	21.4	7.21E-03	20.3	9.34E-03	19.2	1.19E-02
2500	22.6	5.49E-03	21.3	7.43E-03	19.7	1.08E-02
3150	24.7	3.36E-03	22.8	5.25E-03	21.0	7.95E-03
4000	26.3	2.36E-03	24.3	3.75E-03	22.6	5.48E-03
5000	28.9	1.29E-03	26.3	2.37E-03	24.5	3.52E-03

Anexo 1 C – Índices de isolamento sonoro total e índice R_w da fachada com o vidro 1 (4-12-4 mm)

Áreas de abertura de 0,5 cm² e 1 cm² com janela 1

Tabela 8-4 - Índices de isolamento sonoro total e índice R_w para as áreas de 0,5 cm² e 1 cm²

0,5 cm ²					1 cm ²				
Abertura + Janela 1					Abertura + Janela 1				
Frequência (Hz)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio	Frequência (Hz)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio
50					50				
63					63				
80					80				
100	26.8	33	19	0	100	27.5	33	19	0
125	27.7	36	22	0	125	27.3	36	22	0
160	29.7	39	25	0	160	29.6	39	25	0
200	28.3	42	28	0	200	28.1	42	28	0
250	23.2	45	31	-7.768573931	250	23.2	45	31	-7.7976
315	32.1	48	34	-1.898344307	315	32.0	48	34	-1.95301
400	30.3	51	37	-6.655165291	400	30.4	51	37	-6.63508
500	33.1	52	38	-4.893938717	500	33.1	52	38	-4.8515
630	36.6	53	39	-2.352441782	630	36.7	53	39	-2.28975
800	40.1	54	40	0	800	40.1	54	40	0
1000	42.8	55	41	0	1000	42.5	55	41	0
1250	43.6	56	42	0	1250	42.6	56	42	0
1600	43.9	56	42	0	1600	43.6	56	42	0
2000	43.4	56	42	0	2000	43.3	56	42	0
2500	42.7	56	42	0	2500	42.4	56	42	0
3150	40.1	56	42	-1.907927222	3150	40.0	56	42	-1.95793
4000					4000				
5000					5000				
Soma				-25.4764	Soma				-25.4849
				25.48					25.48
				≤32					≤32

Áreas de abertura de 5 cm² e 10 cm² com janela 1

Tabela 8-5 - Índices de isolamento sonoro total e índice Rw para as áreas de 5 cm² e 10 cm²

5 cm ²					10 cm ²				
Abertura + Janela 1					Abertura + Janela 1				
Frequência (Hz)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio	Frequência (Hz)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio
50					50				
63					63				
80					80				
100	26.8	33	17	0	100	26.2	33	14	0
125	27.4	36	20	0	125	27.0	36	17	0
160	29.7	39	23	0	160	29.4	39	20	0
200	27.9	42	26	0	200	27.9	42	23	0
250	23.0	45	29	-6.007017227	250	23.0	45	26	-2.975946747
315	31.8	48	32	-0.216466313	315	30.8	48	29	0
400	30.0	51	35	-4.98390297	400	29.3	51	32	-2.692040381
500	32.1	52	36	-3.919296773	500	31.1	52	33	-1.90969954
630	34.8	53	37	-2.242384862	630	31.6	53	34	-2.448271694
800	35.7	54	38	-2.304716704	800	31.4	54	35	-3.592353069
1000	35.1	55	39	-3.879458769	1000	30.7	55	36	-5.270056521
1250	35.5	56	40	-4.481572983	1250	31.4	56	37	-5.576737149
1600	37.5	56	40	-2.529237018	1600	32.0	56	37	-5.015291646
2000	39.1	56	40	-0.888478551	2000	34.2	56	37	-2.836066718
2500	40.1	56	40	0	2500	37.1	56	37	0
3150	39.4	56	40	-0.619918968	3150	38.1	56	37	0
4000					4000				
5000					5000				
Soma				-32.0725	Soma				-32.3165
				32.07					32.32
				≤32					≤32

Áreas de abertura de 25 cm² e 50 cm² com janela 1

Tabela 8-6 - Índices de isolamento sonoro total e índice Rw para as áreas de 25 cm² e 50 cm²

25 cm ²					50 cm ²				
Abertura + Janela 1					Abertura + Janela 1				
Frequência (Hz)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio	Frequência (Hz)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio
50					50				
63					63				
80					80				
100	26.0	33	11	0	100	28.2	33	8	0
125	26.4	36	14	0	125	28.5	36	11	0
160	28.8	39	17	0	160	30.6	39	14	0
200	27.3	42	20	0	200	30.2	42	17	0
250	22.8	45	23	-0.156350761	250	29.5	45	20	0
315	29.5	48	26	0	315	28.4	48	23	0
400	28.5	51	29	-0.477739676	400	28.5	51	26	0
500	29.7	52	30	-0.333405921	500	28.7	52	27	0
630	29.7	53	31	-1.251804582	630	27.8	53	28	-0.208364718
800	28.8	54	32	-3.178300853	800	25.9	54	29	-3.133115174
1000	27.8	55	33	-5.157055107	1000	24.4	55	30	-5.646052939
1250	27.4	56	34	-6.591697697	1250	23.8	56	31	-7.206351217
1600	27.8	56	34	-6.218412139	1600	24.1	56	31	-6.93654196
2000	28.7	56	34	-5.29990359	2000	25.5	56	31	-5.549545853
2500	31.3	56	34	-2.655003704	2500	27.9	56	31	-3.065890515
3150	34.4	56	34	0	3150	31.9	56	31	0
4000					4000				
5000					5000				
Soma				-31.3197	Soma				-31.7459
				31.32					31.75
				≤32					≤32

Áreas de abertura de 75 cm² e 100 cm² com janela 1

Tabela 8-7 - Índices de isolamento sonoro total e índice Rw para as áreas de 75 cm² e 100 cm²

75 cm ²					100 cm ²				
Abertura + Janela 1					Abertura + Janela 1				
Frequência (Hz)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio	Frequência (Hz)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio
50					50				
63					63				
80					80				
100	24.5	33	5	0	100	26.8	33	5	0
125	25.7	36	8	0	125	28.2	36	8	0
160	27.6	39	11	0	160	28.5	39	11	0
200	24.4	42	14	0	200	25.3	42	14	0
250	22.1	45	17	0	250	27.1	45	17	0
315	25.4	48	20	0	315	25.2	48	20	0
400	25.1	51	23	0	400	25.6	51	23	0
500	25.5	52	24	0	500	25.6	52	24	0
630	24.7	53	25	-0.294857107	630	24.8	53	25	-0.152724628
800	23.2	54	26	-2.759034392	800	23.4	54	26	-2.595008382
1000	21.4	55	27	-5.563327367	1000	21.7	55	27	-5.27083163
1250	21.0	56	28	-6.951088259	1250	21.2	56	28	-6.809235045
1600	21.4	56	28	-6.563143236	1600	21.9	56	28	-6.099894741
2000	22.7	56	28	-5.349380281	2000	22.9	56	28	-5.064716711
2500	25.1	56	28	-2.90189674	2500	25.1	56	28	-2.92750183
3150	28.8	56	28	0	3150	28.2	56	28	0
4000					4000				
5000					5000				
Soma				-30.38272738	Soma				-28.9199
Soma				30.38	Soma				28.92
Soma				≤32	Soma				≤32

Áreas de abertura de 150 cm² e 200 cm² com janela 1

Tabela 8-8 - Índices de isolamento sonoro total e índice Rw para as áreas de 150 cm² e 200 cm²

150 cm ²					200 cm ²				
Abertura + Janela 1					Abertura+Janela 1				
Frequência (Hz)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio	Frequência (Hz)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio
50					50				
63					63				
80					80				
100	26.7	33	3	0	100	28.4	33	2	0
125	25.8	36	6	0	125	25.7	36	5	0
160	25.9	39	9	0	160	25.5	39	8	0
200	23.3	42	12	0	200	23.1	42	11	0
250	21.8	45	15	0	250	21.3	45	14	0
315	24.0	48	18	0	315	23.1	48	17	0
400	23.7	51	21	0	400	22.6	51	20	0
500	23.4	52	22	0	500	22.5	52	21	0
630	23.2	53	23	0	630	22.0	53	22	-0.043916141
800	22.1	54	24	-1.899267385	800	21.4	54	23	-1.601929911
1000	20.8	55	25	-4.219348936	1000	20.0	55	24	-4.038121572
1250	20.3	56	26	-5.727630675	1250	19.5	56	25	-5.522586537
1600	20.3	56	26	-5.711773504	1600	19.6	56	25	-5.402784287
2000	21.4	56	26	-4.588795483	2000	20.3	56	25	-4.712190943
2500	22.6	56	26	-3.420475325	2500	21.3	56	25	-3.727606063
3150	24.6	56	26	-1.377206627	3150	22.7	56	25	-2.276296401
4000					4000				
5000					5000				
Soma				-26.9445	Soma				-27.3254
				26.94					27.33
				≤32					≤32

Área de abertura de 250 cm² com janela 1

Tabela 8-9 - Índices de isolamento sonoro total e índice Rw para a área de 250 cm²

250 cm ²				
Abertura+Janela 1				
Frequência (Hz)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio
50				
63				
80				
100	27.9	33	1	0
125	26.3	36	4	0
160	25.6	39	7	0
200	23.3	42	10	0
250	20.9	45	13	0
315	22.1	48	16	0
400	21.7	51	19	0
500	21.6	52	20	0
630	21.0	53	21	-0.0391
800	20.3	54	22	-1.68968
1000	18.8	55	23	-4.15337
1250	17.8	56	24	-6.15481
1600	18.5	56	24	-5.50845
2000	19.2	56	24	-4.77562
2500	19.6	56	24	-4.35882
3150	20.9	56	24	-3.05018
4000				
5000				
			Soma	-29.7300
				29.73
				≤32

Anexo 1 D – Índices de isolamento sonoro total e índice R_w da fachada com o vidro 2 (8 mm)

Áreas de abertura de 0,5 cm² e 1 cm² com janela do tipo 2

Tabela 8-10 - Índices de isolamento sonoro total e índice R_w para as áreas de 0,5 cm² e 1 cm²

0,5 cm ²					1 cm ²				
Abertura + Janela 2					Abertura + Janela 2				
Frequência (Hz)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio	Frequência (Hz)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio
50	21.5				50				
63	24.8				63				
80	26.3				80				
100	27.8	33	21	0	100	28.6	33	21	0
125	27.1	36	24	0	125	26.8	36	24	0
160	31.4	39	27	0	160	31.2	39	27	0
200	32.9	42	30	0	200	32.3	42	30	0
250	32.3	45	33	-0.728350261	250	32.0	45	33	-0.955746174
315	33.0	48	36	-3.049198386	315	32.9	48	36	-3.115582095
400	35.0	51	39	-4.011703734	400	35.0	51	39	-3.95291918
500	36.8	52	40	-3.236464506	500	36.9	52	40	-3.137295299
630	39.1	53	41	-1.8535241	630	39.3	53	41	-1.741431027
800	41.6	54	42	-0.434059102	800	41.6	54	42	-0.404840688
1000	42.8	55	43	-0.183591977	1000	42.5	55	43	-0.547035212
1250	39.6	56	44	-4.382142237	1250	39.2	56	44	-4.805118535
1600	38.6	56	44	-5.35130293	1600	38.6	56	44	-5.4481974
2000	40.8	56	44	-3.223505883	2000	40.7	56	44	-3.254048616
2500	43.9	56	44	-0.082972658	2500	43.5	56	44	-0.458221592
3150	46.7	56	44	0	3150	46.4	56	44	0
4000	49.4				4000				
5000	51.3				5000				
Soma				-26.5368	Soma				-27.8204
				26.54					27.82
				≤32					≤32

