



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Contributo para análise da relação entre comportamento acústico e permeabilidade ao ar da envolvente de edifícios

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil
na Especialidade de Construções

Autor

Filipa Cláudia Abrantes Martins

Orientador

Professor Doutor Nuno Albino Vieira Simões

Professor Doutor Paulo Jorge Rodrigues Amado Mendes

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Colaboração Institucional



ITeCons

Instituto de Investigação e Desenvolvimento
Tecnológico em Ciências da Construção

Coimbra, julho, 2013

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Nuno Simões e ao Professor Paulo Amado Mendes todo o empenho e empatia na orientação da presente dissertação. Advém a necessidade de agradecer a todos os que me permitiram a aquisição e enriquecimento de conhecimento.

Mais agradeço ao Jorge Costa, à Rita Januário e colaboradores do ITeCons pelo pronto apoio e colaboração.

RESUMO

Ao longo dos anos a exigência em relação à envolvente dos edifícios tem vindo a aumentar, devido aos níveis de conforto mais elevados que a sociedade tem vindo a requerer. Devido à necessidade de proteção do ambiente interior do ruído exterior, de qualidade do ambiente interior e de redução de consumo de energia, enquadra-se a importância do estudo da relação entre comportamento acústico e permeabilidade ao ar da envolvente de edifícios.

Na prossecução do objetivo definido foi efetuada a revisão bibliográfica de estudos pertinentes para o trabalho realizado. Foram estudados dois métodos de ensaio: o ensaio de pressurização, com recurso ao equipamento *Blower Door* de acordo com a norma NP 13829:2000 [1], e ensaios *in situ* de avaliação do isolamento sonoro a sons de condução aérea da fachada, de acordo com a norma NP ISO 140-5:2009 [2]. Foram selecionados e analisados compartimentos e edifícios onde se utilizaram os métodos de ensaio previamente estudados. A seleção dos edifícios foi realizada de forma a tentar permitir os dois ensaios no mesmo edifício. Para os edifícios selecionados, foi realizada a caracterização, compilação de dados e, nalguns casos, obtenção de resultados adicionais.

A partir da análise dos dados recolhidos tentou analisar-se a relação do comportamento acústico, da permeabilidade ao ar, e das características dos edifícios.

Palavras-Chave: permeabilidade ao ar de fachadas, isolamento sonoro a sons aéreos, envidraçados

ABSTRACT

Over the years the requirements for the building envelope has been increasing due to higher levels of comfort according to society's needs. It was due to the aim of protecting the indoor environment from the outside noise, indoor environmental quality and reduce energy consumption, that the study of the relationship between the acoustic behavior and air permeability of the buildings envelope aroused.

In order to attain the objective of this study a review of studies, relevant to the theme of the work performed, was carried out. Two test methods were studied: the pressurization test, using the pressurization equipment Blower Door according to NP 13829:2000 [1], and measurements of airborne sound insulation of façades, according to EN ISO 140-5:2009 [2]. The buildings were selected so that both tests, mentioned above, were applied in the same building. For the selected buildings a characterization and compilation of data were developed, and additional results were obtained.

From the analysis of the collected data and evaluated results the relationship between acoustic behavior, air permeability, and the characteristics of the buildings was studied and analyzed.

Key-words: air permeability of façades, airborne sound insulation, glazing area

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Enquadramento e motivação.....	1
1.2	Objetivos.....	3
1.3	Estrutura da dissertação.....	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1	Desempenho acústico da fachada.....	5
2.2	Permeabilidade ao ar da envolvente.....	8
2.3	Relação entre a permeabilidade ao ar e o desempenho acústico da fachada.....	12
3	METODOLOGIA DE ENSAIOS <i>IN SITU</i>	18
3.1	Método de pressurização.....	18
3.1.1	Equipamento.....	18
3.1.2	Procedimentos de medição.....	18
3.1.3	Expressão de resultados.....	21
3.2	Método de avaliação do isolamento acústico da fachada.....	24
3.2.1	Equipamento.....	24
3.2.2	Procedimentos de medição.....	25
3.2.3	Expressão de resultados.....	26
4	EDIFÍCIOS ANALISADOS E CAMPANHAS DE MEDIÇÃO.....	29
4.1	Edifícios de serviços.....	30
4.1.1	Edifício escolar localizado em Coimbra: Sala A.....	30
4.1.2	Edifício escolar localizado em Santarém: Sala B e gabinete.....	31
4.1.3	Edifício escolar localizado em Vila Real: Salas de aulas C-1 e C-2 e polivalente.....	34
4.1.4	Residência de estudantes localizada em Bragança: Quartos D-1 e D-2.....	37
4.2	Edifícios residenciais unifamiliares.....	39
4.2.1	Moradias geminadas E e F.....	39
4.2.2	Moradia em banda G.....	42
4.2.3	Moradia em banda H.....	43
4.2.4	Moradia isolada I.....	47
5	DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	50
5.1	Edifícios de serviços.....	52
5.2	Edifícios residenciais.....	55

5.3	Edifícios de serviços e residenciais.....	58
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Taxa de renovação de ar em edifícios europeus [29].	10
Figura 2.2 – Taxa de renovação de ar em 32 edifícios portugueses [26].	10
Figura 2.3 – Cálculo do índice de redução sonora para o espectro de ruído de tráfego e do caudal de ar, para uma fachada com isolamento sonoro para o espectro de ruído de tráfego de 40 dB(A) e uma abertura simples; adaptado de [26].	13
Figura 2.4 – Exemplo de caixa de estore com tratamento acústico; adaptado de [12].	14
Figura 2.5 – Exemplo de caixa de estore com tratamento acústico e ventilação; adaptado de [12].	14
Figura 2.6 – Sistema de ventilação com tratamento acústico a colocar em janelas: a) sem sombreamento; b) com sombreamento pelo exterior integrado na janela; adaptado de [5].	14
Figura 2.7 – Grelhas acústicas: a) tipo S; b) tipo D; adaptado de [5].	15
Figura 2.8 – Sistema de ventilação com isolamento acústico a colocar em paredes; adaptado de [5].	15
Figura 2.9 – Ressonadores em torno da abertura de ventilação; adaptado de [27].	16
Figura 3.1 – Ventilador com todas as aberturas fechadas.	20
Figura 3.2 – Ventilador em funcionamento, com 8 aberturas destapadas.	20
Figura 4.1 – Sala A: a) planta com representação da zona de instalação do equipamento do ensaio de permeabilidade; b) planta relativa ao ensaio de isolamento sonoro com representação esquemática da posição do microfone e da fonte sonora c) fotografia.	30
Figura 4.2 – Sala B: a) planta com representação da zona de instalação do equipamento do ensaio de permeabilidade; b) planta relativa ao ensaio de isolamento sonoro com representação esquemática da posição do microfone e da fonte sonora c) fotografia.	32
Figura 4.3 – Gabinete: a) planta com representação da zona de instalação do equipamento do ensaio de permeabilidade; b) planta relativa ao ensaio de isolamento sonoro com representação esquemática da posição do microfone e da fonte sonora c) fotografia.	33
Figura 4.4 – Sala C-1: a) planta com representação da zona de instalação do equipamento do ensaio de permeabilidade; b) fotografia.	35
Figura 4.5 – Sala C-2: a) planta com representação da zona de instalação do equipamento do ensaio de permeabilidade; b) fotografia.	35
Figura 4.6 – Sala polivalente: a) planta relativa ao ensaio de isolamento sonoro com representação esquemática da posição do microfone e da fonte sonora b) fotografia.	36

Figura 4.7 – a) quarto D-1: planta com representação da zona de instalação do equipamento do ensaio de permeabilidade; b) quarto D-2: planta relativa ao ensaio de isolamento sonoro com representação esquemática da posição do microfone e da fonte sonora c) fotografia.	38
Figura 4.8 – Moradias E e F: a) piso 0; b) piso 1; c) piso 2; d) fotografia.	39
Figura 4.9 – Moradia F, planta relativa ao ensaio de isolamento sonoro com representação esquemática da posição do microfone e da fonte sonora: a) piso 0; b) piso 1.	40
Figura 4.10 – Moradia G: a) piso 0: planta com representação da zona de instalação do equipamento do ensaio de permeabilidade; b) piso 1: planta relativa ao ensaio de isolamento sonoro com representação esquemática da posição do microfone e da fonte sonora c) fotografia.....	42
Figura 4.11 – Moradia H: a) piso 0: planta com representação da zona de instalação do equipamento do ensaio de permeabilidade e planta relativa ao ensaio de isolamento sonoro com representação esquemática da posição do microfone e da fonte sonora; b) piso 1: planta relativa ao ensaio de isolamento sonoro com representação esquemática da posição do microfone e da fonte sonora c) planta piso 2.	44
Figura 4.12 – Fotografia da moradia H: a) fachada principal; b) portão de acesso à garagem fechado; c) portão de acesso à garagem aberto; d) porta interior de acesso à garagem. ..	45
Figura 4.13 – Planta com representação da zona de instalação do equipamento do ensaio de permeabilidade na moradia H, piso 0: a) caso H-1; b) caso H-2.....	45
Figura 4.14 – Fotografias da moradia I: a) fachada principal e lateral; b) instalação do <i>Blower Door</i> ; c) porta de elevador selada.....	47
Figura 4.15 – Moradia I, situação I-1: a) piso 2: planta relativa ao ensaio de isolamento sonoro com representação esquemática da posição do microfone e da fonte sonora; b) planta piso 1; c) piso 0: planta com representação da zona de instalação do equipamento do ensaio de permeabilidade; d) planta piso -1.	48
Figura 4.16 – Moradia I, situação I-2: a) planta piso 2; b) planta piso 1; c) piso 0: planta com representação da zona de instalação do equipamento do ensaio de permeabilidade; d) planta piso -1.	49
Figura 5.1 – Representação gráfica da taxa de renovação de ar e do índice de isolamento sonoro em função da percentagem de área de fachada envidraçada para edifícios de serviços.	53
Figura 5.2 – Representação gráfica da taxa de renovação de ar e do índice de isolamento sonoro em função da área de envidraçados para edifícios de serviços.....	53
Figura 5.3 – Representação gráfica da taxa de renovação de ar em função da área de envolvente para edifícios de serviços.	54
Figura 5.4 – Representação gráfica do índice de isolamento sonoro em função da taxa de renovação de ar para edifícios de serviços.	55

Figura 5.5 – Representação gráfica da taxa de renovação de ar e do índice de isolamento sonoro em função da percentagem de área de fachada envidraçada para edifícios residenciais.	57
Figura 5.6 – Representação gráfica da taxa de renovação de ar e do índice de isolamento sonoro em função da área de envidraçados para edifícios residenciais.....	57
Figura 5.7 – Representação gráfica da taxa de renovação de ar e do índice de isolamento sonoro em função da área de envolvente para edifícios residenciais.	58
Figura 5.8 – Representação gráfica do índice de isolamento sonoro em função da taxa de renovação de ar para edifícios residenciais.	58
Figura 5.9 – Representação gráfica do índice de isolamento sonoro em função da percentagem de área de fachada envidraçada para edifícios de serviços e residenciais.	59
Figura 5.10 – Representação gráfica do índice de isolamento sonoro em função da espessura total do vidro para edifícios de serviços e residenciais.	60
Figura 5.11 – Representação gráfica do índice de isolamento sonoro em função da área de envidraçados para edifícios de serviços e residenciais.....	61