Áreas de abertura de 5 cm² 10 cm² com janela do tipo 2

Tabela 8-11 - Índices de isolamento sonoro total e índice Rw para as áreas de 5 cm² e 10 cm²

5 cm ²					10 cm ²				
Abertura + Janela 2					Abertura + Janela 2				
Frequência (Hz)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio	Frequência (Hz)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio
50					50				
63					63				
80					80				
100	27.8	33	18	0	100	27.0	33	14	0
125	26.9	36	21	0	125	26.5	36	17	0
160	31.3	39	24	0	160	30.8	39	20	0
200	31.8	42	27	0	200	31.8	42	23	0
250	30.7	45	30	0	250	30.8	45	26	0
315	32.6	48	33	-0.433062004	315	31.4	48	29	0
400	34.1	51	36	-1.907439491	400	32.5	51	32	0
500	34.7	52	37	-2.326732138	500	33.0	52	33	0
630	36.2	53	38	-1.796724786	630	32.2	53	34	-1.816745301
800	36.2	54	39	-2.83725867	800	31.6	54	35	-3.424005873
1000	35.1	55	40	-4.879458769	1000	30.7	55	36	-5.270056521
1250	34.6	56	41	-6.391559748	1250	31.0	56	37	-5.954140174
1600	35.6	56	41	-5.395961688	1600	31.4	56	37	-5.629185023
2000	37.9	56	41	-3.05183208	2000	33.8	56	37	-3.243348541
2500	40.7	56	41	-0.290479214	2500	37.4	56	37	0
3150	44.1	56	41	0	3150	41.1	56	37	0
4000					4000				
5000					5000				
			Soma	-29.3105				Soma	-25.3375
				29.31					25.34
				≤32					≤32

Áreas de abertura de 25 cm² e 50 cm² com janela do tipo 2

Tabela 8-12 - Índices de isolamento sonoro total e índice Rw para as áreas de 25 cm² e 50 cm²

25 cm ²					50 cm ²				
Abertura + Janela 2					Abertura + Janela 2				
Frequência (Hz)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio	Frequência (Hz)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio
50					50				
63					63				
80					80				
100	26.8	33	11	0	100	27.3	33	8	0
125	26.0	36	14	0	125	25.7	36	11	0
160	30.0	39	17	0	160	29.4	39	14	0
200	30.4	42	20	0	200	29.5	42	17	0
250	29.8	45	23	0	250	28.5	45	20	0
315	29.9	48	26	0	315	27.9	48	23	0
400	31.0	51	29	0	400	28.1	51	26	0
500	31.0	52	30	0	500	28.4	52	27	0
630	30.2	53	31	-0.845353252	630	27.6	53	28	-0.350721092
800	28.9	54	32	-3.086295503	800	25.8	54	29	-3.190822846
1000	27.8	55	33	-5.157055107	1000	24.3	55	30	-5.68228355
1250	27.3	56	34	-6.745374952	1250	23.7	56	31	-7.297654904
1600	27.5	56	34	-6.461970066	1600	23.9	56	31	-7.057739474
2000	28.6	56	34	-5.419587733	2000	25.4	56	31	-5.633565764
2500	31.4	56	34	-2.578352927	2500	27.9	56	31	-3.125591989
3150	35.4	56	34	0	3150	31.8	56	31	0
4000					4000				
5000					5000				
			Soma	-30.2940				Soma	-32.3384
				30.29					32.34
				≤32					≤32

Áreas de abertura de 75 cm² e 100 cm² com janela do tipo 2

Tabela 8-13 - Índices de isolamento sonoro total e índice Rw para as áreas de 75 cm² e 100 cm²

75 cm ²					100 cm ²				
Abertura + Janela 2					Abertura + Janela 2				
Frequência (Hz)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio	Frequência (Hz)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio
50					50				
63					63				
80					80				
100	25.1	33	5	0	100	26.1	33	5	0
125	25.3	36	8	0	125	25.6	36	8	0
160	28.5	39	11	0	160	27.7	39	11	0
200	25.8	42	14	0	200	25.0	42	14	0
250	27.0	45	17	0	250	26.5	45	17	0
315	25.5	48	20	0	315	24.9	48	20	0
400	26.1	51	23	0	400	25.5	51	23	0
500	26.0	52	24	0	500	25.5	52	24	0
630	24.8	53	25	-0.171635828	630	24.8	53	25	-0.225574801
800	23.3	54	26	-2.733775756	800	23.4	54	26	-2.627839843
1000	21.4	55	27	-5.563327367	1000	21.7	55	27	-5.290666003
1250	21.0	56	28	-6.987110828	1250	21.1	56	28	-6.859614297
1600	21.4	56	28	-6.620882838	1600	21.8	56	28	-6.17394467
2000	22.6	56	28	-5.379412293	2000	22.9	56	28	-5.111999883
2500	25.1	56	28	-2.883829016	2500	25.0	56	28	-2.958494704
3150	29.1	56	28	0	3150	28.2	56	28	0
4000					4000				
5000					5000				
Soma				-30.3400	Soma				-29.2481
Soma				30.34	Soma				29.25
Soma				≤32	Soma				≤32

Áreas de abertura de 150 cm² e 200 cm² com janela do tipo 2

Tabela 8-14 - Índices de isolamento sonoro total e índice Rw para as áreas de 150 cm² e 200 cm²

150 cm ²					200 cm ²				
Abertura + Janela 2					Abertura+Janela 2				
Frequência (Hz)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio	Frequência (Hz)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio
50					50				
63					63				
80					80				
100	27.7	33	3	0	100	29.9	33	2	0
125	25.4	36	6	0	125	25.4	36	5	0
160	26.5	39	9	0	160	26.1	39	8	0
200	24.3	42	12	0	200	24.1	42	11	0
250	26.1	45	15	0	250	25.0	45	14	0
315	24.2	48	18	0	315	23.2	48	17	0
400	24.4	51	21	0	400	23.1	51	20	0
500	23.6	52	22	0	500	22.7	52	21	0
630	23.3	53	23	0	630	22.0	53	22	0
800	22.1	54	24	-1.879854299	800	21.4	54	23	-1.585422341
1000	20.8	55	25	-4.219348936	1000	20.0	55	24	-4.038121572
1250	20.2	56	26	-5.757775634	1250	19.5	56	25	-5.547703711
1600	20.2	56	26	-5.756162935	1600	19.6	56	25	-5.440672496
2000	21.4	56	26	-4.611390628	2000	20.3	56	25	-4.729646462
2500	22.6	56	26	-3.410367731	2500	21.3	56	25	-3.720127756
3150	24.7	56	26	-1.279974415	3150	22.8	56	25	-2.213754367
4000					4000				
5000					5000				
			Soma	-26.9149				Soma	-27.2754
				26.91					27.28
				≤32					≤32

Área de abertura de 250 cm² com janela do tipo 2

Tabela 8-15 - Índices de isolamento sonoro total e índice Rw para a área de 250 cm²

250 cm ²				
Abertura+Janela 2				
Frequência (Hz)	R (dB)	Curva ref (dB)	Curva ref-x (dB)	Desvio
50				
63				
80				
100	29.2	33	1	0
125	25.9	36	4	0
160	26.2	39	7	0
200	24.3	42	10	0
250	24.1	45	13	0
315	22.2	48	16	0
400	22.1	51	19	0
500	21.8	52	20	0
630	21.0	53	21	0
800	20.3	54	22	-1.67683
1000	18.8	55	23	-4.15337
1250	17.8	56	24	-6.17207
1600	18.5	56	24	-5.53785
2000	19.2	56	24	-4.78929
2500	19.6	56	24	-4.35369
3150	21.0	56	24	-3.00871
4000				
5000				
			Soma	-29.6918
				29.69
				≤32

Anexo 1 E – Termos de adaptação para as diversas áreas de abertura estudadas em meio laboratorial

Área de abertura de 0,5 cm²

Tabela 8-16 - Termos de adaptação para uma area de abertura de 0,5 cm²

0,5 cm ²									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)	f(Hz)	L1	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)
100	-29	28.8	-57.8	1.651E-06	100	-20	28.8	-48.8	1.311E-05
125	-26	31.6	-57.6	1.743E-06	125	-20	31.6	-51.6	6.938E-06
160	-23	33.6	-56.6	2.181E-06	160	-18	33.6	-51.6	6.897E-06
200	-21	34.6	-55.6	2.756E-06	200	-16	34.6	-50.6	8.717E-06
250	-19	35.1	-54.1	3.895E-06	250	-15	35.1	-50.1	9.784E-06
315	-17	34.6	-51.6	6.852E-06	315	-14	34.6	-48.6	1.367E-05
400	-15	37.0	-52.0	6.335E-06	400	-13	37.0	-50.0	1.004E-05
500	-13	39.1	-52.1	6.161E-06	500	-12	39.1	-51.1	7.756E-06
630	-12	41.8	-53.8	4.184E-06	630	-11	41.8	-52.8	5.267E-06
800	-11	44.5	-55.5	2.787E-06	800	-9	44.5	-53.5	4.417E-06
1000	-10	46.7	-56.7	2.154E-06	1000	-8	46.7	-54.7	3.414E-06
1250	-9	46.9	-55.9	2.581E-06	1250	-9	46.9	-55.9	2.581E-06
1600	-9	45.9	-54.9	3.206E-06	1600	-10	45.9	-55.9	2.547E-06
2000	-9	45.5	-54.5	3.517E-06	2000	-11	45.5	-56.5	2.219E-06
2500	-9	47.4	-56.4	2.305E-06	2500	-13	47.4	-60.4	9.175E-07
3150	-9	49.8	-58.8	1.307E-06	3150	-15	49.8	-64.8	3.283E-07
Soma 10[^]((Li1-Ri)/10)				5.361E-05	Soma 10[^]((Li1-Ri)/10)				9.861E-05
- 10 Log 10 (SOMA)				43	- 10 Log 10 (SOMA)				40
Rw				44	Rw				44
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-4

Área de abertura de 1 cm²

Tabela 8-17 - Termos de adaptação para uma area de abertura de 1 cm²

1 cm ²										
Cálculo de C					Cálculo de Ctr					
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 ^{^((Li1-Ri)/10)}	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 ^{^((Li1-Ri)/10)}	
100	-29	29.9	-58.9	1.28E-06	100	-20	29.9	-49.9	1.02E-05	
125	-26	30.8	-56.8	2.11E-06	125	-20	30.8	-50.8	8.40E-06	
160	-23	33.4	-56.4	2.28E-06	160	-18	33.4	-51.4	7.22E-06	
200	-21	33.8	-54.8	3.32E-06	200	-16	33.8	-49.8	1.05E-05	
250	-19	34.7	-53.7	4.30E-06	250	-15	34.7	-49.7	1.08E-05	
315	-17	34.5	-51.5	7.01E-06	315	-14	34.5	-48.5	1.40E-05	
400	-15	37.1	-52.1	6.20E-06	400	-13	37.1	-50.1	9.83E-06	
500	-13	39.3	-52.3	5.92E-06	500	-12	39.3	-51.3	7.46E-06	
630	-12	42.0	-54.0	3.99E-06	630	-11	42.0	-53.0	5.02E-06	
800	-11	44.6	-55.6	2.75E-06	800	-9	44.6	-53.6	4.36E-06	
1000	-10	45.8	-55.8	2.61E-06	1000	-8	45.8	-53.8	4.14E-06	
1250	-9	45.0	-54.0	3.99E-06	1250	-9	45.0	-54.0	3.99E-06	
1600	-9	45.4	-54.4	3.59E-06	1600	-10	45.4	-55.4	2.85E-06	
2000	-9	45.4	-54.4	3.59E-06	2000	-11	45.4	-56.4	2.27E-06	
2500	-9	46.6	-55.6	2.77E-06	2500	-13	46.6	-59.6	1.10E-06	
3150	-9	49.4	-58.4	1.45E-06	3150	-15	49.4	-64.4	3.64E-07	
Soma				5.72E-05	Soma				1.02E-04	
- 10 Log 10 (SOMA)				42.43	- 10 Log 10 (SOMA)				39.89	
Rw				43	Rw				43	
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-3	

Área de abertura de 5 cm²

Tabela 8-18 - Termos de adaptação para uma area de abertura de 5 cm²

5 cm ²										
Cálculo de C					Cálculo de Ctr					
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)	
100	-29	28.8	-57.8	1.66E-06	100	-20	28.8	-48.8	1.32E-05	
125	-26	31.0	-57.0	2.02E-06	125	-20	31.0	-51.0	8.03E-06	
160	-23	33.5	-56.5	2.24E-06	160	-18	33.5	-51.5	7.07E-06	
200	-21	33.2	-54.2	3.84E-06	200	-16	33.2	-49.2	1.22E-05	
250	-19	32.4	-51.4	7.27E-06	250	-15	32.4	-47.4	1.83E-05	
315	-17	34.1	-51.1	7.79E-06	315	-14	34.1	-48.1	1.55E-05	
400	-15	35.6	-50.6	8.63E-06	400	-13	35.6	-48.6	1.37E-05	
500	-13	36.0	-49.0	1.27E-05	500	-12	36.0	-48.0	1.60E-05	
630	-12	37.3	-49.3	1.16E-05	630	-11	37.3	-48.3	1.46E-05	
800	-11	36.8	-47.8	1.65E-05	800	-9	36.8	-45.8	2.61E-05	
1000	-10	35.6	-45.6	2.77E-05	1000	-8	35.6	-43.6	4.39E-05	
1250	-9	35.9	-44.9	3.24E-05	1250	-9	35.9	-44.9	3.24E-05	
1600	-9	37.8	-46.8	2.07E-05	1600	-10	37.8	-47.8	1.64E-05	
2000	-9	39.8	-48.8	1.32E-05	2000	-11	39.8	-50.8	8.32E-06	
2500	-9	42.0	-51.0	7.89E-06	2500	-13	42.0	-55.0	3.14E-06	
3150	-9	45.6	-54.6	3.50E-06	3150	-15	45.6	-60.6	8.80E-07	
Soma				1.80E-04	Soma				2.50E-04	
- 10 Log 10 (SOMA)				37.46	- 10 Log 10 (SOMA)				36.03	
Rw				38	Rw				38	
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-2	

Área de abertura de 10 cm²

Tabela 8-19 - Termos de adaptação para uma area de abertura de 10 cm²

10 cm ²									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((L1-Ri)/10)	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((L1-Ri)/10)
100	-29	27.9	-56.9	2.04E-06	100	-20	27.9	-47.9	1.62E-05
125	-26	30.1	-56.1	2.45E-06	125	-20	30.1	-50.1	9.74E-06
160	-23	32.8	-55.8	2.65E-06	160	-18	32.8	-50.8	8.38E-06
200	-21	33.0	-54.0	3.94E-06	200	-16	33.0	-49.0	1.25E-05
250	-19	32.7	-51.7	6.82E-06	250	-15	32.7	-47.7	1.71E-05
315	-17	32.5	-49.5	1.12E-05	315	-14	32.5	-46.5	2.23E-05
400	-15	33.5	-48.5	1.42E-05	400	-13	33.5	-46.5	2.25E-05
500	-13	33.9	-46.9	2.06E-05	500	-12	33.9	-45.9	2.60E-05
630	-12	32.6	-44.6	3.47E-05	630	-11	32.6	-43.6	4.36E-05
800	-11	31.8	-42.8	5.25E-05	800	-9	31.8	-40.8	8.32E-05
1000	-10	30.9	-40.9	8.15E-05	1000	-8	30.9	-38.9	1.29E-04
1250	-9	31.6	-40.6	8.78E-05	1250	-9	31.6	-40.6	8.78E-05
1600	-9	32.1	-41.1	7.78E-05	1600	-10	32.1	-42.1	6.18E-05
2000	-9	34.4	-43.4	4.60E-05	2000	-11	34.4	-45.4	2.90E-05
2500	-9	38.0	-47.0	2.02E-05	2500	-13	38.0	-51.0	8.03E-06
3150	-9	41.8	-50.8	8.36E-06	3150	-15	41.8	-56.8	2.10E-06
Soma				4.73E-04	Soma				5.80E-04
- 10 Log 10 (SOMA)				33.25	- 10 Log 10 (SOMA)				32.37
Rw				34	Rw				34
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-2

Área de abertura de 25 cm²

Tabela 8-20 - Termos de adaptação para uma area de abertura de 25 cm²

25 cm ²									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((L1-Ri)/10)	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((L1-Ri)/10)
100	-29	27.6	-56.6	2.18E-06	100	-20	27.6	-47.6	1.73E-05
125	-26	29.0	-55.0	3.17E-06	125	-20	29.0	-49.0	1.26E-05
160	-23	31.6	-54.6	3.50E-06	160	-18	31.6	-49.6	1.11E-05
200	-21	31.3	-52.3	5.89E-06	200	-16	31.3	-47.3	1.86E-05
250	-19	31.2	-50.2	9.48E-06	250	-15	31.2	-46.2	2.38E-05
315	-17	30.7	-47.7	1.71E-05	315	-14	30.7	-44.7	3.41E-05
400	-15	31.7	-46.7	2.16E-05	400	-13	31.7	-44.7	3.42E-05
500	-13	31.5	-44.5	3.58E-05	500	-12	31.5	-43.5	4.50E-05
630	-12	30.4	-42.4	5.74E-05	630	-11	30.4	-41.4	7.23E-05
800	-11	29.0	-40.0	9.93E-05	800	-9	29.0	-38.0	1.57E-04
1000	-10	27.9	-37.9	1.61E-04	1000	-8	27.9	-35.9	2.56E-04
1250	-9	27.5	-36.5	2.26E-04	1250	-9	27.5	-36.5	2.26E-04
1600	-9	27.8	-36.8	2.08E-04	1600	-10	27.8	-37.8	1.65E-04
2000	-9	28.8	-37.8	1.68E-04	2000	-11	28.8	-39.8	1.06E-04
2500	-9	31.6	-40.6	8.79E-05	2500	-13	31.6	-44.6	3.50E-05
3150	-9	35.6	-44.6	3.49E-05	3150	-15	35.6	-50.6	8.76E-06
Soma				1.14E-03	Soma				1.22E-03
- 10 Log 10 (SOMA)				29.43	- 10 Log 10 (SOMA)				29.13
Rw				30	Rw				30
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1

Área de abertura de 50 cm²

Tabela 8-21 - Termos de adaptação para uma area de abertura de 50 cm²

50 cm ²									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)
100	-29	28.3	-57.3	1.85E-06	100	-20	28.3	-48.3	1.47E-05
125	-26	28.4	-54.4	3.59E-06	125	-20	28.4	-48.4	1.43E-05
160	-23	30.6	-53.6	4.35E-06	160	-18	30.6	-48.6	1.38E-05
200	-21	30.2	-51.2	7.52E-06	200	-16	30.2	-46.2	2.38E-05
250	-19	29.5	-48.5	1.42E-05	250	-15	29.5	-44.5	3.57E-05
315	-17	28.4	-45.4	2.89E-05	315	-14	28.4	-42.4	5.77E-05
400	-15	28.5	-43.5	4.44E-05	400	-13	28.5	-41.5	7.04E-05
500	-13	28.7	-41.7	6.69E-05	500	-12	28.7	-40.7	8.43E-05
630	-12	27.8	-39.8	1.05E-04	630	-11	27.8	-38.8	1.32E-04
800	-11	25.9	-36.9	2.03E-04	800	-9	25.9	-34.9	3.23E-04
1000	-10	24.3	-34.3	3.69E-04	1000	-8	24.3	-32.3	5.84E-04
1250	-9	23.8	-32.8	5.25E-04	1250	-9	23.8	-32.8	5.25E-04
1600	-9	24.1	-33.1	4.95E-04	1600	-10	24.1	-34.1	3.93E-04
2000	-9	25.4	-34.4	3.61E-04	2000	-11	25.4	-36.4	2.28E-04
2500	-9	28.0	-37.0	2.01E-04	2500	-13	28.0	-41.0	8.00E-05
3150	-9	31.9	-40.9	8.14E-05	3150	-15	31.9	-46.9	2.04E-05
Soma				2.51E-03	Soma				2.60E-03
- 10 Log 10 (SOMA)				26.00	- 10 Log 10 (SOMA)				25.85
Rw				27	Rw				27
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1

Área de abertura de 75 cm²

Tabela 8-22 - Termos de adaptação para uma area de abertura de 75 cm²

75 cm ²									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((L1-Ri)/10)	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((L1-Ri)/10)
100	-29	25.6	-54.6	3.462E-06	100	-20	25.6	-45.6	2.750E-05
125	-26	27.8	-53.8	4.198E-06	125	-20	27.8	-47.8	1.671E-05
160	-23	29.5	-52.5	5.593E-06	160	-18	29.5	-47.5	1.769E-05
200	-21	26.1	-47.1	1.969E-05	200	-16	26.1	-42.1	6.225E-05
250	-19	27.6	-46.6	2.167E-05	250	-15	27.6	-42.6	5.444E-05
315	-17	25.8	-42.8	5.257E-05	315	-14	25.8	-39.8	1.049E-04
400	-15	26.3	-41.3	7.438E-05	400	-13	26.3	-39.3	1.179E-04
500	-13	26.1	-39.1	1.228E-04	500	-12	26.1	-38.1	1.546E-04
630	-12	24.9	-36.9	2.041E-04	630	-11	24.9	-35.9	2.569E-04
800	-11	23.3	-34.3	3.717E-04	800	-9	23.3	-32.3	5.891E-04
1000	-10	21.5	-31.5	7.153E-04	1000	-8	21.5	-29.5	1.134E-03
1250	-9	21.1	-30.1	9.859E-04	1250	-9	21.1	-30.1	9.859E-04
1600	-9	21.4	-30.4	9.024E-04	1600	-10	21.4	-31.4	7.168E-04
2000	-9	22.7	-31.7	6.815E-04	2000	-11	22.7	-33.7	4.300E-04
2500	-9	25.1	-34.1	3.848E-04	2500	-13	25.1	-38.1	1.532E-04
3150	-9	29.1	-38.1	1.541E-04	3150	-15	29.1	-44.1	3.870E-05
Soma				4.70E-03	Soma				4.86E-03
- 10 Log 10 (SOMA)				23.28	- 10 Log 10 (SOMA)				23.13
Rw				24	Rw				24
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1

Área de abertura de 100 cm²

Tabela 8-23 - Termos de adaptação para uma area de abertura de 100 cm²

100 cm²									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	$10^{((L1-R)/10)}$	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	$10^{((L1-R)/10)}$
100	-29	26.8	-55.8	2.642E-06	100	-20	26.8	-46.8	2.098E-05
125	-26	28.2	-54.2	3.770E-06	125	-20	28.2	-48.2	1.501E-05
160	-23	28.5	-51.5	7.100E-06	160	-18	28.5	-46.5	2.245E-05
200	-21	25.3	-46.3	2.354E-05	200	-16	25.3	-41.3	7.443E-05
250	-19	27.1	-46.1	2.440E-05	250	-15	27.1	-42.1	6.128E-05
315	-17	25.2	-42.2	6.095E-05	315	-14	25.2	-39.2	1.216E-04
400	-15	25.6	-40.6	8.628E-05	400	-13	25.6	-38.6	1.368E-04
500	-13	25.6	-38.6	1.365E-04	500	-12	25.6	-37.6	1.718E-04
630	-12	24.8	-36.8	2.067E-04	630	-11	24.8	-35.8	2.602E-04
800	-11	23.4	-34.4	3.627E-04	800	-9	23.4	-32.4	5.748E-04
1000	-10	21.7	-31.7	6.716E-04	1000	-8	21.7	-29.7	1.064E-03
1250	-9	21.2	-30.2	9.570E-04	1250	-9	21.2	-30.2	9.570E-04
1600	-9	21.9	-30.9	8.128E-04	1600	-10	21.9	-31.9	6.456E-04
2000	-9	22.9	-31.9	6.404E-04	2000	-11	22.9	-33.9	4.041E-04
2500	-9	25.1	-34.1	3.915E-04	2500	-13	25.1	-38.1	1.559E-04
3150	-9	28.2	-37.2	1.899E-04	3150	-15	28.2	-43.2	4.769E-05
Soma				4.58E-03	Soma				4.73E-03
- 10 Log 10 (SOMA)				23.39	- 10 Log 10 (SOMA)				23.25
Rw				24	Rw				24
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1