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 – Valores de referência para sons aéreos.....	27
Quadro 3.2 – Nível sonoro dos espectros 1 e 2, para cálculo dos termos de adaptação.....	27
Quadro 4.1 – Resultados do ensaio de pressurização da sala A.....	31
Quadro 4.2 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro da fachada da sala A.....	31
Quadro 4.3 – Resultados do ensaio de pressurização realizado na sala B.....	32
Quadro 4.4 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro realizado na sala B.....	32
Quadro 4.5 – Resultados do ensaio de pressurização realizado no gabinete.....	33
Quadro 4.6 – Resultados do ensaio de isolamento acústico realizado no gabinete.....	34
Quadro 4.7 – Resultados do ensaio de pressurização realizado na sala C-1.....	34
Quadro 4.8 – Resultados do ensaio de pressurização realizado na sala C-2.....	36
Quadro 4.9 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro realizado na sala polivalente.....	37
Quadro 4.10 – Resultados do ensaio de pressurização realizado na sala D-1.....	38
Quadro 4.11 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro realizado no quarto D-2.....	38
Quadro 4.12 – Resultados do ensaio de pressurização realizado nas moradias E e F.....	40
Quadro 4.13 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro realizado na fachada orientada a nordeste da sala F.....	41
Quadro 4.14 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro realizado na fachada orientada a sudoeste da sala F.....	41
Quadro 4.15 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro realizado no quarto F-1.....	41
Quadro 4.16 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro realizado no quarto F-2.....	42
Quadro 4.17 – Resultados do ensaio de pressurização realizado na moradia G.....	43
Quadro 4.18 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro realizado no quarto G.....	43
Quadro 4.19 – Resultados do ensaio de pressurização realizado na moradia H.....	46
Quadro 4.20 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro realizado no quarto H.....	46
Quadro 4.21 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro realizado na sala H.....	46
Quadro 4.22 – Resultados do ensaio de pressurização realizado na moradia I, situação I-1.....	48
Quadro 4.23 – Resultados do ensaio de depressurização realizado na moradia I, situação I-2.	49
Quadro 4.24 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro realizado no quarto I.....	49
Quadro 5.1 – Quadro resumo dos resultados obtidos.....	51
Quadro 5.2 – Isolamento sonoro ponderado para edifícios residenciais.....	55

SIMBOLOGIA

- ACH – Renovação de ar por hora à pressão normal (h^{-1})
 A_E – Área da envolvente (m^2)
 A_F – Área útil (m^2)
C – Termo de adaptação (dB)
 C_{env} – Coeficiente de caudal de ar ($\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa}^n)$)
 C_j – Termo de adaptação do espectro j (dB)
 C_1 – Coeficiente de fugas de ar ($\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa}^n)$)
 C_{tr} – Termo de adaptação de ruído de tráfego (dB)
 C_1 – Termo de adaptação do espectro 1 (dB)
 C_2 – Termo de adaptação do espectro 2 (dB)
 $D_{1s,2m}$ – Diferença de nível (dB)
 $D_{1s,2m,nT}$ – Diferença de nível padronizada (dB)
 $D_{1s,2m,nT,w}$ – Índice de isolamento sonoro padronizado (dB)
L – Nível sonoro corrigido (dB)
 L_b – Nível de ruído de fundo (dB)
 L_{ij} – Nível de pressão sonora para a banda de frequências i e espectro j (dB)
 L_{sb} – Nível do sinal de ensaio e do ruído de fundo combinados (dB)
 $L_{1,2m}$ – Nível de pressão sonora exterior, medido a 2 metros da fachada (dB)
 L_2 – Média no espaço e no tempo do nível de pressão sonora no local recetor (dB)
n – Expoente de caudal de ar
 n_{50} – Taxa de renovações de ar à pressão de 50 Pa (h^{-1})
 p_{bar} – Pressão barométrica (Pa)
 p_v – Pressão de vapor parcial (Pa)
 q_{50} – Permeabilidade ao ar à pressão de 50 Pa ($\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$)
T – Tempo de reverberação medido no local recetor (s)
 T_0 – Tempo de reverberação de referência (s)
V – Volume interno (m^3)
 V_{env} – Caudal de ar que atravessa a envolvente (m^3/s)
 V_1 – Caudal de fugas de ar (m^3/h)
 V_m – Caudal de ar medido (m^3/h)
 V_r – Caudal de ar corrigido (m^3/h)
 V_{50} – Caudal de fugas de ar à pressão de 50 Pa (m^3/h)

w_{50} – Taxa de fugas específica à pressão de 50 Pa ($m^3/(h.m^2)$)

X_{Aj} – Termo de cálculo (dB)

X_i – Diferença de nível sonoro padronizado para a frequência i (dB)

X_w – Índice de isolamento sonoro (dB)

Δp – Diferença de pressão induzida (Pa)

Δp_m – Diferença de pressão medida (Pa)

$\Delta p_{0,1}$ – Diferença de pressão inicial (Pa)

$\Delta p_{0,2}$ – Diferença de pressão final (Pa)

$\Delta p_{0,1+}$ – Diferença de pressão inicial positiva (Pa)

$\Delta p_{0,1-}$ – Diferença de pressão inicial negativa (Pa)

ρ_e – Massa volúmica do ar à temperatura exterior (kg/m^3)

ρ_i – Massa volúmica à temperatura interior (kg/m^3)

ρ_0 – Massa volúmica à temperatura de correção (kg/m^3)

ABREVIATURAS

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.*

FLF – Fator de comprimento de caixilharia

ITeCons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da
Construção

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento e motivação

A evolução do tempo determina condições acrescidas de conforto de uma habitação. Associado ao aumento do conforto e da tecnologia surge por inerência o aumento do consumo de energia. Nos países desenvolvidos uma significativa parte da energia primária total é consumida pelos edifícios [3]. Um dos fatores que afeta o consumo de energia de um edifício é a ventilação; esta é responsável por aproximadamente 30% a 40% da energia consumida para aquecimento de edifícios na Europa, sendo que em Portugal este valor pode alcançar os 80% [4].

A fachada de um edifício é um elemento fulcral na proteção do ambiente interior das inúmeras agressões [5], decorrendo daí que as exigências da fachada promovam a estanquidade, de modo a diminuir os problemas associados ao fluxo de ar excessivo, tais como perdas térmicas e velocidades excessivas do fluxo de ar [6], e o aumento do isolamento sonoro da fachada. No entanto, a existência de ventilação é necessária para a remoção dos poluentes e da humidade produzida pela utilização dos edifícios e para garantir os níveis de oxigénio necessários ao metabolismo humano e aos aparelhos de combustão [7], por forma a garantir a qualidade do ar interior.

A fachada é constituída por elementos heterogéneos, sendo os envidraçados os elementos que apesar de muitas vezes ocuparem apenas uma pequena percentagem da fachada, se apresentarem como dos que mais condicionam o desempenho da fachada. Tendo em consideração a importância do comportamento dos envidraçados no comportamento global da fachada, os envidraçados são, portanto, uma das componentes em estudo no presente trabalho.

A ventilação pode ser um processo natural, mecânico ou misto. A ventilação natural é induzida pelo diferencial de pressões, que pode ser do tipo térmico, com origem na diferença de temperatura entre o interior e o exterior, e motivado pelo efeito do vento, devido à conversão da energia cinética do vento em pressão estática sobre a envolvente do edifício [6]. A admissão de ar pela fachada por um processo natural pode ser distinguida em ventilação, associada à renovação controlada ou deliberada do ar, e infiltração, que corresponde à passagem de ar através de juntas e frinchas da construção [8]. A ventilação mecânica é

efetuada com recurso a sistemas mecânicos. O parâmetro usado na avaliação da ventilação do edifício é a renovação de ar por hora, ACH, ou seja, o número de vezes que todo o volume de ar interior de um edifício é renovado no período de uma hora. O valor deste parâmetro, no caso da ventilação natural, está associado à estanquidade da envolvente. A infiltração que ocorre através da fachada pode ser avaliada com recurso ao *Blower Door Test*. O *Blower Door* consiste num ventilador que é aplicado numa das portas ou janelas do edifício. Quando ligado este pressuriza ou despressuriza o interior do edifício, obrigando o ar a passar através de zonas onde ocorram infiltrações [9]. A norma EN 13829:2000 [1] descreve o procedimento a seguir na realização deste ensaio.

O comportamento acústico de uma fachada tem cada vez mais importância devido ao aumento de ruído exterior provocado pelo crescimento e intensificação do ruído de tráfego, e do aumento do nível de ruído proveniente de fontes interiores [10].

No que se refere aos valores de isolamento a sons aéreos nos edifícios, os maiores problemas que se colocam relacionam-se com fachadas que integram elementos com isolamento sonoro diferente, como é o caso de fachadas compostas por parede e envidraçado [11]. Quando existe uma grande diferença de isolamento entre os diferentes elementos, o comportamento global é muito dependente do elemento com menor isolamento [12]. O envidraçado é geralmente um elemento menos isolante que a parede opaca, sendo, por conseguinte, o elemento que mais condiciona o comportamento acústico da fachada. O isolamento sonoro a sons aéreos de uma fachada pode ser estimado analítica ou numericamente ou ainda de modo experimental, nomeadamente através de medições acústicas *in situ*. Para esse efeito, pode ser aplicada a norma NP EN ISO 140-5 [2]. A norma referida permite determinar o isolamento a sons aéreos segundo dois grupos de métodos, o método de elementos e o método global. No presente estudo foi explorado o método global, que determina a redução sonora, real, da fachada, para um dado local, relativamente a um ponto de medição exterior colocado a 2 m dessa fachada [2].

Iordache e Catalina [13] analisaram o comportamento de uma fachada quanto ao isolamento sonoro a sons aéreos e à permeabilidade, tendo por objetivo a obtenção de uma relação entre os fenómenos de transferência de som e de ar através de uma fachada de um edifício, especialmente através de juntas. No estudo realizado verificaram que a relação entre os dois fenómenos é inversa, ou seja, uma maior estanquidade da fachada de um edifício conduz a um menor fluxo de ar infiltrado e a um isolamento sonoro a sons aéreos da fachada superior.

Constata-se, assim, que as janelas são elementos de grande importância no comportamento de uma fachada, tanto do ponto de vista acústico como ao nível de infiltrações de ar num

edifício. A análise destes dois fenómenos e a avaliação da relação entre respostas deve, por isso, ser alvo de estudos.