Área de abertura de 150 cm²

Tabela 8-24 - Termos de adaptação para uma area de abertura de 150 cm²

150 cm ²									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)	f(Hz)	L1	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)
100	-29	28.7	-57.7	1.690E-06	100	-20	28.7	-48.7	1.342E-05
125	-26	27.9	-53.9	4.045E-06	125	-20	27.9	-47.9	1.610E-05
160	-23	27.1	-50.1	9.812E-06	160	-18	27.1	-45.1	3.103E-05
200	-21	24.5	-45.5	2.830E-05	200	-16	24.5	-40.5	8.948E-05
250	-19	26.6	-45.6	2.733E-05	250	-15	26.6	-41.6	6.865E-05
315	-17	24.4	-41.4	7.323E-05	315	-14	24.4	-38.4	1.461E-04
400	-15	24.5	-39.5	1.114E-04	400	-13	24.5	-37.5	1.765E-04
500	-13	23.7	-36.7	2.128E-04	500	-12	23.7	-35.7	2.679E-04
630	-12	23.4	-35.4	2.909E-04	630	-11	23.4	-34.4	3.663E-04
800	-11	22.1	-33.1	4.848E-04	800	-9	22.1	-31.1	7.683E-04
1000	-10	20.8	-30.8	8.324E-04	1000	-8	20.8	-28.8	1.319E-03
1250	-9	20.3	-29.3	1.179E-03	1250	-9	20.3	-29.3	1.179E-03
1600	-9	20.3	-29.3	1.176E-03	1600	-10	20.3	-30.3	9.343E-04
2000	-9	21.4	-30.4	9.074E-04	2000	-11	21.4	-32.4	5.725E-04
2500	-9	22.6	-31.6	6.907E-04	2500	-13	22.6	-35.6	2.750E-04
3150	-9	24.7	-33.7	4.232E-04	3150	-15	24.7	-39.7	1.063E-04
Soma				6.454E-03	Soma				6.331E-03
- 10 Log 10 (SOMA)				21.90	- 10 Log 10 (SOMA)				21.99
Rw				22	Rw				22.0
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				0	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				0

Área de abertura de 200 cm²

Tabela 8-25 - Termos de adaptação para uma area de abertura de 200 cm²

200 cm ²									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)	f(Hz)	L1	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)
100	-29	31.8	-60.8	8.311E-07	100	-20	31.8	-51.8	6.601E-06
125	-26	27.8	-53.8	4.142E-06	125	-20	27.8	-47.8	1.649E-05
160	-23	26.6	-49.6	1.094E-05	160	-18	26.6	-44.6	3.459E-05
200	-21	24.3	-45.3	2.959E-05	200	-16	24.3	-40.3	9.357E-05
250	-19	25.4	-44.4	3.657E-05	250	-15	25.4	-40.4	9.186E-05
315	-17	23.3	-40.3	9.229E-05	315	-14	23.3	-37.3	1.841E-04
400	-15	23.2	-38.2	1.500E-04	400	-13	23.2	-36.2	2.377E-04
500	-13	22.8	-35.8	2.623E-04	500	-12	22.8	-34.8	3.302E-04
630	-12	22.1	-34.1	3.927E-04	630	-11	22.1	-33.1	4.944E-04
800	-11	21.4	-32.4	5.708E-04	800	-9	21.4	-30.4	9.046E-04
1000	-10	20.0	-30.0	1.006E-03	1000	-8	20.0	-28.0	1.594E-03
1250	-9	19.5	-28.5	1.417E-03	1250	-9	19.5	-28.5	1.417E-03
1600	-9	19.6	-28.6	1.379E-03	1600	-10	19.6	-29.6	1.096E-03
2000	-9	20.3	-29.3	1.176E-03	2000	-11	20.3	-31.3	7.420E-04
2500	-9	21.3	-30.3	9.348E-04	2500	-13	21.3	-34.3	3.721E-04
3150	-9	22.8	-31.8	6.614E-04	3150	-15	22.8	-37.8	1.661E-04
Soma				8.124E-03	Soma				7.781E-03
- 10 Log 10 (SOMA)				20.90	- 10 Log 10 (SOMA)				21.09
Rw				21	Rw				21
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				0	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				0

Área de abertura de 250 cm²

Tabela 8-26 - Termos de adaptação para uma area de abertura de 250 cm²

250 cm ²									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)	f(Hz)	L1	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)
100	-29	30.7	-59.7	1.076E-06	100	-20	30.7	-50.7	8.546E-06
125	-26	28.9	-54.9	3.271E-06	125	-20	28.9	-48.9	1.302E-05
160	-23	26.7	-49.7	1.060E-05	160	-18	26.7	-44.7	3.353E-05
200	-21	24.5	-45.5	2.816E-05	200	-16	24.5	-40.5	8.904E-05
250	-19	24.4	-43.4	4.567E-05	250	-15	24.4	-39.4	1.147E-04
315	-17	22.3	-39.3	1.166E-04	315	-14	22.3	-36.3	2.327E-04
400	-15	22.2	-37.2	1.893E-04	400	-13	22.2	-35.2	3.001E-04
500	-13	21.8	-34.8	3.276E-04	500	-12	21.8	-33.8	4.124E-04
630	-12	21.0	-33.0	4.963E-04	630	-11	21.0	-32.0	6.247E-04
800	-11	20.3	-31.3	7.346E-04	800	-9	20.3	-29.3	1.164E-03
1000	-10	18.9	-28.9	1.301E-03	1000	-8	18.9	-26.9	2.062E-03
1250	-9	17.9	-26.9	2.065E-03	1250	-9	17.9	-26.9	2.065E-03
1600	-9	18.5	-27.5	1.780E-03	1600	-10	18.5	-28.5	1.414E-03
2000	-9	19.2	-28.2	1.503E-03	2000	-11	19.2	-30.2	9.482E-04
2500	-9	19.7	-28.7	1.363E-03	2500	-13	19.7	-32.7	5.426E-04
3150	-9	21.0	-30.0	1.001E-03	3150	-15	21.0	-36.0	2.513E-04
Soma				1.097E-02	Soma				1.028E-02
- 10 Log 10 (SOMA)				19.60	- 10 Log 10 (SOMA)				19.88
Rw				20	Rw				20
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				0	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				0

Anexo 1 F – Termos de adaptação para as diversas áreas de abertura estudadas com janela do tipo 1

Área de abertura de 0,5 cm² com janela do tipo 1

Tabela 8-27 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 0,5 cm² com janela do tipo 1

0,5 cm ² + Janela 1									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)	f(Hz)	L1	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)
100	-29	26.8	-55.8	2.628E-06	100	-20	26.8	-46.8	2.087E-05
125	-26	27.7	-53.7	4.307E-06	125	-20	27.7	-47.7	1.715E-05
160	-23	29.7	-52.7	5.332E-06	160	-18	29.7	-47.7	1.686E-05
200	-21	28.3	-49.3	1.175E-05	200	-16	28.3	-44.3	3.715E-05
250	-19	23.2	-42.2	5.982E-05	250	-15	23.2	-38.2	1.503E-04
315	-17	32.1	-49.1	1.230E-05	315	-14	32.1	-46.1	2.454E-05
400	-15	30.3	-45.3	2.921E-05	400	-13	30.3	-43.3	4.629E-05
500	-13	33.1	-46.1	2.451E-05	500	-12	33.1	-45.1	3.086E-05
630	-12	36.6	-48.6	1.365E-05	630	-11	36.6	-47.6	1.719E-05
800	-11	40.1	-51.1	7.723E-06	800	-9	40.1	-49.1	1.224E-05
1000	-10	42.8	-52.8	5.228E-06	1000	-8	42.8	-50.8	8.286E-06
1250	-9	43.6	-52.6	5.511E-06	1250	-9	43.6	-52.6	5.511E-06
1600	-9	43.9	-52.9	5.081E-06	1600	-10	43.9	-53.9	4.036E-06
2000	-9	43.4	-52.4	5.783E-06	2000	-11	43.4	-54.4	3.649E-06
2500	-9	42.7	-51.7	6.724E-06	2500	-13	42.7	-55.7	2.677E-06
3150	-9	40.1	-49.1	1.233E-05	3150	-15	40.1	-55.1	3.096E-06
Soma				2.119E-04	Soma				4.007E-04
- 10 Log 10 (SOMA)				37	- 10 Log 10 (SOMA)				34
Rw				38	Rw				38
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-4

Área de abertura de 1 cm² com janela do tipo 1

Tabela 8-28 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 1 cm² com janela do tipo 1

1 cm ² + Janela 1									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)
100	-29	27.5	-56.5	2.26E-06	100	-20	27.5	-47.5	1.80E-05
125	-26	27.3	-53.3	4.68E-06	125	-20	27.3	-47.3	1.86E-05
160	-23	29.6	-52.6	5.44E-06	160	-18	29.6	-47.6	1.72E-05
200	-21	28.1	-49.1	1.23E-05	200	-16	28.1	-44.1	3.89E-05
250	-19	23.2	-42.2	6.02E-05	250	-15	23.2	-38.2	1.51E-04
315	-17	32.0	-49.0	1.25E-05	315	-14	32.0	-46.0	2.48E-05
400	-15	30.4	-45.4	2.91E-05	400	-13	30.4	-43.4	4.61E-05
500	-13	33.1	-46.1	2.43E-05	500	-12	33.1	-45.1	3.06E-05
630	-12	36.7	-48.7	1.35E-05	630	-11	36.7	-47.7	1.69E-05
800	-11	40.1	-51.1	7.69E-06	800	-9	40.1	-49.1	1.22E-05
1000	-10	42.5	-52.5	5.68E-06	1000	-8	42.5	-50.5	9.01E-06
1250	-9	42.6	-51.6	6.92E-06	1250	-9	42.6	-51.6	6.92E-06
1600	-9	43.6	-52.6	5.47E-06	1600	-10	43.6	-53.6	4.34E-06
2000	-9	43.3	-52.3	5.86E-06	2000	-11	43.3	-54.3	3.70E-06
2500	-9	42.4	-51.4	7.19E-06	2500	-13	42.4	-55.4	2.86E-06
3150	-9	40.0	-49.0	1.25E-05	3150	-15	40.0	-55.0	3.13E-06
Soma				2.15E-04	Soma				4.05E-04
- 10 Log 10 (SOMA)				36.67	- 10 Log 10 (SOMA)				33.93
Rw				38	Rw				38
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-4

Área de abertura de 5 cm² com janela do tipo 1

Tabela 8-29 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 5 cm² com janela do tipo 1

5 cm ² + Janela 1									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)
100	-29	26.8	-55.8	2.64E-06	100	-20	26.8	-46.8	2.09E-05
125	-26	27.4	-53.4	4.58E-06	125	-20	27.4	-47.4	1.82E-05
160	-23	29.7	-52.7	5.39E-06	160	-18	29.7	-47.7	1.70E-05
200	-21	27.9	-48.9	1.28E-05	200	-16	27.9	-43.9	4.06E-05
250	-19	23.0	-42.0	6.32E-05	250	-15	23.0	-38.0	1.59E-04
315	-17	31.8	-48.8	1.32E-05	315	-14	31.8	-45.8	2.64E-05
400	-15	30.0	-45.0	3.15E-05	400	-13	30.0	-43.0	4.99E-05
500	-13	32.1	-45.1	3.10E-05	500	-12	32.1	-44.1	3.91E-05
630	-12	34.8	-46.8	2.11E-05	630	-11	34.8	-45.8	2.66E-05
800	-11	35.7	-46.7	2.14E-05	800	-9	35.7	-44.7	3.39E-05
1000	-10	35.1	-45.1	3.08E-05	1000	-8	35.1	-43.1	4.87E-05
1250	-9	35.5	-44.5	3.53E-05	1250	-9	35.5	-44.5	3.53E-05
1600	-9	37.5	-46.5	2.25E-05	1600	-10	37.5	-47.5	1.79E-05
2000	-9	39.1	-48.1	1.54E-05	2000	-11	39.1	-50.1	9.75E-06
2500	-9	40.1	-49.1	1.23E-05	2500	-13	40.1	-53.1	4.90E-06
3150	-9	39.4	-48.4	1.45E-05	3150	-15	39.4	-54.4	3.65E-06
Soma				3.38E-04	Soma				5.52E-04
- 10 Log 10 (SOMA)				34.71	- 10 Log 10 (SOMA)				32.58
Rw				36	Rw				36
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-3

Área de abertura de 10 cm² com janela do tipo 1

Tabela 8-30 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 10 cm² com janela do tipo 1

10 cm ² + Janela 1									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 ^{(((L1-Ri)/10)}	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 ^{(((L1-Ri)/10)}
100	-29	26.2	-55.2	3.02E-06	100	-20	26.2	-46.2	2.40E-05
125	-26	27.0	-53.0	5.01E-06	125	-20	27.0	-47.0	1.99E-05
160	-23	29.4	-52.4	5.80E-06	160	-18	29.4	-47.4	1.83E-05
200	-21	27.9	-48.9	1.29E-05	200	-16	27.9	-43.9	4.09E-05
250	-19	23.0	-42.0	6.27E-05	250	-15	23.0	-38.0	1.58E-04
315	-17	30.8	-47.8	1.66E-05	315	-14	30.8	-44.8	3.32E-05
400	-15	29.3	-44.3	3.71E-05	400	-13	29.3	-42.3	5.88E-05
500	-13	31.1	-44.1	3.90E-05	500	-12	31.1	-43.1	4.91E-05
630	-12	31.6	-43.6	4.41E-05	630	-11	31.6	-42.6	5.56E-05
800	-11	31.4	-42.4	5.74E-05	800	-9	31.4	-40.4	9.10E-05
1000	-10	30.7	-40.7	8.45E-05	1000	-8	30.7	-38.7	1.34E-04
1250	-9	31.4	-40.4	9.07E-05	1250	-9	31.4	-40.4	9.07E-05
1600	-9	32.0	-41.0	7.97E-05	1600	-10	32.0	-42.0	6.33E-05
2000	-9	34.2	-43.2	4.83E-05	2000	-11	34.2	-45.2	3.05E-05
2500	-9	37.1	-46.1	2.46E-05	2500	-13	37.1	-50.1	9.79E-06
3150	-9	38.1	-47.1	1.94E-05	3150	-15	38.1	-53.1	4.87E-06
Soma				6.31E-04	Soma				8.82E-04
- 10 Log 10 (SOMA)				32.00	- 10 Log 10 (SOMA)				30.55
Rw				33	Rw				33
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-2

Área de abertura de 25 cm² com janela do tipo 1

Tabela 8-31 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 25 cm² com janela do tipo 1

25 cm ² + Janela 1									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((L1-Ri)/10)	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((L1-Ri)/10)
100	-29	26.0	-55.0	3.15E-06	100	-20	26.0	-46.0	2.50E-05
125	-26	26.4	-52.4	5.73E-06	125	-20	26.4	-46.4	2.28E-05
160	-23	28.8	-51.8	6.65E-06	160	-18	28.8	-46.8	2.10E-05
200	-21	27.3	-48.3	1.49E-05	200	-16	27.3	-43.3	4.71E-05
250	-19	22.8	-41.8	6.54E-05	250	-15	22.8	-37.8	1.64E-04
315	-17	29.5	-46.5	2.25E-05	315	-14	29.5	-43.5	4.49E-05
400	-15	28.5	-43.5	4.44E-05	400	-13	28.5	-41.5	7.04E-05
500	-13	29.7	-42.7	5.41E-05	500	-12	29.7	-41.7	6.81E-05
630	-12	29.7	-41.7	6.69E-05	630	-11	29.7	-40.7	8.42E-05
800	-11	28.8	-39.8	1.04E-04	800	-9	28.8	-37.8	1.65E-04
1000	-10	27.8	-37.8	1.64E-04	1000	-8	27.8	-35.8	2.60E-04
1250	-9	27.4	-36.4	2.29E-04	1250	-9	27.4	-36.4	2.29E-04
1600	-9	27.8	-36.8	2.10E-04	1600	-10	27.8	-37.8	1.67E-04
2000	-9	28.7	-37.7	1.70E-04	2000	-11	28.7	-39.7	1.07E-04
2500	-9	31.3	-40.3	9.24E-05	2500	-13	31.3	-44.3	3.68E-05
3150	-9	34.4	-43.4	4.59E-05	3150	-15	34.4	-49.4	1.15E-05
Soma				1.30E-03	Soma				1.52E-03
- 10 Log 10 (SOMA)				28.86	- 10 Log 10 (SOMA)				28.17
Rw				30	Rw				30
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-2

Área de abertura de 50 cm² com janela do tipo 1

Tabela 8-32 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 50 cm² com janela do tipo 1

50 cm ² + Janela 1									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 ^{^((Li1-Ri)/10)}	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 ^{^((Li1-Ri)/10)}
100	-29	28.2	-57.2	1.89E-06	100	-20	28.2	-48.2	1.50E-05
125	-26	28.5	-54.5	3.55E-06	125	-20	28.5	-48.5	1.41E-05
160	-23	30.6	-53.6	4.32E-06	160	-18	30.6	-48.6	1.37E-05
200	-21	30.2	-51.2	7.60E-06	200	-16	30.2	-46.2	2.40E-05
250	-19	29.5	-48.5	1.41E-05	250	-15	29.5	-44.5	3.53E-05
315	-17	28.4	-45.4	2.90E-05	315	-14	28.4	-42.4	5.79E-05
400	-15	28.5	-43.5	4.50E-05	400	-13	28.5	-41.5	7.12E-05
500	-13	28.7	-41.7	6.75E-05	500	-12	28.7	-40.7	8.50E-05
630	-12	27.8	-39.8	1.05E-04	630	-11	27.8	-38.8	1.32E-04
800	-11	25.9	-36.9	2.06E-04	800	-9	25.9	-34.9	3.26E-04
1000	-10	24.4	-34.4	3.67E-04	1000	-8	24.4	-32.4	5.82E-04
1250	-9	23.8	-32.8	5.26E-04	1250	-9	23.8	-32.8	5.26E-04
1600	-9	24.1	-33.1	4.94E-04	1600	-10	24.1	-34.1	3.92E-04
2000	-9	25.5	-34.5	3.59E-04	2000	-11	25.5	-36.5	2.26E-04
2500	-9	27.9	-36.9	2.03E-04	2500	-13	27.9	-40.9	8.06E-05
3150	-9	31.9	-40.9	8.16E-05	3150	-15	31.9	-46.9	2.05E-05
Soma				2.51E-03	Soma				2.60E-03
- 10 Log 10 (SOMA)				26.00	- 10 Log 10 (SOMA)				25.85
Rw				27	Rw				27
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1

Área de abertura de 75 cm² com janela do tipo 1

Tabela 8-33 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 75 cm² com janela do tipo 1

75 cm ² + Janela 1									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)
100	-29	28.2	-57.2	1.89E-06	100	-20	28.2	-48.2	1.50E-05
125	-26	28.5	-54.5	3.55E-06	125	-20	28.5	-48.5	1.41E-05
160	-23	30.6	-53.6	4.32E-06	160	-18	30.6	-48.6	1.37E-05
200	-21	30.2	-51.2	7.60E-06	200	-16	30.2	-46.2	2.40E-05
250	-19	29.5	-48.5	1.41E-05	250	-15	29.5	-44.5	3.53E-05
315	-17	28.4	-45.4	2.90E-05	315	-14	28.4	-42.4	5.79E-05
400	-15	28.5	-43.5	4.50E-05	400	-13	28.5	-41.5	7.12E-05
500	-13	28.7	-41.7	6.75E-05	500	-12	28.7	-40.7	8.50E-05
630	-12	27.8	-39.8	1.05E-04	630	-11	27.8	-38.8	1.32E-04
800	-11	25.9	-36.9	2.06E-04	800	-9	25.9	-34.9	3.26E-04
1000	-10	24.4	-34.4	3.67E-04	1000	-8	24.4	-32.4	5.82E-04
1250	-9	23.8	-32.8	5.26E-04	1250	-9	23.8	-32.8	5.26E-04
1600	-9	24.1	-33.1	4.94E-04	1600	-10	24.1	-34.1	3.92E-04
2000	-9	25.5	-34.5	3.59E-04	2000	-11	25.5	-36.5	2.26E-04
2500	-9	27.9	-36.9	2.03E-04	2500	-13	27.9	-40.9	8.06E-05
3150	-9	31.9	-40.9	8.16E-05	3150	-15	31.9	-46.9	2.05E-05
Soma				2.51E-03	Soma				2.60E-03
- 10 Log 10 (SOMA)				26.00	- 10 Log 10 (SOMA)				25.85
Rw				27	Rw				27
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1

Área de abertura de 100 cm² com janela do tipo 1

Tabela 8-34 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 100 cm² com janela do tipo 1

100 cm ² + Janela 1									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 ^{(((Li1-Ri)/10)}	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 ^{(((Li1-Ri)/10)}
100	-29	26.8	-55.8	2.642E-06	100	-20	26.8	-46.8	2.098E-05
125	-26	28.2	-54.2	3.770E-06	125	-20	28.2	-48.2	1.501E-05
160	-23	28.5	-51.5	7.100E-06	160	-18	28.5	-46.5	2.245E-05
200	-21	25.3	-46.3	2.354E-05	200	-16	25.3	-41.3	7.443E-05
250	-19	27.1	-46.1	2.440E-05	250	-15	27.1	-42.1	6.128E-05
315	-17	25.2	-42.2	6.095E-05	315	-14	25.2	-39.2	1.216E-04
400	-15	25.6	-40.6	8.628E-05	400	-13	25.6	-38.6	1.368E-04
500	-13	25.6	-38.6	1.365E-04	500	-12	25.6	-37.6	1.718E-04
630	-12	24.8	-36.8	2.067E-04	630	-11	24.8	-35.8	2.602E-04
800	-11	23.4	-34.4	3.627E-04	800	-9	23.4	-32.4	5.748E-04
1000	-10	21.7	-31.7	6.716E-04	1000	-8	21.7	-29.7	1.064E-03
1250	-9	21.2	-30.2	9.570E-04	1250	-9	21.2	-30.2	9.570E-04
1600	-9	21.9	-30.9	8.128E-04	1600	-10	21.9	-31.9	6.456E-04
2000	-9	22.9	-31.9	6.404E-04	2000	-11	22.9	-33.9	4.041E-04
2500	-9	25.1	-34.1	3.915E-04	2500	-13	25.1	-38.1	1.559E-04
3150	-9	28.2	-37.2	1.899E-04	3150	-15	28.2	-43.2	4.769E-05
Soma				4.58E-03	Soma				4.73E-03
- 10 Log 10 (SOMA)				23.39	- 10 Log 10 (SOMA)				23.25
Rw				24	Rw				24
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1