O presente trabalho pretende, assim, contribuir para a avaliação conjunta do comportamento acústico e do nível de infiltrações da envolvente de edifícios. Para atingir esse objetivo geral foram utilizados resultados de medições de isolamento aos sons aéreos e de *Blower Door Test* efetuados a um conjunto de espaços integrados em edifícios de serviços e também a um conjunto de edifícios residenciais. Ao todo, efetuou-se o estudo de 9 edifícios, 4 de serviços e 5 residenciais. As medições foram realizadas no âmbito de dois projetos do Sistema de Incentivos a Ações Coletivas, promovidos pelo ITeCons [14] [15], tendo havido a necessidade de complementar o estudo com medições adicionais de *Blower Door Test* enquadradas na presente dissertação

1.2 Objetivos

O objetivo do presente trabalho assenta na análise da relação entre comportamento acústico e permeabilidade ao ar. Para a concretização do objetivo foi efetuada a revisão bibliográfica de estudos que acrescentassem valor à motivação do trabalho e onde se pudessem encontrar informações úteis na prossecução deste trabalho.

Procedeu-se ao estudo dos métodos de avaliação do comportamento acústico e da avaliação dos níveis de infiltração. Para avaliação do comportamento acústico foi estudado o método definido na norma NP ISO 140-5:2009 [2], medição *in-situ* do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas, e para avaliação dos níveis de infiltração foi estudado o ensaio de pressurização com recurso ao *Blower Door* de acordo com a norma NP 13829:2000 [1].

Selecionaram-se edifícios com medições úteis para os objetivos do trabalho, ou seja, em que houvesse coincidência de medições (relativas ao comportamento acústico e à permeabilidade ao ar da fachada). Para os edifícios selecionados, foi realizada a caracterização, compilação de dados e, nalguns casos, obtenção de resultados adicionais.

A análise dos resultados foi desenvolvida de forma a tentar relacionar o comportamento acústico, a permeabilidade ao ar e as características do espaço em estudo.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está dividida em 6 capítulos. O presente capítulo, onde foi efetuada a introdução ao tema e aos elementos em estudo. O segundo capítulo é composto pela revisão bibliográfica, com 3 subcapítulos respeitantes ao desempenho acústico, à permeabilidade e à

relação entre a permeabilidade e o desempenho acústico. O terceiro capítulo apresenta a metodologia para o método de pressurização com recurso ao *Blower Door*, e a metodologia para o método de avaliação do isolamento acústico da fachada. No quarto capítulo são apresentados os edifícios analisados e os respetivos resultados obtidos, subdivididos em edifícios de serviços e edifícios residenciais. No quinto capítulo é efetuada a discussão de resultados para os edifícios estudados. Por último, o capítulo 6 apresenta as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tendo em consideração que o presente trabalho pretende relacionar os parâmetros que influenciam o comportamento acústico e a permeabilidade ao ar, é essencial distinguir cada um dos princípios e fenómenos envolvidos e a sua forma de influência no comportamento dos edifícios.

Considerando que os critérios de exigência relativa às condições de conforto no interior de um edifício têm vindo a denotar um acréscimo significativo, são requeridas melhores características das diversas componentes que constituem o edifício. São de considerar como exigências a proteção do ambiente interior relativamente às agressões do exterior: proteção do frio, do ruído, do vento, da chuva, da radiação solar e do calor [5]. Para promover melhores condições de proteção da fachada relativamente ao calor e ao frio, a estanquidade tem sido uma característica cuja relevância tem aumentado [16]. A proteção acústica também é beneficiada com o aumento da estanquidade da fachada [13]. A excessiva estanquidade espoleta uma inadequada renovação de ar do espaço interior que, por sua vez, promove uma diminuição da qualidade do ar, a qual poderá desencadear problemas de saúde aos ocupantes. A ocorrência de excesso de humidade, consequência da inadequada ventilação, pode promover a ocorrência de patologias no edifício - condensações, bolores e fungos [5].

Para que num edifício se assegure uma boa qualidade do ar interior, e uma boa capacidade de isolamento sonoro da fachada, é necessário compatibilizar todas as características desta, de modo a obter uma solução ótima global, em detrimento de uma excelente característica isolada da fachada.

2.1 Desempenho acústico da fachada

Ruído é entendido como sendo o som incomodativo e sem conteúdo informativo [11]. O aumento dos níveis de ruído contribui para a degradação da qualidade de vida. Dos efeitos do ruído na qualidade de vida das pessoas podem-se salientar os seguintes: problemas auditivos, perturbação do sono, efeitos negativos no trabalho, irritabilidade [12], e stress, podendo mesmo originar reações cardiovasculares [17].

Para fazer face ao contínuo aumento das exigências relativas ao nível sonoro, encontram-se atualmente em vigor o Regulamento Geral do Ruído, aprovado pelo DL 9/2007, de 17 de Janeiro [18], e o Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios (RRAE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º.129/2002, de 11 de Maio, alterado e republicado pelo Decreto-Lei n.º. 96/2008, de 9 de Junho [19]. A aplicação deste último regulamento contribui para a melhoria da qualidade do ambiente acústico e para o bem-estar e saúde das populações [19]. A capacidade de isolamento a sons aéreos da fachada de um edifício é avaliada de acordo com o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior do edifício e locais interiores do mesmo, $D_{2m,nT,w}$.

A fachada é, genericamente, constituída por diferentes elementos, distinguindo-se a zona opaca da zona envidraçada: a zona opaca apresenta melhores características quanto à proteção do exterior e a zona envidraçada pode-se caracterizar como um ponto fraco da fachada.

A capacidade de isolamento acústico do elemento envidraçado é menor face à da envolvente opaca. A capacidade de isolamento sonoro do elemento envidraçado é função das características do vidro, da caixilharia e acessórios e, quando existente, da caixa de estore [12]. Pode também ser condicionada pelas juntas na ligação entre o vidro e a caixilharia, e entre a caixilharia e a envolvente opaca da parede. A presença de juntas incorretamente seladas resulta num caminho favorável à passagem dos sons aéreos.

O elemento opaco da fachada pode ver a sua capacidade de isolamento reduzida devido à presença de tubagens embutidas, de dispositivos de ventilação, da camada de reboco muito fina, e de juntas de assentamento do tijolo deficientemente preenchidas [20].

Para a determinação do isolamento sonoro de uma fachada são realizados ensaios *in situ*. Estes ensaios consistem na medição dos níveis sonoros no exterior e interior de um edifício, tendo como fonte de ruído, o ruído ambiente ou o ruído produzido por um altifalante. Consoante a situação em análise existem diferentes metodologias que podem ser aplicadas.

Para o método global com altifalante, a fonte de ruído é constituída por um altifalante, e a medição de nível sonoro exterior é efetuada a 2 metros da fachada, sendo o cálculo da diferença de nível padronizado $D_{2m,nT}$ efetuada de acordo com a equação (1):

$$D_{1s,2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right), \quad (1)$$

em que $L_{1,2m}$ é o nível de pressão sonora exterior, medido a 2 m da fachada, L_2 é a média no espaço e no tempo do nível de pressão sonora no local recetor, ambos em dB, T é o tempo de

reverberação medido no local recetor, em s, e T_0 o tempo de reverberação de referência, em s [2].

A diferença de nível padronizado corresponde a um conjunto de valores em frequência; para a obtenção de um valor único que permita avaliar mais facilmente a capacidade de isolamento sonoro da fachada, é calculado um único valor ponderado de acordo com a norma ISO 717-1 [21]. Para além do valor único são determinados os termos de adaptação aos espectros de ruído rosa e de ruído de tráfego.

No estudo efetuado por Tadeu e Mateus [22] foi analisado o isolamento sonoro de janelas com vidros de diferentes espessuras e diferentes caixilharias. Foram realizados ensaios com um vidro simples de 8 mm de espessura, em que a variável é o tipo de caixilharia: sem caixilharia; com caixilharia de “boa qualidade” bem selada, com dois panos de abrir e reforço central; com caixilharia corrente com características semelhantes ao tipo de caixilharia mais usado em Portugal, com dois panos de correr, com menor massa, e pior comportamento acústico; e com caixilharia corrente, tendo a janela uma abertura de 2 mm. Do estudo foi verificado que existe uma diminuição da capacidade de isolamento sonora do primeiro caso apresentado para o último. Sendo de realçar a diferença do índice de redução sonora de 20 dB para 18 dB provocada pela abertura de 2 mm.

No estudo efetuado por Blasco *et al.* [23], foi analisado o impacto de diferentes materiais no preenchimento das juntas entre a caixilharia e a envolvente opaca e de diferentes tipos de vidro. Foi verificado que, para vidros de baixo desempenho acústico, o caixilho de alumínio não influencia significativamente a performance geral. No entanto, para vidros de alto desempenho a influência é maior. De forma semelhante, a influência do material que preenche as juntas tem mais influência para vidros de alto desempenho. Foram efetuados ensaios de acordo com a norma ISO 140-5 [2], para situações distintas onde as juntas de união entre a parte fixa e móvel da caixilharia, se encontravam totalmente seladas, parcialmente seladas (abertas nos cantos) e não seladas e a diferentes pressões. Naquele estudo foi concluído que a utilização de juntas de vedação contínua não é tão relevante para janelas com junta interna e externa. Sendo, no entanto, muito importante que seja garantida a pressão máxima nas juntas de vedação. A redução em 50% da pressão revelou uma redução de 3 dB no índice de isolamento sonoro da janela. Para os mesmos casos, foi ainda realizada a análise com recurso a um aparelho de medição ultrasónico, que dá indicação das fugas de ar, por sua vez, acústicas, que ocorrem no perímetro da janela.

Kim e Kim [24] efetuaram um estudo, na República da Coreia, que consistiu no ensaio, de acordo com a norma ISO 140-5 [2], de fachadas constituídas por varandas com envidraçados de grandes dimensões, em vários pisos, em dois edifícios novos. Em ambos os casos os

envidraçados eram de correr com vidro duplo de 16 mm de espessura total (5 mm + 6 mm de caixa de ar + 5 mm), e com caixilharia em PVC. A área de envidraçados representa cerca de 40% da fachada adjacente ao quarto e mais de 90% da fachada adjacente à sala de estar. Na fachada adjacente à sala de estar com 8,5 m² (90%) de área de envidraçados o índice de isolamento sonoro, $D_{1s,2m,nT,w}$, obtido variou entre 21 dB e 24 dB, com os termos de adaptação C e C_{tr} a variar, respetivamente, entre -1 e 0 dB e entre -2 e -1 dB. O índice de isolamento sonoro, $D_{1s,2m,nT,w}$, obtido para a fachada adjacente à sala de estar com 10,4 m² de área de envidraçado e para a fachada adjacente ao quarto com 3,4 m² de área de envidraçado foi de 24(-1;-2) dB e 28(-2;-2) dB, respetivamente.

2.2 Permeabilidade ao ar da envolvente

A permeabilidade ao ar da envolvente de um edifício é uma característica importante deste, pois dela dependem outros fatores, tais como, o conforto térmico, qualidade do ar, estratégias de ventilação, e conforto acústico; fatores, que por sua vez, afetam o conforto e produtividade dos utilizadores dos edifícios, assim como a performance energética do edifício [25] [13].

A renovação do ar tem dois modos principais de se processar, de forma natural ou com meios mecânicos. O fenómeno de ventilação está associado à ideia de renovação controlada do ar, enquanto que à infiltração está associado um fenómeno não intencional, mais ou menos limitado, de entrada e saída de ar através de juntas e frinças de construção [8].

Com a crescente preocupação com os gastos energéticos dos edifícios a permeabilidade ao ar da fachada ganhou maior destaque. Em alguns países foram estabelecidos limites para este parâmetro, com o objetivo de redução das perdas térmicas causadas pela infiltração de ar [26]. A energia consumida na Europa, devido à ventilação, é de 30% a 40% da energia consumida para aquecimento de edifícios. Em Portugal pode variar entre 30% e 80% [4]. Em diversos estudos foi concluído que o caudal de infiltração pode representar mais de 50% da energia consumida em aquecimento [13].

Para caracterização do comportamento de um edifício ou divisão relativamente à estanquidade da fachada ao ar pode ser utilizado o método de pressurização. Este ensaio permite efetuar a medição de fugas de ar através da envolvente dos edifícios. Os procedimentos recomendados para a realização dos ensaios com recurso ao *Blower Door* são efetuados de acordo com a norma EN 13829:2000 [1]. Para além deste, existem outros ensaios de avaliação de infiltrações num edifício, por exemplo o método do gás traçador. Trata-se de um método mais preciso, no entanto é mais dispendioso e dependente das condições climáticas [9].

O método de pressurização com recurso ao *Blower Door* consiste em pressurizar e despressurizar um espaço interior de um edifício, ou seja, criar uma diferença de pressão, com intervalos regulares, entre o espaço interior e o exterior e, para cada diferença de pressão, é medido o caudal de ar necessário para manter essa diferença de pressão. A permeabilidade do elemento em análise é obtida por método indireto, através da relação entre caudais em cada patamar de pressão [4].

A relação entre o caudal de ar medido V_L , em m^3/h , e a variação de pressão Δp , em Pa, é definida pela equação (2) [1]:

$$V_L = C_L (\Delta p)^n, \quad (2)$$

onde C_L é o coeficiente de caudal de ar e é determinado pela geometria das aberturas [26]. O expoente de caudal de ar, n , caracteriza o regime de escoamento, e pode variar entre 0,5 para escoamento turbulento e 1,0 para escoamento laminar [4].

As fugas que ocorrem através da envolvente podem ser caracterizadas pela taxa de renovação de ar por hora n_{50} , e é calculado pela razão entre o caudal de ar que atravessa a envolvente à pressão de 50 Pa, em m^3/s e o volume do compartimento, em m^3 [13].

A estanquidade de um edifício depende de vários parâmetros: da tipologia do edifício (uni ou multifamiliar), geometria, área útil de pavimento, área de envolvente, volume interno; componentes do edifício (portas, janelas (caixilharia, juntas vedadas ou não), chaminés, lareiras, tubagem e condutas de climatização ou de sistemas elétricos); materiais e tipo de construção; ano de construção, idade e estado de conservação; ligações ao sótão, cave e garagem; condições climatéricas; e espaço exterior adjacente ao edifício [28] [3] [16].

Sherman e Chan [16] apresentam as características e locais dos edifícios possíveis de ocorrer infiltração, e quais têm mais influência. O ano de construção e o tamanho do edifício são características que têm mais influência na estanquidade do edifício comparativamente com a presença de condutas de aquecimento, o tipo de construção da laje e a localização do edifício. Relativamente ao ano de construção, foi verificado que existe uma diminuição da infiltração desde as construções mais antigas até às construções edificadas por volta de 1980. Edificações posteriores apresentam estanquidade constante. A análise da estanquidade relativamente à idade do edifício enquanto característica de estado de conservação do mesmo, revela que os edifícios recentes são resistentes ao aparecimento de fugas devido à idade, verificando também que não existe uma importante relação entre a duração da ocupação do edifício e a estanquidade. A geometria do edifício também tem influência na estanquidade: regra geral, quanto mais complexa for a geometria, maior a taxa de renovação de ar normalizada pela área

da envolvente à pressão de 50 Pa, ou seja, este parâmetro aumenta. Edifícios com laje construída sobre o solo ou com caves totalmente enterradas têm menores fugas de ar pelo chão. Edifícios em climas mais severos geralmente são mais estanques [16].

De acordo com o documento disponibilizado pela ASHRAE [29], a infiltração ocorrida pelos elementos constituintes do edifício pode ser dividida da seguinte forma: paredes (18 a 50%; 35%), teto (3 a 30%; 35%), sistemas de ventilação de aquecimento e arrefecimento (3 a 28%; 18%), janelas e portas (6 a 22%; 15%), lareiras (0 a 30%; 12%) e aberturas de ventilação (2 a 12%; 5%). Na Figura 2.1 está apresentada a distribuição da taxa de renovações de ar por hora à pressão de 50 Pa para 1024 casas europeias.

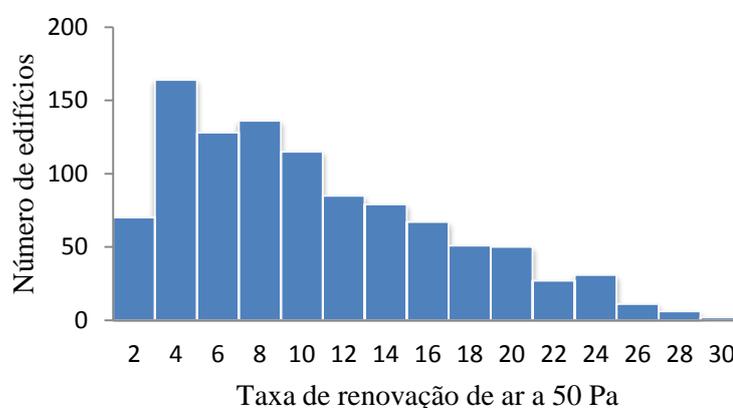


Figura 2.1 – Taxa de renovação de ar em edifícios europeus [29].

Em Portugal, de acordo com informação disponibilizada por Pinto [26] a permeabilidade ao ar da envolvente apresenta valores em média de 2 a 8 renovações de ar por hora (Figura 2.2). As janelas são responsáveis por cerca de 5% a 11% da permeabilidade dos edifícios, e as frinchas na caixa de estores podem ser responsáveis por cerca de 15 a 50% da permeabilidade.

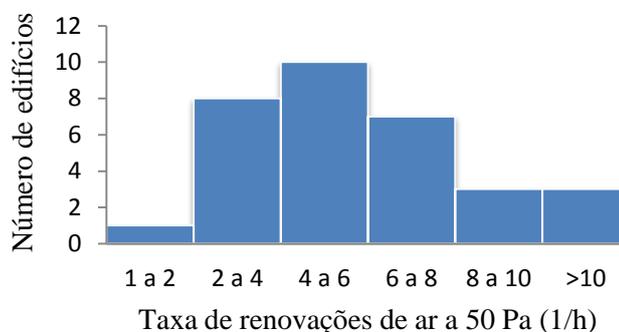


Figura 2.2 – Taxa de renovação de ar em 32 edifícios portugueses [26].

Pinto *et al.* [4] analisaram 5 apartamentos, em Portugal, com o objetivo de caracterizar a permeabilidade dos edifícios e seus constituintes (janelas, portas, caixas de estores e dispositivos de ventilação). O teste foi realizado para duas situações: numa situação, a fachada estava no seu estado normal de uso, numa segunda situação as juntas das janelas foram seladas com fita adesiva. Foi verificado que, apesar de os apartamentos terem todos as mesmas dimensões e características, existe variação da permeabilidade. Essa variação deve-se provavelmente às dimensões das juntas da caixa de estores e da parte inferior das portas exteriores, fatores que dependem muito dos trabalhos de montagem. Os valores obtidos encontram-se dentro da média dos valores referidos na literatura Portuguesa da especialidade. A permeabilidade geral do apartamento pode ser reduzida pelo melhoramento da qualidade da caixa de estore.

Sfakianki *et al.* [30] realizaram medições de estanquidade em 20 edifícios, na Grécia, tendo como objetivo caracterizar os edifícios residenciais do Sul da Europa. A estanquidade foi medida com recurso ao *Blower Door* de acordo com a norma EN ISO 13829 [1], pelo método A. Os edifícios foram caracterizados segundo níveis de estanquidade: para taxas de renovação de ar superiores a 10 h^{-1} , entre 4 h^{-1} e 10 h^{-1} e inferior a 4 h^{-1} o que corresponde, respetivamente, a nível baixo, médio e alto de estanquidade. A maioria dos edifícios obteve a classificação de médio. Foi ainda efetuada uma correlação entre o comprimento total da caixilharia e a estanquidade. Para tal, foi definido o fator FLF (fator de comprimento de caixilharia) definido pela razão entre o comprimento da caixilharia e o volume total do edifício e foi relacionado com a taxa de renovação de ar à pressão de 50 Pa. Foi verificada uma relação linear entre os dois fatores: a renovação de ar por hora à pressão de 50 Pa, aumenta à medida que aumenta o fator de comprimento de caixilharia. Para edifícios com baixa estanquidade o efeito do parâmetro FLF é mais influente.

Alfano *et al.* [28] realizaram medições utilizando o método de pressurização, em 20 edifícios, em Itália. Aquele trabalho teve como objetivo o estudo da influência da estanquidade no consumo energético e no conforto interior para diferentes tipologias arquitetónicas típicas na região do Mediterrâneo. A estanquidade foi analisada em função dos seguintes parâmetros: área de pavimento, área da envolvente, volume interior, tipologia do edifício, tipologia da caixilharia, ano de construção e condições de manutenção. O estudo realizado permitiu efetuar as seguintes verificações: a taxa de renovação horária à pressão de 50 Pa é mais elevada para edifícios construídos antes dos anos 70; quando os sistemas de ventilação natural são selados, a taxa de renovação de ar é 16% inferior, relativamente a quando os sistemas estão fechados; os valores superiores de permeabilidade para a caixilharia de madeira em testes de despressurização relativamente aos valores obtidos para pressurização podem ser relacionados com a fraca selagem da janela; a taxa de renovação de ar é 37,4% menor para uma janela selada comparativamente a uma janela fechada; é possível reduzir

significativamente as perdas de calor por ventilação apenas com o melhoramento da caixilharia, devido à grande influência das janelas; e as janelas com caixas de estores, as chaminés inadequadamente seladas e os sistemas de ventilação natural mal dimensionados são as causas mais críticas para o excesso de ventilação.