Área de abertura de 150 cm² com janela do tipo 1

Tabela 8-35 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 150 cm² com janela do tipo 1

150 cm ² + janela 1									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 ^{^((Li1-Ri)/10)}	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 ^{^((Li1-Ri)/10)}
100	-29	26.7	-55.7	2.666E-06	100	-20	26.7	-46.7	2.118E-05
125	-26	25.8	-51.8	6.609E-06	125	-20	25.8	-45.8	2.631E-05
160	-23	25.9	-48.9	1.296E-05	160	-18	25.9	-43.9	4.099E-05
200	-21	23.3	-44.3	3.729E-05	200	-16	23.3	-39.3	1.179E-04
250	-19	21.8	-40.8	8.326E-05	250	-15	21.8	-36.8	2.091E-04
315	-17	24.0	-41.0	7.868E-05	315	-14	24.0	-38.0	1.570E-04
400	-15	23.7	-38.7	1.343E-04	400	-13	23.7	-36.7	2.128E-04
500	-13	23.4	-36.4	2.312E-04	500	-12	23.4	-35.4	2.910E-04
630	-12	23.2	-35.2	3.004E-04	630	-11	23.2	-34.2	3.782E-04
800	-11	22.1	-33.1	4.897E-04	800	-9	22.1	-31.1	7.761E-04
1000	-10	20.8	-30.8	8.355E-04	1000	-8	20.8	-28.8	1.324E-03
1250	-9	20.3	-29.3	1.182E-03	1250	-9	20.3	-29.3	1.182E-03
1600	-9	20.3	-29.3	1.178E-03	1600	-10	20.3	-30.3	9.358E-04
2000	-9	21.4	-30.4	9.097E-04	2000	-11	21.4	-32.4	5.740E-04
2500	-9	22.6	-31.6	6.951E-04	2500	-13	22.6	-35.6	2.767E-04
3150	-9	24.6	-33.6	4.342E-04	3150	-15	24.6	-39.6	1.091E-04
Soma				6.61E-03	Soma				6.63E-03
- 10 Log 10 (SOMA)				21.80	- 10 Log 10 (SOMA)				21.78
Rw				22	Rw				22
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				0	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				0

Área de abertura de 200 cm² com janela do tipo 1

Tabela 8-36 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 200 cm² com janela do tipo 1

200 cm ² + Janela 1									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((L1-Ri)/10)	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((L1-Ri)/10)
100	-29	28.4	-57.4	1.808E-06	100	-20	28.4	-48.4	1.436E-05
125	-26	25.7	-51.7	6.706E-06	125	-20	25.7	-45.7	2.670E-05
160	-23	25.5	-48.5	1.409E-05	160	-18	25.5	-43.5	4.455E-05
200	-21	23.1	-44.1	3.858E-05	200	-16	23.1	-39.1	1.220E-04
250	-19	21.3	-40.3	9.250E-05	250	-15	21.3	-36.3	2.323E-04
315	-17	23.1	-40.1	9.774E-05	315	-14	23.1	-37.1	1.950E-04
400	-15	22.6	-37.6	1.728E-04	400	-13	22.6	-35.6	2.739E-04
500	-13	22.5	-35.5	2.806E-04	500	-12	22.5	-34.5	3.533E-04
630	-12	22.0	-34.0	4.022E-04	630	-11	22.0	-33.0	5.063E-04
800	-11	21.4	-32.4	5.757E-04	800	-9	21.4	-30.4	9.124E-04
1000	-10	20.0	-30.0	1.009E-03	1000	-8	20.0	-28.0	1.599E-03
1250	-9	19.5	-28.5	1.420E-03	1250	-9	19.5	-28.5	1.420E-03
1600	-9	19.6	-28.6	1.381E-03	1600	-10	19.6	-29.6	1.097E-03
2000	-9	20.3	-29.3	1.178E-03	2000	-11	20.3	-31.3	7.434E-04
2500	-9	21.3	-30.3	9.392E-04	2500	-13	21.3	-34.3	3.739E-04
3150	-9	22.7	-31.7	6.724E-04	3150	-15	22.7	-37.7	1.689E-04
Soma				8.28E-03	Soma				8.08E-03
- 10 Log 10 (SOMA)				20.82	- 10 Log 10 (SOMA)				20.92
Rw				21	Rw				21
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				0	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				0

Área de abertura de 250 cm² com janela do tipo 1

Tabela 8-37 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 250 cm² com janela do tipo 1

250 cm ² + Janela 1									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 ^{(((Li1-Ri)/10)}	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 ^{(((Li1-Ri)/10)}
100	-29	27.9	-56.9	2.053E-06	100	-20	27.9	-47.9	1.630E-05
125	-26	26.3	-52.3	5.835E-06	125	-20	26.3	-46.3	2.323E-05
160	-23	25.6	-48.6	1.375E-05	160	-18	25.6	-43.6	4.349E-05
200	-21	23.3	-44.3	3.715E-05	200	-16	23.3	-39.3	1.175E-04
250	-19	20.9	-39.9	1.016E-04	250	-15	20.9	-35.9	2.552E-04
315	-17	22.1	-39.1	1.221E-04	315	-14	22.1	-36.1	2.436E-04
400	-15	21.7	-36.7	2.122E-04	400	-13	21.7	-34.7	3.363E-04
500	-13	21.6	-34.6	3.459E-04	500	-12	21.6	-33.6	4.355E-04
630	-12	21.0	-33.0	5.057E-04	630	-11	21.0	-32.0	6.367E-04
800	-11	20.3	-31.3	7.396E-04	800	-9	20.3	-29.3	1.172E-03
1000	-10	18.8	-28.8	1.304E-03	1000	-8	18.8	-26.8	2.067E-03
1250	-9	17.8	-26.8	2.068E-03	1250	-9	17.8	-26.8	2.068E-03
1600	-9	18.5	-27.5	1.782E-03	1600	-10	18.5	-28.5	1.415E-03
2000	-9	19.2	-28.2	1.505E-03	2000	-11	19.2	-30.2	9.496E-04
2500	-9	19.6	-28.6	1.367E-03	2500	-13	19.6	-32.6	5.444E-04
3150	-9	20.9	-29.9	1.012E-03	3150	-15	20.9	-35.9	2.541E-04
Soma				1.11E-02	Soma				1.06E-02
- 10 Log 10 (SOMA)				19.54	- 10 Log 10 (SOMA)				19.76
Rw				20	Rw				20
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				0	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				0

Anexo 1 G – Termos de adaptação para as diversas áreas de abertura estudadas com janela do tipo 2

Área de abertura de 0,5 cm² com janela do tipo 2

Tabela 8-38 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 0,5 cm² com janela do tipo 2

0,5 cm ² + Janela 2											
Cálculo de C					Cálculo de Ctr						
f(Hz)	L1	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)	f(Hz)	L1	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)		
100	-29	27.8	-56.8	2.102E-06	100	-20	27.8	-47.8	1.669E-05		
125	-26	27.1	-53.1	4.875E-06	125	-20	27.1	-47.1	1.941E-05		
160	-23	31.4	-54.4	3.669E-06	160	-18	31.4	-49.4	1.160E-05		
200	-21	32.9	-53.9	4.112E-06	200	-16	32.9	-48.9	1.300E-05		
250	-19	32.3	-51.3	7.462E-06	250	-15	32.3	-47.3	1.874E-05		
315	-17	33.0	-50.0	1.011E-05	315	-14	33.0	-47.0	2.018E-05		
400	-15	35.0	-50.0	1.003E-05	400	-13	35.0	-48.0	1.589E-05		
500	-13	36.8	-49.8	1.056E-05	500	-12	36.8	-48.8	1.329E-05		
630	-12	39.1	-51.1	7.680E-06	630	-11	39.1	-50.1	9.668E-06		
800	-11	41.6	-52.6	5.539E-06	800	-9	41.6	-50.6	8.778E-06		
1000	-10	42.8	-52.8	5.228E-06	1000	-8	42.8	-50.8	8.286E-06		
1250	-9	39.6	-48.6	1.375E-05	1250	-9	39.6	-48.6	1.375E-05		
1600	-9	38.6	-47.6	1.718E-05	1600	-10	38.6	-48.6	1.365E-05		
2000	-9	40.8	-49.8	1.053E-05	2000	-11	40.8	-51.8	6.643E-06		
2500	-9	43.9	-52.9	5.109E-06	2500	-13	43.9	-56.9	2.034E-06		
3150	-9	46.7	-55.7	2.711E-06	3150	-15	46.7	-61.7	6.811E-07		
Soma				1.206E-04	Soma				1.923E-04		
- 10 Log 10 (SOMA)				39	- 10 Log 10 (SOMA)				37		
Rw				40	Rw				40		
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-3		

Área de abertura de 1 cm² com janela do tipo 2

Tabela 8-39 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 1 cm² com janela do tipo 2

1 cm ² + Janela 2									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 ^{^((Li1-Ri)/10)}	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 ^{^((Li1-Ri)/10)}
100	-29	28.6	-57.6	1.74E-06	100	-20	28.6	-48.6	1.38E-05
125	-26	26.8	-52.8	5.24E-06	125	-20	26.8	-46.8	2.09E-05
160	-23	31.2	-54.2	3.77E-06	160	-18	31.2	-49.2	1.19E-05
200	-21	32.3	-53.3	4.68E-06	200	-16	32.3	-48.3	1.48E-05
250	-19	32.0	-51.0	7.86E-06	250	-15	32.0	-47.0	1.98E-05
315	-17	32.9	-49.9	1.03E-05	315	-14	32.9	-46.9	2.05E-05
400	-15	35.0	-50.0	9.89E-06	400	-13	35.0	-48.0	1.57E-05
500	-13	36.9	-49.9	1.03E-05	500	-12	36.9	-48.9	1.30E-05
630	-12	39.3	-51.3	7.48E-06	630	-11	39.3	-50.3	9.42E-06
800	-11	41.6	-52.6	5.50E-06	800	-9	41.6	-50.6	8.72E-06
1000	-10	42.5	-52.5	5.68E-06	1000	-8	42.5	-50.5	9.01E-06
1250	-9	39.2	-48.2	1.52E-05	1250	-9	39.2	-48.2	1.52E-05
1600	-9	38.6	-47.6	1.76E-05	1600	-10	38.6	-48.6	1.40E-05
2000	-9	40.7	-49.7	1.06E-05	2000	-11	40.7	-51.7	6.69E-06
2500	-9	43.5	-52.5	5.57E-06	2500	-13	43.5	-56.5	2.22E-06
3150	-9	46.4	-55.4	2.85E-06	3150	-15	46.4	-61.4	7.17E-07
Soma				1.24E-04	Soma				1.96E-04
- 10 Log 10 (SOMA)				39.06	- 10 Log 10 (SOMA)				37.07
Rw				40	Rw				40
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-3

Área de abertura de 5 cm² com janela do tipo 2

Tabela 8-40 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 5 cm² com janela do tipo 2