2.3 Relação entre a permeabilidade ao ar e o desempenho acústico da fachada

A ventilação e os requisitos de conforto acústico de um edifício estão interligados. Ambas são dependentes das características da fachada. Contudo, as características que promovem a ventilação, não favorecem a capacidade de isolamento sonoro da fachada. Quando se pretende uma solução de fachada com bom isolamento sonoro, esta resulta, em grande parte dos casos, numa solução estanque ao ar. Não se trata portanto, duma solução adequada, pois a excessiva estanquidade pode causar problemas ao nível da qualidade do ar e o aparecimento de patologias construtivas devidas à humidade. [5]

Os elementos de ventilação devem ser projetados tendo em consideração que o isolamento sonoro diminui à medida que se aumenta a área de aberturas na fachada [5]. A existência de aberturas na fachada tem uma influência muito significativa na capacidade de isolamento global da mesma. Tendo como base uma parede dupla típica, com isolamento a sons aéreos de 40 dB, se a mesma tiver uma janela que ocupe 10% da sua área, com a janela totalmente aberta, portanto com capacidade de isolamento sonoro da janela nula, e capacidade de ventilação máxima, o isolamento global da fachada é reduzido para 10 dB(A) [26]. Na Figura 2.4 é apresentada a variação do valor do isolamento sonoro para o espectro de tráfego, em função da área da abertura, onde se pode verificar a existência de um acentuado decréscimo da capacidade de isolamento a sons aéreos da fachada à medida que aumenta a percentagem de aberturas na fachada.

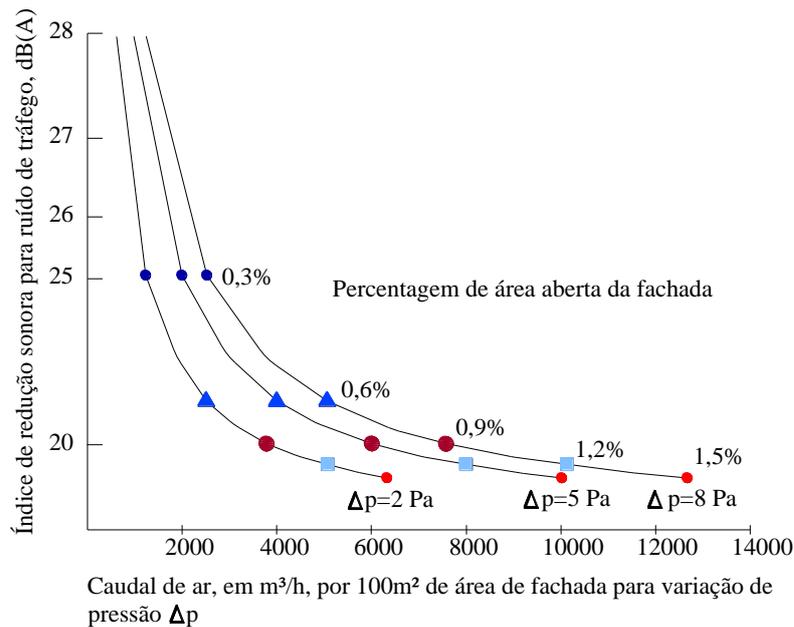


Figura 2.3 – Cálculo do índice de redução sonora para o espectro de ruído de tráfego e do caudal de ar, para uma fachada com isolamento sonoro para o espectro de ruído de tráfego de 40 dB(A) e uma abertura simples; adaptado de [26].

Segundo Patrício [31], na verificação de exigências regulamentares, a caixa de estore de nova geração, geralmente, não é uma condicionante para a verificação dos requisitos de isolamento sonoro da fachada. As grelhas de ventilação são mais suscetíveis de comprometer os referidos requisitos, no entanto a aplicação de grelhas de ventilação não é muito comum na construção nacional.

Uma solução possível para o aumento do isolamento sonoro das caixas de estores sem ventilação é apresentada na Figura 2.4, onde é aplicado material absorvente sonoro no interior da caixa de estore. Na Figura 2.5 é apresentada uma solução para uma caixa de estore com ventilação.

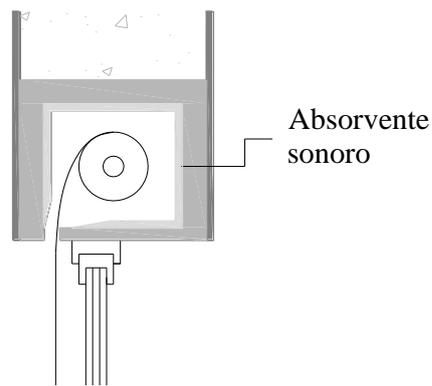


Figura 2.4 – Exemplo de caixa de estore com tratamento acústico; adaptado de [12]

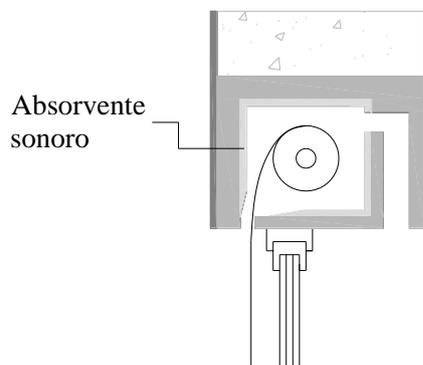


Figura 2.5 – Exemplo de caixa de estore com tratamento acústico e ventilação; adaptado de [12].

Na Figura 2.6 são representados sistemas de ventilação a colocar em janelas.

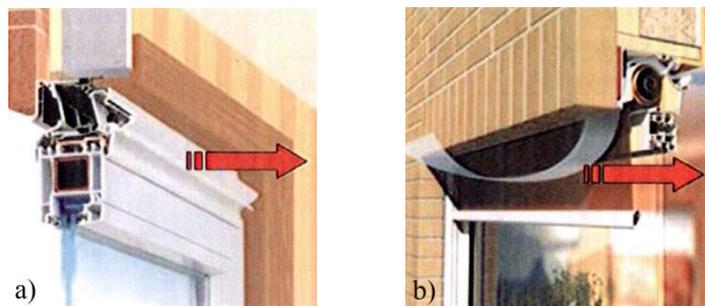


Figura 2.6 – Sistema de ventilação com tratamento acústico a colocar em janelas: a) sem sombreamento; b) com sombreamento pelo exterior integrado na janela; adaptado de [5].

Na Figura 2.7 e Figura 2.8 são representados dois sistemas de tratamento acústico de aberturas para ventilação.

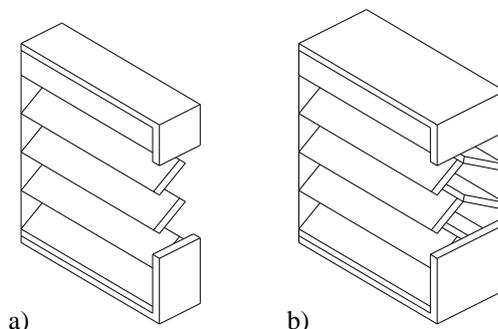


Figura 2.7 – Grelhas acústicas: a) tipo S; b) tipo D; adaptado de [5].

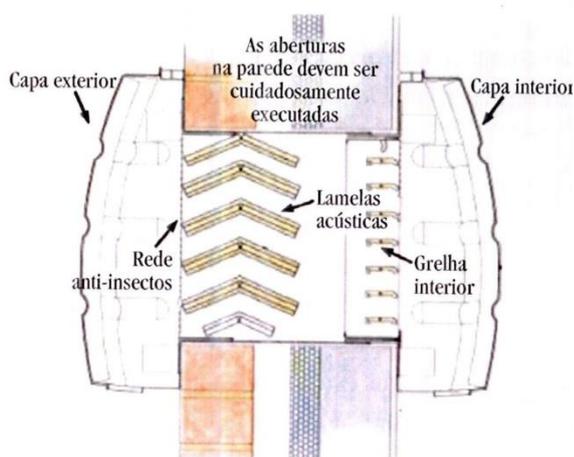


Figura 2.8 – Sistema de ventilação com isolamento acústico a colocar em paredes; adaptado de [5].

No estudo de Salis *et al.* [27] são mencionadas algumas técnicas de ventilação que podem ser utilizadas para o tratamento dos sistemas de ventilação por forma a reduzir o ruído produzido no exterior. Para reduzir o nível sonoro no local recetor pode-se reduzir o ruído produzido na fonte. Quando não é possível tem de se optar por outras soluções. Se se tratar do projeto de novos edifícios, pode-se optar por localizá-los em lugares com menos concentração de ruído, e ter outros cuidados como, por exemplo, colocar as aberturas da ventilação longe do caminho direto do ruído, ou considerar a colocação de barreiras. Quando se pretende tratar diretamente o sistema de ventilação é possível a colocação de uma grelha acústica na abertura. Esta não deverá permitir a passagem direta do som, nem ter grande impacto na capacidade de passagem do ar. É também possível a incorporação de ressoadores na envolvente da abertura,

situação exemplificada na Figura 2.9. Quando existem condutas, o seu tratamento é possível com recurso a métodos passivos, através de materiais constituintes das condutas, por exemplo, e/ou métodos ativos, como o sistema “active noise cancellation”, este sistema é constituído por microfones, micro-processador e um altifalante que produz um sinal que cancela o sinal proveniente do exterior.

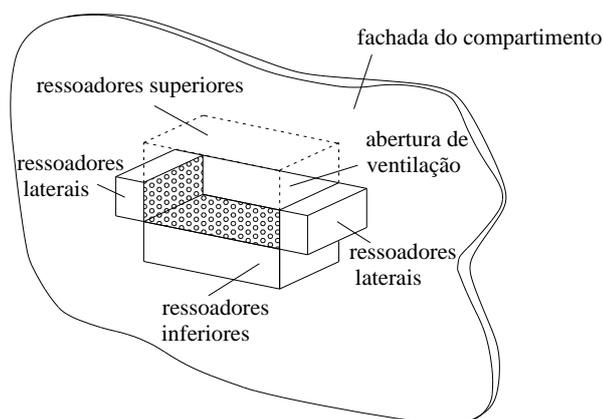


Figura 2.9 – Ressoadores em torno da abertura de ventilação; adaptado de [27].

Barclay *et al.* [32] analisaram a variação da energia para arrefecimento num edifício de escritórios no verão em função da abertura das janelas. A abertura das janelas foi definida em função do nível sonoro máximo tolerado, sendo este de 34 dB(A). Para a definição do grau de abertura das janelas foi calculada a redução sonora da fachada para cada grau de abertura das janelas por uma análise de elementos finitos. Neste estudo foi verificado como os requisitos acústicos de um edifício se podem relacionar com a ventilação natural que, por conseguinte, tem impacto direto na energia gasta para arrefecimento. A abertura das janelas com diferentes amplitudes, conduzindo a um aumento de 10 dB(A) do nível sonoro no interior, permitiu a redução até 45% da energia usada para arrefecimento .

Iordache e Catalina [13] analisaram a relação da existência de aberturas numa fachada com o isolamento acústico e a estanquidade da mesma. O compartimento em análise foi uma sala de um edifício escolar, com fachada voltada para um pátio interior. Esta é constituída por 3 janelas, com caixilharia em madeira e vidro duplo. Foram efetuados ensaios para diferentes situações, nomeadamente, para a situação em que a fachada tinha todas as aberturas visíveis seladas, para a situação em que a fachada se encontrava no seu estado normal de funcionamento, e, posteriormente, com a existência de juntas, em cada situação gradualmente maiores. Para a medição da permeabilidade foi usado o *Blower Door Test* de acordo com a norma europeia EN 13829 [1]. Foram realizadas variações de pressão entre os 20 Pa e 70 Pa com intervalos de 5 Pa; para cada diferença de pressão foi registado o caudal de ar. Para

avaliação da redução sonora da fachada foram concretizadas medições dos níveis sonoros interiores e exteriores e do tempo de reverberação. Foi verificado que os valores da redução sonora obtidos no ensaio e o cálculo da redução sonora da fachada por via teórica não foram similares. A falta de precisão do modelo teórico devido à existência de outros caminhos de transmissão, demonstra que não pode ser efetuada uma estimativa da área de infiltração com base na comparação entre os valores obtidos pela via experimental e teórica. A atenuação sonora da fachada, resultante do ensaio, foi diminuindo do caso com todas as aberturas seladas, para o caso sem aberturas seladas, o que permitiu verificar a dependência do isolamento sonoro de uma fachada a sons aéreos em função da existência de aberturas. A partir do ensaio de estanquidade realizado verificou-se que os menores valores de caudal foram obtidos para o caso com todas as aberturas seladas e os maiores valores para o caso com juntas mais largas não seladas. Correlacionando os dados obtidos nos dois ensaios, registou-se que a capacidade de atenuação sonora da fachada e o caudal de infiltração são inversamente proporcionais. Quanto mais estanque for a fachada, menor infiltração de ar ocorre e maior é o isolamento sonoro a sons aéreos.

3 METODOLOGIA DE ENSAIOS *IN SITU*

3.1 Método de pressurização

O método de pressurização tem como objetivo caracterizar a permeabilidade ao ar de um edifício ou de parte de um edifício, sendo depois possível calcular a taxa de renovação de ar com recurso a métodos de cálculo [1].

3.1.1 Equipamento

Para a realização do ensaio de acordo com a norma EN 13829:2000 [1] é necessária a utilização de um sistema que seja capaz de: criar diferenças de pressão positiva e negativa na envolvente do edifício ou em parte deste, mantendo uma pressão constante no período necessário para realizar a leitura do caudal de ar que assegura essa diferença de pressão; efetuar a medição da pressão com uma precisão de ± 2 Pa numa variação de pressão entre 0 Pa e 60 Pa; a medição de caudal de ar deve ser efetuada com um erro inferior a 7% do valor lido; e a medição da temperatura com uma precisão de ± 1 K [1].

Os equipamentos utilizados na realização dos ensaios de pressurização efetuados no âmbito desta dissertação respeitam as características mencionadas naquela norma. Os ensaios foram realizados com recurso ao equipamento *Retrotec Model 1000 BlowerDoor*. Este é composto por: um ventilador com caudal máximo de 9514 m³/h à pressão de 50 Pa, e uma precisão de $\pm 3\%$ do caudal medido; estrutura de alumínio e pano impermeável para vedar a abertura onde o ventilador é montado; manómetro digital *DM-2 Series 2 Channel Digital Pressure Gauge*, com capacidade de leitura de pressões entre -1250 Pa a +1250 Pa e precisão de 1% da leitura efetuada ou 0,15 Pa (o maior dos valores), este comanda o ventilador e pode ser utilizado em conjunto com o software *Retrotec FanTestic*. A medição da temperatura e da pressão barométrica local foi efetuada com a estação meteorológica *Thommen HM30 meteo station* (com precisão de $\pm 0,3^\circ\text{C}$).

3.1.2 Procedimentos de medição

De acordo com a norma 13829:2000 [1], o ensaio é afetado pelas condições meteorológicas, sendo improvável que ocorra uma diferença de pressão inicial satisfatória quando o produto da diferença de temperatura entre o interior e o exterior, em K, multiplicado pela altura da

envolvente do edifício, em m, resulta num valor superior a 500 mK ou quando a velocidade do vento excede 6 m/s ou grau 3 na escala de Beauford. A escala de Beauford caracteriza a velocidade do vento, o grau 3 é designado de brisa fraca, corresponde a uma velocidade do vento entre 3,6 m/s e 5,4 m/s e tem a seguinte descrição: folhas e pequenos ramos agitam-se e as bandeiras desfraldam ao vento.

Antes de efetuar o ensaio é necessário preparar o edifício, ou parte deste consoante se pretenda ensaiar o edifício ou a parte, nas condições normais de utilização do mesmo (método A) ou ensaiar a envolvente (método B). No caso do método A, as condições da envolvente do edifício devem representar as condições durante a época do ano em que os sistemas de aquecimento ou arrefecimento estão em uso. No método B todas as aberturas intencionais da envolvente do edifício devem ser seladas. No contexto desta dissertação o elemento em estudo é a envolvente do edifício, nomeadamente, os envidraçados. Neste sentido foi utilizado o método B, para que as infiltrações ocorressem essencialmente pelos elementos em estudo. Para a sua concretização foram seladas todas as aberturas intencionais, tais como, sistemas de exaustão e grelhas de ventilação, entre outros.

Tanto no método A como no método B devem-se ter alguns cuidados relativamente ao sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado. Os sistemas de aquecimento com entrada de ar para o interior, sistemas de ventilação e ar condicionado devem ser desligados. Lareiras e locais onde existam brasas ou cinzas devem ser limpos, equipamentos de ventilação mecânica ou ar condicionado devem ser selados e outras aberturas de ventilação, tais como aberturas para ventilação natural devem ser fechadas no método A e seladas no método B.

Após a preparação do edifício para a realização do ensaio procede-se à montagem do equipamento. O equipamento é colocado numa porta, janela ou abertura de ventilação. No caso do equipamento utilizado, *Blower Door*, o equipamento foi sempre instalado em portas. Este dispõe da estrutura metálica que se adapta às dimensões da porta, na qual é colocado o pano impermeável onde se vai aplicar o ventilador, apenas permitindo a passagem de ar através deste. Este sistema permite a eliminação de fugas através de juntas entre o equipamento e o edifício.

A medição da diferença de pressão é geralmente efetuada no andar inferior da zona em consideração do edifício. Esta deve ser realizada de modo a não ser afetada pela influência da movimentação de ar devido ao equipamento. As temperaturas exterior e interior devem ser anotadas para posterior correção da densidade do ar. A velocidade do vento também deve ser registada, sendo determinada com base nos efeitos visuais provocados pelo vento, de acordo com a escala de Beauford.

Antes de se iniciar a pressurização do edifício são feitas leituras das médias da diferença de pressões positiva, $\Delta p_{0,1+}$, e negativa, $\Delta p_{0,1-}$, durante pelo menos 30 segundos; se algum dos valores médios for superior a 5 Pa não se poderá realizar o ensaio. Deve ainda ser registada a média de todos os valores obtidos, $\Delta p_{0,1}$. Este processo designa-se por calibração do transdutor de pressão e deve ser repetido no final do ensaio. No equipamento utilizado, *Blower Door*, este processo consiste em tapar todas as aberturas do ventilador (Figura 3.1), pois a calibração do transdutor de pressão é automática.



Figura 3.1 – Ventilador com todas as aberturas fechadas.

Após o procedimento inicial o equipamento é ligado fazendo variar a diferença de pressão entre o exterior e o interior entre 10 Pa ou 5 vezes o valor da diferença de pressão inicial registada (o maior dos valores de $\Delta p_{0,1+}$ ou de $\Delta p_{0,1-}$) e, pelo menos, 50 Pa (se possível 100 Pa), para uma melhor precisão de resultados, no caso de edifícios pequenos. O registo de caudal de ar é efetuado no máximo de 10 Pa em 10 Pa. No equipamento utilizado este processo consiste em destapar algumas aberturas do ventilador (Figura 3.2); o número de aberturas a destapar depende do caudal e das diferenças de pressão que se pretende alcançar.



Figura 3.2 – Ventilador em funcionamento, com 8 aberturas destapadas.

É recomendado que sejam realizadas medições para a situação de pressurização e para a situação de despressurização, no entanto é possível efetuar apenas uma das medições.

Durante o ensaio é necessário monitorizar se as condições iniciais em que o edifício se encontrava (por exemplo com aberturas seladas), não foram alteradas devido à pressão existente.

3.1.3 Expressão de resultados

Os valores obtidos durante o ensaio referem-se à quantidade total de infiltrações que ocorrem na envolvente. Para que os valores sejam comparáveis com valores obtidos em outras edificações, com diferentes dimensões, é necessário serem normalizados [16].

As infiltrações podem ser normalizadas em relação ao volume interno, área de envolvente e área útil de pavimento.

O volume interno, V , é o volume de ar dentro do edifício ou da parte do edifício onde foram levadas a cabo as medições. É calculado pela multiplicação da área de pavimento pela altura entre o pavimento e o teto (o volume ocupado pelo mobiliário não é subtraído).

A área de envolvente do edifício ou da parte do edifício, A_E , é a soma da área total do chão, paredes e teto que delimitam o volume interno ensaiado. Todas as divisões internas devem ser consideradas, e não se deve subtrair a área de juntas entre paredes, pisos e tetos internos com paredes, pisos e tetos. Em casas geminadas, na área de envolvente é incluída a área correspondente às paredes de divisão. Em apartamentos, em edifícios multifamiliares, a área de envolvente inclui as paredes, pisos e tetos adjacentes a outros apartamentos.

A área útil de pavimento, A_F , é toda a área do piso dos vários andares do volume interno que foi ensaiado.

Para o cálculo do valor da taxa de renovações de ar é necessário aplicar diversas fórmulas fornecidas na norma. O processo de cálculo é de seguida referido.

Para o cálculo da diferença de pressão induzida, Δp , deve-se subtrair a média da diferença de pressão no início e no fim do ensaio, $\Delta p_{0,1}$ e $\Delta p_{0,2}$, para cada diferença de pressões medida, Δp_m , usando a seguinte equação:

$$\Delta p = \Delta p_m - \frac{\Delta p_{0,1} + \Delta p_{0,2}}{2} . \quad (3)$$

Converter as leituras do sistema de medição de caudal de ar, V_r , com o caudal de ar medido, V_m , à temperatura e pressão do equipamento de medição de caudal, de acordo com as especificações do fabricante, segundo a equação,

$$V_m = f(V_r). \quad (4)$$

De acordo com o fabricante do equipamento utilizado, *Retrotec Model 1000 BlowerDoor*, a correção é efetuada segundo a equação (5) e (6), para ensaios de pressurização e despressurização, respetivamente.

$$V_m = V_r \cdot \frac{\bar{\rho}_0}{\rho_e} \quad (5)$$

$$V_m = V_r \cdot \frac{\bar{\rho}_0}{\rho_i}, \quad (6)$$

onde ρ_0 é a densidade do ar à temperatura de correção, ρ_e e ρ_i são as massas volúmicas do ar à temperatura exterior e interior, respetivamente, em kg/m^3 . A temperatura de correção é de 20°C e a massa volúmica do ar é determinada pela equação:

$$\rho = \frac{p_{\text{bar}} - p_v}{287,055(\theta + 273,15)}. \quad (7)$$

Como a norma permite que se despreze a humidade relativa, considerando, assim, que a pressão de vapor parcial, p_v , é nula, da equação (7) obtém-se a equação simplificada (8),

$$\rho = \frac{p_{\text{bar}}}{287,055(\theta + 273,15)}. \quad (8)$$

Para converter o caudal de ar, V_m , em caudal de ar que atravessa a envolvente do edifício é utilizada a equação (9), para pressurização, e a equação (10), para despressurização:

$$V_{\text{env}} = V_m \cdot \frac{\rho_e}{\rho_i} \quad (9)$$

$$V_{env} = V_m \cdot \frac{\rho_i}{\rho_e} \quad (10)$$

Os resultados obtidos são apresentados em forma de gráfico com escalas logarítmicas em ambos os eixos, para cada nível da diferença de pressão. A partir deste gráfico é possível determinar o coeficiente de caudal de ar, C_{env} , e o expoente de caudal de ar, n , de acordo com a equação (11), utilizando uma aproximação pelo método dos mínimos quadrados:

$$V_{env} = C_{env} (\Delta p)^n \quad (11)$$

O coeficiente de fugas de ar, C_L , é determinado a partir da correção do coeficiente de caudal de ar, C_{env} , para as condições padrão (20 °C e $1,013 \times 10^5$ Pa), utilizando as equações (12) e (13), para pressurização e despressurização, respetivamente:

$$C_L = C_{env} \left(\frac{\rho_i}{\rho_0} \right)^{1-n} \quad (12)$$

$$C_L = C_{env} \left(\frac{\rho_e}{\rho_0} \right)^{1-n} \quad (13)$$

O caudal de fugas de ar, V_1 , pode então ser determinado através da equação (2).