5 cm ² + Janela 2									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 ^{^((L1-Ri)/10)}	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 ^{^((L1-Ri)/10)}
100	-29	27.8	-56.8	2.11E-06	100	-20	27.8	-47.8	1.68E-05
125	-26	26.9	-52.9	5.15E-06	125	-20	26.9	-46.9	2.05E-05
160	-23	31.3	-54.3	3.72E-06	160	-18	31.3	-49.3	1.18E-05
200	-21	31.8	-52.8	5.20E-06	200	-16	31.8	-47.8	1.64E-05
250	-19	30.7	-49.7	1.08E-05	250	-15	30.7	-45.7	2.72E-05
315	-17	32.6	-49.6	1.10E-05	315	-14	32.6	-46.6	2.20E-05
400	-15	34.1	-49.1	1.23E-05	400	-13	34.1	-47.1	1.95E-05
500	-13	34.7	-47.7	1.71E-05	500	-12	34.7	-46.7	2.15E-05
630	-12	36.2	-48.2	1.51E-05	630	-11	36.2	-47.2	1.90E-05
800	-11	36.2	-47.2	1.92E-05	800	-9	36.2	-45.2	3.05E-05
1000	-10	35.1	-45.1	3.08E-05	1000	-8	35.1	-43.1	4.87E-05
1250	-9	34.6	-43.6	4.36E-05	1250	-9	34.6	-43.6	4.36E-05
1600	-9	35.6	-44.6	3.46E-05	1600	-10	35.6	-45.6	2.75E-05
2000	-9	37.9	-46.9	2.02E-05	2000	-11	37.9	-48.9	1.27E-05
2500	-9	40.7	-49.7	1.07E-05	2500	-13	40.7	-53.7	4.26E-06
3150	-9	44.1	-53.1	4.91E-06	3150	-15	44.1	-59.1	1.23E-06
Soma				2.47E-04	Soma				3.43E-04
- 10 Log 10 (SOMA)				36.08	- 10 Log 10 (SOMA)				34.64
Rw				37	Rw				37
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-2

Área de abertura de 10 cm² com janela do tipo 2

Tabela 8-41 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 10 cm² com janela do tipo 2

10 cm ² + Janela 2										
Cálculo de C					Cálculo de Ctr					
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	$10^{((L1-R)/10)}$	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	$10^{((L1-R)/10)}$	
100	-29	27.0	-56.0	2.50E-06	100	-20	27.0	-47.0	1.98E-05	
125	-26	26.5	-52.5	5.58E-06	125	-20	26.5	-46.5	2.22E-05	
160	-23	30.8	-53.8	4.14E-06	160	-18	30.8	-48.8	1.31E-05	
200	-21	31.8	-52.8	5.30E-06	200	-16	31.8	-47.8	1.68E-05	
250	-19	30.8	-49.8	1.04E-05	250	-15	30.8	-45.8	2.61E-05	
315	-17	31.4	-48.4	1.45E-05	315	-14	31.4	-45.4	2.89E-05	
400	-15	32.5	-47.5	1.79E-05	400	-13	32.5	-45.5	2.84E-05	
500	-13	33.0	-46.0	2.50E-05	500	-12	33.0	-45.0	3.15E-05	
630	-12	32.2	-44.2	3.82E-05	630	-11	32.2	-43.2	4.80E-05	
800	-11	31.6	-42.6	5.53E-05	800	-9	31.6	-40.6	8.76E-05	
1000	-10	30.7	-40.7	8.45E-05	1000	-8	30.7	-38.7	1.34E-04	
1250	-9	31.0	-40.0	9.89E-05	1250	-9	31.0	-40.0	9.89E-05	
1600	-9	31.4	-40.4	9.18E-05	1600	-10	31.4	-41.4	7.29E-05	
2000	-9	33.8	-42.8	5.30E-05	2000	-11	33.8	-44.8	3.34E-05	
2500	-9	37.4	-46.4	2.30E-05	2500	-13	37.4	-50.4	9.15E-06	
3150	-9	41.1	-50.1	9.76E-06	3150	-15	41.1	-56.1	2.45E-06	
Soma				5.40E-04	Soma				6.73E-04	
- 10 Log 10 (SOMA)				32.68	- 10 Log 10 (SOMA)				31.72	
Rw				33	Rw				33	
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				0	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	

Área de abertura de 25 cm² com janela do tipo 2

Tabela 8-42 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 25 cm² com janela do tipo 2

25 cm ² + Janela 2									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((L1-Ri)/10)	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((L1-Ri)/10)
100	-29	26.8	-55.8	2.63E-06	100	-20	26.8	-46.8	2.09E-05
125	-26	26.0	-52.0	6.30E-06	125	-20	26.0	-46.0	2.51E-05
160	-23	30.0	-53.0	4.99E-06	160	-18	30.0	-48.0	1.58E-05
200	-21	30.4	-51.4	7.25E-06	200	-16	30.4	-46.4	2.29E-05
250	-19	29.8	-48.8	1.30E-05	250	-15	29.8	-44.8	3.28E-05
315	-17	29.9	-46.9	2.03E-05	315	-14	29.9	-43.9	4.06E-05
400	-15	31.0	-46.0	2.53E-05	400	-13	31.0	-44.0	4.00E-05
500	-13	31.0	-44.0	4.02E-05	500	-12	31.0	-43.0	5.06E-05
630	-12	30.2	-42.2	6.09E-05	630	-11	30.2	-41.2	7.67E-05
800	-11	28.9	-39.9	1.02E-04	800	-9	28.9	-37.9	1.62E-04
1000	-10	27.8	-37.8	1.64E-04	1000	-8	27.8	-35.8	2.60E-04
1250	-9	27.3	-36.3	2.37E-04	1250	-9	27.3	-36.3	2.37E-04
1600	-9	27.5	-36.5	2.22E-04	1600	-10	27.5	-37.5	1.76E-04
2000	-9	28.6	-37.6	1.75E-04	2000	-11	28.6	-39.6	1.10E-04
2500	-9	31.4	-40.4	9.07E-05	2500	-13	31.4	-44.4	3.61E-05
3150	-9	35.4	-44.4	3.63E-05	3150	-15	35.4	-50.4	9.12E-06
Soma				1.21E-03	Soma				1.32E-03
- 10 Log 10 (SOMA)				29.18	- 10 Log 10 (SOMA)				28.81
Rw				30	Rw				30
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1

Área de abertura de 50 cm² com janela do tipo 2

Tabela 8-43 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 50 cm² com janela do tipo 2

50 cm ² + Janela 2									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 ^{(((L1-Ri)/10)}	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 ^{(((L1-Ri)/10)}
100	-29	27.3	-56.3	2.34E-06	100	-20	27.3	-47.3	1.86E-05
125	-26	25.7	-51.7	6.69E-06	125	-20	25.7	-45.7	2.66E-05
160	-23	29.4	-52.4	5.81E-06	160	-18	29.4	-47.4	1.84E-05
200	-21	29.5	-50.5	8.95E-06	200	-16	29.5	-45.5	2.83E-05
250	-19	28.5	-47.5	1.76E-05	250	-15	28.5	-43.5	4.43E-05
315	-17	27.9	-44.9	3.23E-05	315	-14	27.9	-41.9	6.44E-05
400	-15	28.1	-43.1	4.86E-05	400	-13	28.1	-41.1	7.71E-05
500	-13	28.4	-41.4	7.19E-05	500	-12	28.4	-40.4	9.05E-05
630	-12	27.6	-39.6	1.08E-04	630	-11	27.6	-38.6	1.36E-04
800	-11	25.8	-36.8	2.08E-04	800	-9	25.8	-34.8	3.30E-04
1000	-10	24.3	-34.3	3.70E-04	1000	-8	24.3	-32.3	5.86E-04
1250	-9	23.7	-32.7	5.37E-04	1250	-9	23.7	-32.7	5.37E-04
1600	-9	23.9	-32.9	5.08E-04	1600	-10	23.9	-33.9	4.03E-04
2000	-9	25.4	-34.4	3.66E-04	2000	-11	25.4	-36.4	2.31E-04
2500	-9	27.9	-36.9	2.05E-04	2500	-13	27.9	-40.9	8.18E-05
3150	-9	31.8	-40.8	8.30E-05	3150	-15	31.8	-46.8	2.09E-05
Soma				2.58E-03	Soma				2.70E-03
- 10 Log 10 (SOMA)				25.88	- 10 Log 10 (SOMA)				25.69
Rw				27	Rw				27
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1

Área de abertura de 75 cm² com janela do tipo 2

Tabela 8-44 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 75 cm² com janela do tipo 2

75 cm ² + Janela 2									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)
100	-29	25.1	-54.1	3.913E-06	100	-20	25.1	-45.1	3.108E-05
125	-26	25.3	-51.3	7.331E-06	125	-20	25.3	-45.3	2.919E-05
160	-23	28.5	-51.5	7.081E-06	160	-18	28.5	-46.5	2.239E-05
200	-21	25.8	-46.8	2.104E-05	200	-16	25.8	-41.8	6.654E-05
250	-19	27.0	-46.0	2.524E-05	250	-15	27.0	-42.0	6.339E-05
315	-17	25.5	-42.5	5.583E-05	315	-14	25.5	-39.5	1.114E-04
400	-15	26.1	-41.1	7.807E-05	400	-13	26.1	-39.1	1.237E-04
500	-13	26.0	-39.0	1.272E-04	500	-12	26.0	-38.0	1.602E-04
630	-12	24.8	-36.8	2.076E-04	630	-11	24.8	-35.8	2.613E-04
800	-11	23.3	-34.3	3.744E-04	800	-9	23.3	-32.3	5.934E-04
1000	-10	21.4	-31.4	7.183E-04	1000	-8	21.4	-29.4	1.138E-03
1250	-9	21.0	-30.0	9.970E-04	1250	-9	21.0	-30.0	9.970E-04
1600	-9	21.4	-30.4	9.164E-04	1600	-10	21.4	-31.4	7.279E-04
2000	-9	22.6	-31.6	6.886E-04	2000	-11	22.6	-33.6	4.345E-04
2500	-9	25.1	-34.1	3.876E-04	2500	-13	25.1	-38.1	1.543E-04
3150	-9	29.1	-38.1	1.555E-04	3150	-15	29.1	-44.1	3.905E-05
Soma				4.77E-03	Soma				4.95E-03
- 10 Log 10 (SOMA)				23.21	- 10 Log 10 (SOMA)				23.05
Rw				24	Rw				24
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1

Área de abertura de 100 cm² com janela do tipo 2

Tabela 8-45 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 100 cm² com janela do tipo 2

100 cm ² + Janela 2									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 [^] ((Li1-Ri)/10)
100	-29	26.1	-55.1	3.093E-06	100	-20	26.1	-46.1	2.456E-05
125	-26	25.6	-51.6	6.903E-06	125	-20	25.6	-45.6	2.748E-05
160	-23	27.7	-50.7	8.588E-06	160	-18	27.7	-45.7	2.716E-05
200	-21	25.0	-46.0	2.489E-05	200	-16	25.0	-41.0	7.872E-05
250	-19	26.5	-45.5	2.796E-05	250	-15	26.5	-41.5	7.024E-05
315	-17	24.9	-41.9	6.421E-05	315	-14	24.9	-38.9	1.281E-04
400	-15	25.5	-40.5	8.998E-05	400	-13	25.5	-38.5	1.426E-04
500	-13	25.5	-38.5	1.409E-04	500	-12	25.5	-37.5	1.774E-04
630	-12	24.8	-36.8	2.102E-04	630	-11	24.8	-35.8	2.646E-04
800	-11	23.4	-34.4	3.654E-04	800	-9	23.4	-32.4	5.791E-04
1000	-10	21.7	-31.7	6.746E-04	1000	-8	21.7	-29.7	1.069E-03
1250	-9	21.1	-30.1	9.682E-04	1250	-9	21.1	-30.1	9.682E-04
1600	-9	21.8	-30.8	8.268E-04	1600	-10	21.8	-31.8	6.567E-04
2000	-9	22.9	-31.9	6.474E-04	2000	-11	22.9	-33.9	4.085E-04
2500	-9	25.0	-34.0	3.943E-04	2500	-13	25.0	-38.0	1.570E-04
3150	-9	28.2	-37.2	1.913E-04	3150	-15	28.2	-43.2	4.805E-05
Soma				4.64E-03	Soma				4.83E-03
- 10 Log 10 (SOMA)				23.33	- 10 Log 10 (SOMA)				23.16
Rw				24	Rw				24
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				-1

Área de abertura de 150 cm² com janela do tipo 2

Tabela 8-46 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 150 cm² com janela do tipo 2