Para a pressão de 50 Pa, pressão normalmente utilizada para caracterizar a envolvente de um edifício ou de parte do edifício, pode ser calculado o caudal de fugas de ar, V_{50} , com a seguinte expressão:

$$V_{50} = C_L 50^n \quad (14)$$

Dividindo o caudal de fugas de ar à pressão de 50 Pa, pelo volume interno, V , ou pela área específica, A_E , ou ainda pela área útil, A_F , obtêm-se a taxa de renovações de ar, n_{50} , a permeabilidade, q_{50} , ou a taxa de fugas específica, w_{50} , à pressão de 50 Pa, de acordo com as equações (15), (16) e (17), respetivamente:

$$n_{50} = \frac{V_{50}}{V} \quad (15)$$

$$q_{50} = \frac{V_{50}}{A_E} \quad (16)$$

$$w_{50} = \frac{V_{50}}{A_F} \quad (17)$$

Após os cálculos efetuados, deve ser elaborado um relatório de ensaio, contendo a seguinte informação: identificação e caracterização do edifício e/ou parte dele em estudo, com referência ao objetivo do ensaio (método A ou B); referência à norma e possíveis desvios a esta; descrição do objeto ensaiado; equipamentos e procedimentos; dados e resultados do ensaio; e data do ensaio.

3.2 Método de avaliação do isolamento acústico da fachada

O ensaio de medição do isolamento sonoro da fachada de um edifício é realizado com base na norma NP EN ISO 140-5:2009 [2]. Na referida norma são distinguidos dois métodos: o método dos elementos, que tem como objetivo avaliar a redução sonora de um elemento de uma fachada, por exemplo, uma janela ou uma porta, e o método global que tem como objetivo avaliar a redução sonora da fachada. Cada um destes métodos pode ter como fonte sonora um altifalante ou o tráfego rodoviário. O método utilizado nos ensaios em estudo foi o método global com altifalante, que permite a determinação da redução sonora de uma fachada relativamente a um ponto de medição exterior colocado a 2 m dessa fachada.

3.2.1 Equipamento

O equipamento utilizado no ensaio deve verificar alguns requisitos, tais como: o aparelho de medição do nível de pressão sonora deve verificar os requisitos de um aparelho de classe 0 ou 1; a cadeia de medições deve ser calibrada pela utilização de um calibrador acústico de classe 1 ou superior; a direcionalidade do altifalante, em campo livre, deve promover diferenças locais do nível de pressão sonora, em cada banda de frequência, inferiores a 5 dB, com as medições realizadas sobre uma superfície imaginária com a mesma dimensão e direção do provete de ensaio. Por forma a cumprir o mencionado na norma, os aparelhos utilizados foram os seguintes: sonómetros integradores do tipo 2260, com microfones do tipo 4189, da marca “Bruel & Kjaer”; calibrador de sonómetro, do tipo 4231, da marca “Bruel & Kjaer”; fonte de ruídos aéreos omnidirecional do tipo OMNIPOWER 4292, da marca “Bruel & Kjaer”; fonte direcional de ruídos aéreos, do tipo 4224, da marca “Bruel & Kjaer”.

3.2.2 Procedimentos de medição

De acordo com o tipo de ensaio a realizar, a norma indica diferentes especificações. De seguida, faz-se menção ao processo de ensaio relativo ao método global com altifalante, com bandas de frequência de um terço de oitava.

Para o método referido, a posição do altifalante é escolhida de modo a minimizar a variação do nível de pressão sonora no provete de ensaio. Assim, este deve ser colocado a uma distância de pelo menos 7 m do centro do provete de ensaio e o ângulo de incidência das ondas sonoras deve ser de $(45 \pm 5)^\circ$.

Nos ensaios realizados por bandas de um terço de oitava, devem ser utilizadas frequências centrais de 100 Hz a 3150 Hz, pelo menos. O campo sonoro produzido deve ser estacionário e com um espectro contínuo na gama de frequências consideradas. O nível de pressão sonora estabelecido no local recetor deve ser superior ao nível de ruído de fundo em pelo menos 6 dB. As diferenças de potência sonora em bandas de um terço de oitava relativas a uma determinada banda de oitava não devem ser superiores a 6 dB na banda de oitava de 125 Hz, a 5 dB na banda de 250 Hz, e a 4 dB nas bandas de frequências mais altas.

Tendo por objetivo a obtenção do nível sonoro médio de pressão sonora do campo sonoro estabelecido no local recetor, o microfone deve localizar-se em pelo menos 5 posições, distribuídas uniformemente dentro do espaço disponível e respeitar os seguintes espaçamentos: 0,7 m entre posições do microfone; 0,5 m entre qualquer posição do microfone e as fronteiras ou objetos do local; 1,0 m entre qualquer posição do microfone e a fonte sonora.

De modo análogo ao mencionado anteriormente devem ser realizadas medições com a fonte sonora desligada por forma a determinar o ruído de fundo.

O nível de ruído de fundo, L_b , deve ser, pelo menos, 6 dB (preferencialmente 10 dB) inferior ao nível do sinal de ensaio e do ruído de fundo combinados, L_{sb} , de modo a garantir que os resultados obtidos no local recetor não são afetados por ruído perturbador. No caso de a diferença ser maior que 6 dB e inferior 10 dB, deve ser calculado o nível sonoro corrigido, L , de acordo com equação (18). Se a diferença for menor ou igual a 6 dB, em qualquer banda de frequência, utiliza-se uma correção de 1,3 dB,

$$L = 10 \log \left(10^{\frac{L_{sb}}{10}} - 10^{\frac{L_b}{10}} \right). \quad (18)$$

No local recetor deve ainda ser medido o tempo de reverberação, T , em segundos. Para tal devem ser efetuadas, pelo menos, 6 medições de decaimento, para cada banda de frequências de medição, devendo ser utilizada uma posição da fonte sonora e 3 posições de microfone, com duas leituras em cada caso, para o método de engenharia.

Para as medições realizadas no exterior, o microfone deve localizar-se no centro da face exterior da fachada, a uma distância de $(2,0 \pm 0,2)$ m a partir do centro da fachada ou 1,0 m a partir duma balaustrada ou de outra saliência idêntica. A altura deve ser de 1,5 m acima da cota do pavimento do local recetor.

3.2.3 Expressão de resultados

Com as leituras realizadas é possível efetuar o cálculo da diferença de nível, $D_{1s,2m}$. Esta é a diferença, em decibéis, entre o nível de pressão sonora exterior, medido a 2 m da fachada, $L_{1,2m}$, e a média no espaço e no tempo do nível de pressão sonora no local recetor, L_2 , dada pela equação (19),

$$D_{1s,2m} = L_{1,2m} - L_2 \quad (19)$$

A diferença de nível, em decibéis, que corresponde a um valor de referência do tempo de reverberação no local recetor, é designada por diferença de nível padronizada, $D_{1s,2m,nT}$, e é determinada pela equação (20), onde o tempo de reverberação de referência, T_0 , toma o valor de 0,5 s, no caso de compartimentos correntes, ou outro valor, se especificado em projeto,

$$D_{1s,2m,nT} = D_{1s,2m} + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (20)$$

Do procedimento levado a efeito resulta uma diferença de nível padronizado para cada frequência. Para a obtenção de um valor único ponderado que caracterize o isolamento sonoro da fachada é necessário recorrer ao método descrito na norma ISO 717-1:2013 [21]. O referido valor único ponderado é designado de índice de isolamento sonoro padronizado e corresponde ao valor da curva de referência aos 500 Hz, depois de alterada de acordo com o método seguidamente descrito.

Os valores da diferença de nível sonoro padronizado obtidos para as frequências entre 100 Hz e 3150 Hz, arredondados às décimas, devem ser comparados com os valores da curva de referência, Quadro 3.1. Para tal, altera-se a curva de referência em incrementos de 1 dB até que a soma dos desvios desfavoráveis sejam o maior possível, mas menor ou igual a 32 dB. O desvio desfavorável para uma frequência particular ocorre quando a diferença de nível sonoro

padronizado, $D_{1s,2m,nT}$, é menor que o valor da curva de referência. O valor único, é dado pelo valor correspondente à curva de referência nos 500 Hz.

Quadro 3.1 – Valores de referência para sons aéreos.

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500
L (dB)	33	36	39	42	45	48	51	52
Freq. (Hz)	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
L (dB)	53	54	55	56	56	56	56	56

O índice de isolamento sonoro padronizado é representado da seguinte forma, $D_{1s,2m,nT,w}(C_1;C_2)$, em que C_1 e C_2 representam os termos de adaptação dos espectros 1 e 2, sendo habitualmente referidos por C e C_{tr} . Os termos de adaptação fazem a correção do índice de isolamento sonoro para diferentes tipos de fonte sonora. O espectro 1 corresponde ao espectro de ruído rosa, é aplicado quando a fonte sonora é, por exemplo: atividade humana (falar, música, rádio, televisão, crianças nas escolas), tráfego ferroviário a velocidade média ou elevada, e tráfego rodoviário para velocidades inferiores a 80km/h. O espectro 2 é designado por espectro de ruído de tráfego urbano, e é aplicado quando o tipo de fonte é, designadamente: tráfego rodoviário urbano, tráfego ferroviário a velocidade reduzida, e música de discoteca. Os dois termos de adaptação têm a mesma metodologia de cálculo, diferenciando-se apenas o espectro utilizado em cada um. O espectro 1 e o espectro 2 são apresentados no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Nível sonoro dos espectros 1 e 2, para cálculo dos termos de adaptação.