150 cm ² + Janela 2										
Cálculo de C					Cálculo de Ctr					
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 ^{^((Li1-Ri)/10)}	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	10 ^{^((Li1-Ri)/10)}	
100	-29	27.7	-56.7	2.141E-06	100	-20	27.7	-47.7	1.700E-05	
125	-26	25.4	-51.4	7.177E-06	125	-20	25.4	-45.4	2.857E-05	
160	-23	26.5	-49.5	1.130E-05	160	-18	26.5	-44.5	3.573E-05	
200	-21	24.3	-45.3	2.965E-05	200	-16	24.3	-40.3	9.377E-05	
250	-19	26.1	-45.1	3.090E-05	250	-15	26.1	-41.1	7.761E-05	
315	-17	24.2	-41.2	7.649E-05	315	-14	24.2	-38.2	1.526E-04	
400	-15	24.4	-39.4	1.151E-04	400	-13	24.4	-37.4	1.824E-04	
500	-13	23.6	-36.6	2.172E-04	500	-12	23.6	-35.6	2.734E-04	
630	-12	23.3	-35.3	2.944E-04	630	-11	23.3	-34.3	3.707E-04	
800	-11	22.1	-33.1	4.875E-04	800	-9	22.1	-31.1	7.727E-04	
1000	-10	20.8	-30.8	8.355E-04	1000	-8	20.8	-28.8	1.324E-03	
1250	-9	20.2	-29.2	1.191E-03	1250	-9	20.2	-29.2	1.191E-03	
1600	-9	20.2	-29.2	1.190E-03	1600	-10	20.2	-30.2	9.454E-04	
2000	-9	21.4	-30.4	9.144E-04	2000	-11	21.4	-32.4	5.770E-04	
2500	-9	22.6	-31.6	6.935E-04	2500	-13	22.6	-35.6	2.761E-04	
3150	-9	24.7	-33.7	4.246E-04	3150	-15	24.7	-39.7	1.067E-04	
Soma				6.52E-03	Soma				6.42E-03	
- 10 Log 10 (SOMA)				21.86	- 10 Log 10 (SOMA)				21.92	
Rw				22	Rw				22	
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				0	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				0	

Área de abertura de 200 cm² com janela do tipo 2

Tabela 8-47 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 200 cm² com janela do tipo 2

200 cm ² + Janela 2									
Cálculo de C					Cálculo de Ctr				
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	$10^{((L1-R)/10)}$	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	$10^{((L1-R)/10)}$
100	-29	29.9	-58.9	1.282E-06	100	-20	29.9	-49.9	1.018E-05
125	-26	25.4	-51.4	7.274E-06	125	-20	25.4	-45.4	2.896E-05
160	-23	26.1	-49.1	1.243E-05	160	-18	26.1	-44.1	3.930E-05
200	-21	24.1	-45.1	3.094E-05	200	-16	24.1	-40.1	9.786E-05
250	-19	25.0	-44.0	4.014E-05	250	-15	25.0	-40.0	1.008E-04
315	-17	23.2	-40.2	9.555E-05	315	-14	23.2	-37.2	1.907E-04
400	-15	23.1	-38.1	1.537E-04	400	-13	23.1	-36.1	2.435E-04
500	-13	22.7	-35.7	2.667E-04	500	-12	22.7	-34.7	3.357E-04
630	-12	22.0	-34.0	3.962E-04	630	-11	22.0	-33.0	4.988E-04
800	-11	21.4	-32.4	5.735E-04	800	-9	21.4	-30.4	9.090E-04
1000	-10	20.0	-30.0	1.009E-03	1000	-8	20.0	-28.0	1.599E-03
1250	-9	19.5	-28.5	1.428E-03	1250	-9	19.5	-28.5	1.428E-03
1600	-9	19.6	-28.6	1.393E-03	1600	-10	19.6	-29.6	1.107E-03
2000	-9	20.3	-29.3	1.183E-03	2000	-11	20.3	-31.3	7.464E-04
2500	-9	21.3	-30.3	9.376E-04	2500	-13	21.3	-34.3	3.733E-04
3150	-9	22.8	-31.8	6.628E-04	3150	-15	22.8	-37.8	1.665E-04
Soma				8.19E-03	Soma				7.87E-03
- 10 Log 10 (SOMA)				20.87	- 10 Log 10 (SOMA)				21.04
Rw				21	Rw				21
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				0	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				0

Área de abertura de 250 cm² com janela do tipo 2

Tabela 8-48 - Termos de adaptação para uma área de abertura de 250 cm² com janela do tipo 2

250 cm ² + Janela 2										
Cálculo de C					Cálculo de Ctr					
f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	$10^{((L1-Ri)/10)}$	f(Hz)	L1 (dB)	R (dB)	L1-R (dB)	$10^{((L1-Ri)/10)}$	
100	-29	29.2	-58.2	1.527E-06	100	-20	29.2	-49.2	1.213E-05	
125	-26	25.9	-51.9	6.404E-06	125	-20	25.9	-45.9	2.549E-05	
160	-23	26.2	-49.2	1.209E-05	160	-18	26.2	-44.2	3.823E-05	
200	-21	24.3	-45.3	2.951E-05	200	-16	24.3	-40.3	9.333E-05	
250	-19	24.1	-43.1	4.924E-05	250	-15	24.1	-39.1	1.237E-04	
315	-17	22.2	-39.2	1.199E-04	315	-14	22.2	-36.2	2.392E-04	
400	-15	22.1	-37.1	1.930E-04	400	-13	22.1	-35.1	3.059E-04	
500	-13	21.8	-34.8	3.320E-04	500	-12	21.8	-33.8	4.180E-04	
630	-12	21.0	-33.0	4.997E-04	630	-11	21.0	-32.0	6.291E-04	
800	-11	20.3	-31.3	7.374E-04	800	-9	20.3	-29.3	1.169E-03	
1000	-10	18.8	-28.8	1.304E-03	1000	-8	18.8	-26.8	2.067E-03	
1250	-9	17.8	-26.8	2.076E-03	1250	-9	17.8	-26.8	2.076E-03	
1600	-9	18.5	-27.5	1.794E-03	1600	-10	18.5	-28.5	1.425E-03	
2000	-9	19.2	-28.2	1.510E-03	2000	-11	19.2	-30.2	9.526E-04	
2500	-9	19.6	-28.6	1.366E-03	2500	-13	19.6	-32.6	5.437E-04	
3150	-9	21.0	-30.0	1.002E-03	3150	-15	21.0	-36.0	2.517E-04	
Soma				1.10E-02	Soma				1.04E-02	
- 10 Log 10 (SOMA)				19.57	- 10 Log 10 (SOMA)				19.84	
Rw				20	Rw				20	
C = -10 Log10(SOMA) - Rw				0	Ctr = -10 Log10(SOMA) - Rw				0	

Anexo 1 H – Caudais ensaiados e reais para as áereas de abertura ensaiadas

Áreas de abertura de 0,5 ; 1 e 5 cm²

Tabela 8-49 - Caudais para as áreas de abertura de 0,5; 1 e 5 cm²

0,5 cm ²					
Pressão na Câmara [Pa]	5	10	15	20	25
Caudal [m/s]	0.6	0.95	1.4	1.65	1.85
Caudal [m ³ /h]	12.1	19.1	27.0	32.2	36.4
Caudal Real [m ³ /h]	0.8	1.6	2.5	3.1	3.5
Caudal Real [m ³ /h x m ²]	0.08	0.16	0.25	0.31	0.35
1 cm ²					
Pressão na Câmara [Pa]	5	10	15	20	25
Caudal [m/s]	0.65	1	1.45	1.7	1.95
Caudal [m ³ /h]	13.1	20.1	28.0	33.2	38.5
Caudal Real [m ³ /h]	1.8	2.6	3.5	4.2	5.6
Caudal Real [m ³ /h x m ²]	0.18	0.26	0.35	0.42	0.56
5 cm ²					
Pressão na Câmara [Pa]	5	10	15	20	25
Caudal [m/s]	0.7	1.15	1.55	1.85	2.1
Caudal [m ³ /h]	14.07	21.77	30.12	36.38	41.59
Caudal Real [m ³ /h]	2.8	4.3	5.6	7.3	8.8
Caudal Real [m ³ /h x m ²]	0.28	0.43	0.56	0.73	0.88

Áreas de abertura de 10, 25 e 50 cm²

Tabela 8-50 - Caudais para as áreas de abertura de 10, 25 e 50 cm²

10 cm ²					
Pressão na Câmara [Pa]	5	10	15	20	25
Caudal [m/s]	0.91	1.4	1.8	2.1	2.35
Caudal [m ³ /h]	18.29	26.99	35.33	41.59	46.81
Caudal Real [m ³ /h]	7.0	9.5	10.8	12.5	14.0
Caudal Real [m ³ /h x m ²]	0.70	0.95	1.08	1.25	1.40
25 cm ²					
Pressão na Câmara [Pa]	5	10	15	20	25
Caudal [m/s]	1.3	1.92	2.4	2.78	3.1
Caudal [m ³ /h]	24.97	37.95	47.99	55.95	62.64
Caudal Real [m ³ /h]	13.7	20.5	23.5	26.9	29.8
Caudal Real [m ³ /h x m ²]	1.37	2.05	2.35	2.69	2.98
50 cm ²					
Pressão na Câmara [Pa]	5	10	15	20	25
Caudal [m/s]	1.85	2.7	3.5	3.9	4.35
Caudal [m ³ /h]	36.38	54.11	70.80	79.15	88.54
Caudal Real [m ³ /h]	25.1	36.6	46.3	50.1	55.7
Caudal Real [m ³ /h x m ²]	2.51	3.66	4.63	5.01	5.57

Áreas de abertura de 75, 100 e 150 cm²

Tabela 8-51 - Caudais para as áreas de abertura de 75, 100 e 150 cm²

75 cm ²					
Pressão na Câmara [Pa]	5	10	15	20	25
Caudal [m/s]	2.7	3.78	4.6	5.6	6.3
Caudal [m ³ /h]	54.35	76.98	94.16	112.06	127.73
Caudal Real [m ³ /h]	43.1	59.5	69.7	83.0	94.9
Caudal Real [m ³ /h x m ²]	4.31	5.95	6.97	8.30	9.49
100 cm ²					
Pressão na Câmara [Pa]	5	10	15	20	25
Caudal [m/s]	3.5	4.92	6.4	7.3	8.1
Caudal [m ³ /h]	71.11	100.87	129.97	150.12	168.03
Caudal Real [m ³ /h]	59.9	83.4	105.5	121.0	135.2
Caudal Real [m ³ /h x m ²]	5.99	8.34	10.55	12.10	13.52
150 cm ²					
Pressão na Câmara [Pa]	5	10	15	20	25
Caudal [m/s]	4.01	5.9	7.1	8.1	9
Caudal [m ³ /h]	81.74	118.69	145.54	167.91	188.04
Caudal Real [m ³ /h]	70.5	101.2	121.0	138.8	155.2
Caudal Real [m ³ /h x m ²]	7.05	10.12	12.10	13.88	15.52

Áreas de abertura de 200 e 250 cm²

Tabela 8-52 - Caudais para as áreas de abertura de 200 e 250 cm²

200 cm ²					
Pressão na Câmara [Pa]	5	10	15	20	25
Caudal [m/s]	5.6	7.6	9	10.5	11.8
Caudal [m ³ /h]	112.06	156.83	188.17	221.76	250.86
Caudal Real [m ³ /h]	100.8	139.3	163.7	192.7	218.0
Caudal Real [m ³ /h x m ²]	10.08	13.93	16.37	19.27	21.80
250 cm ²					
Pressão na Câmara [Pa]	5	10	15	20	25
Caudal [m/s]	6.5	8.9	11	12.5	13.6
Caudal [m ³ /h]	132.21	185.94	232.95	266.53	291.16
Caudal Real [m ³ /h]	120.9	168.4	208.5	237.4	258.3
Caudal Real [m ³ /h x m ²]	12.09	16.84	20.85	23.74	25.83

Anexo 2 A – Inquérito Social