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500
Espectro 1 (dB)	-29	-26	-23	-21	-19	-17	-15	-13
Espectro 2 (dB)	-20	-20	-18	-16	-15	-14	-13	-12
Freq. (Hz)	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Espectro 1 (dB)	-12	-11	-10	-9	-9	-9	-9	-9
Espectro 1 (dB)	-11	-9	-8	-9	-10	-11	-13	-15

O termo de adaptação do espectro j , C_j , é calculado de acordo com a equação (21), onde X_w corresponde ao índice de isolamento sonoro, e X_{Aj} é calculado de acordo com a equação (22).

$$C_j = X_{Aj} - X_w \quad (21)$$

$$X_{A_j} = -10 \log \sum 10^{(L_{ij} - X_i)/10} \quad (22)$$

Na equação (22), i corresponde à banda de frequência com largura de um terço de oitava entre 100 Hz e 3150 Hz, L_{ij} corresponde aos níveis de pressão sonora para a banda de frequências i e espectro j , e X_i corresponde à diferença de nível sonoro padronizado para a frequência i .

4 EDIFÍCIOS ANALISADOS E CAMPANHAS DE MEDIÇÃO

Nas campanhas de medição foram realizados ensaios relativamente à permeabilidade ao ar de compartimentos específicos e de edifícios como um todo e ensaios de avaliação do isolamento acústico da fachada de compartimentos. O ensaio de permeabilidade foi realizado segundo a norma EN 13829:2000 [1], pelo método B. O ensaio de avaliação do isolamento sonoro da fachada foi efetuado de acordo com a norma NP EN ISO 140-5 [2], pelo método global com altifalante. Os métodos aplicados foram os descritos no capítulo anterior.

Os edifícios em análise podem ser divididos em dois grupos: (1) edifícios de serviços, em que o ensaio de pressurização foi efetuado em um ou mais compartimentos do edifício. Neste caso, avaliaram-se apenas as infiltrações dos compartimentos analisados; (2) edifícios residenciais unifamiliares, em que o ensaio foi realizado em todo o edifício, avaliando deste modo toda a envolvente do edifício.

Nos edifícios de serviços foram analisados compartimentos de quatro edifícios distintos, três edifícios escolares e uma residência de estudantes. Nos edifícios residenciais foram analisadas cinco moradias. Em todos os edifícios foram realizados ensaios de medição do isolamento sonoro da fachada.

Em todos os ensaios de pressurização realizados foi efetuado o registo da temperatura, da pressão barométrica e da velocidade do ar. Todas as medições foram realizadas com velocidades de ar baixas. Segundo a escala de Beaufort o vento classifica-se como calmo, que corresponde ao grau zero.

Nas secções seguintes, para cada edifício ou compartimento analisado, é mostrada uma planta representativa do mesmo. No caso da planta com a representação da posição dos equipamentos do ensaio de isolamento sonoro, esta é apenas uma representação esquemática, não representando a posição real da fonte sonora, ou o local das medições. De salientar que os locais das medições estão representados apenas com um ponto e, na realidade, as medições foram realizadas em mais do que uma posição, segundo as indicações da norma NP EN ISO 140-5:2009 [2]. De modo análogo, a fonte sonora encontra-se representada apenas em uma posição, tendo sido por vezes colocada em mais do que uma posição.

4.1 Edifícios de serviços

Nos edifícios de serviços foram analisados compartimentos de edifícios, nomeadamente de edifícios escolares e de uma residência de estudantes, que se situam em diferentes zonas: Coimbra, Santarém, Vila Real e Bragança.

4.1.1 Edifício escolar localizado em Coimbra: Sala A

O compartimento ensaiado no edifício escolar localizado na zona de Coimbra é uma sala de aulas destinada ao ensino primário. O edifício é uma construção recente, com dois pisos, e encontra-se parcialmente protegido do vento. A sala A (Figura 4.1) localiza-se no piso 0, tem uma área útil de 56,4 m², área de envolvente de 206,1 m² e 169,1 m³ de volume. Tem sistema de ventilação, aquecimento e arrefecimento. A fachada tem uma área de 24 m² dos quais 15,4 m² são área envidraçada, o que corresponde a 64% da fachada. O envidraçado é constituído por caixilharia em alumínio e vidro duplo (vidro exterior laminado com 4+4 mm, lâmina de ar com 10 mm e vidro interior com 6 mm de espessura). A janela é formada por 3 folhas projetantes e 3 de abrir e não possuem caixa de estore. O teto da sala de aula é um teto falso acústico.

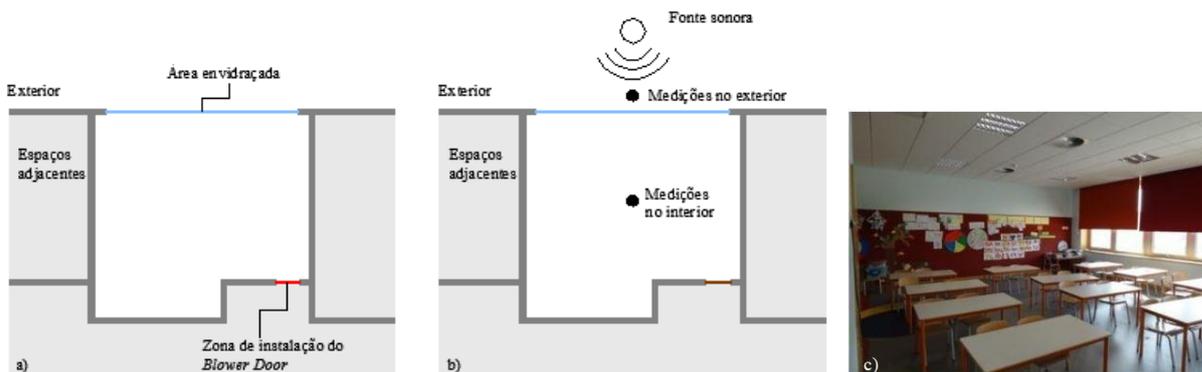


Figura 4.1 – Sala A: a) planta com representação da zona de instalação do equipamento do ensaio de permeabilidade; b) planta relativa ao ensaio de isolamento sonoro com representação esquemática da posição do microfone e da fonte sonora c) fotografia.

Os resultados obtidos para o ensaio de pressurização estão representados no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Resultados do ensaio de pressurização da sala A.

	n_{50} [h^{-1}]		
Pressurização	14,30		
Despressurização	13,50		
Média	13,90		
	V_{50} [m^3/h]	q_{50} [$\text{m}^3/(\text{hm}^2)$]	w_{50} [$\text{m}^3/(\text{hm}^2)$]
Taxas	2350,50	11,40	41,68

Para a fachada da sala A foi realizado o ensaio de isolamento sonoro, os resultados são apresentados no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro da fachada da sala A

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	33,6	24,2	29,4	33,1	32	34,3	35,2	33,7
Freq. (Hz)	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	34,8	35,1	35,1	42,2	46,1	47,9	50,9	45,9

O índice de isolamento sonoro, $D_{1s,2m,nT,w}$, obtido foi de 39 (-1;-3) dB.

4.1.2 Edifício escolar localizado em Santarém: Sala B e gabinete

Na zona de Santarém, foram ensaiados dois compartimentos (uma sala de aulas e um gabinete) pertencentes a um edifício escolar destinado ao ensino primário. Trata-se de uma construção recente, com dois pisos, equipada com sistemas de ventilação e aquecimento. O edifício encontra-se parcialmente exposto ao vento.

A sala de aulas, sala B (Figura 4.2), situa-se no piso 0, apresenta uma porta com abertura para o interior. No teste de pressurização da envolvente, a porta foi selada para não permitir a ocorrência de infiltrações pela mesma. A sala B tem $52,5 \text{ m}^2$ de área útil, $206,1 \text{ m}^2$ de área de envolvente e $154,6 \text{ m}^3$ de volume. A fachada tem $21,54 \text{ m}^2$ sendo 63% de área envidraçada, que corresponde a $13,5 \text{ m}^2$. O envidraçado desenvolve-se como um só, sendo composto por 2 folhas fixas e 6 folhas de correr, com caixilharia em alumínio e vidro duplo (vidro exterior com 6 mm, lâmina de ar com 10 mm e vidro interior com 6 mm de espessura), sem caixa de estore.

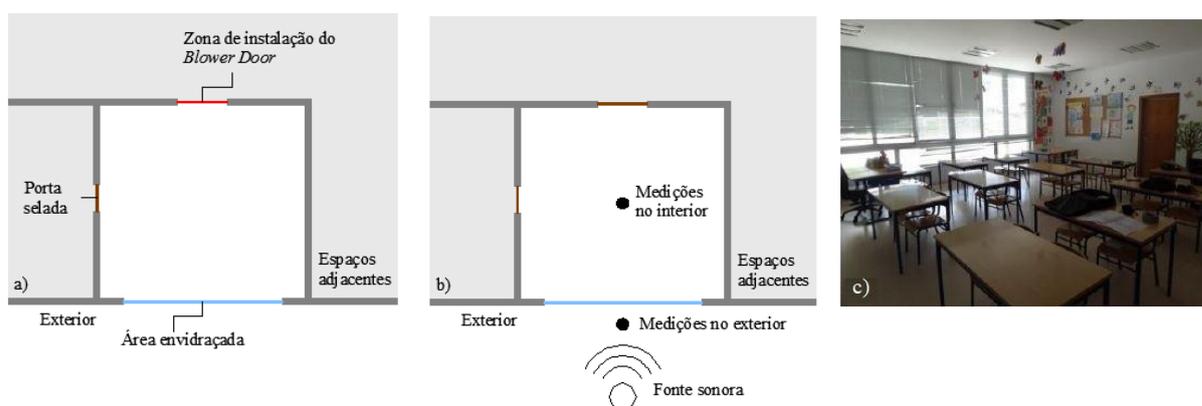


Figura 4.2 – Sala B: a) planta com representação da zona de instalação do equipamento do ensaio de permeabilidade; b) planta relativa ao ensaio de isolamento sonoro com representação esquemática da posição do microfone e da fonte sonora c) fotografia.

Os resultados para o ensaio com recurso ao *Blower Door* e de isolamento sonoro da fachada são apresentados no Quadro 4.3 e no Quadro 4.4, respetivamente.

Quadro 4.3 – Resultados do ensaio de pressurização realizado na sala B.

	n_{50} [h^{-1}]		
Pressurização	5,53		
Despressurização	5,99		
Média	5,76		
	V_{50} [m^3/h]	q_{50} [$\text{m}^3/(\text{hm}^2)$]	w_{50} [$\text{m}^3/(\text{hm}^2)$]
Taxas	890,10	4,71	16,95

Quadro 4.4 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro realizado na sala B.

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	35,9	28,6	24,4	30,6	23	31,7	32	32
Freq. (Hz)	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	29,8	27,4	29,9	29	34,3	34,7	36,1	40,2

O índice de isolamento sonoro obtido foi de 32 (-1;-2) dB.

No mesmo edifício, mas localizado no piso um, foi ensaiado um gabinete de apoio (Figura 4.3); este tem 16,7 m² de área útil, 74,9 m² de área de envolvente e 47 m³ de volume.

Apresenta duas fachadas voltadas para o exterior, uma totalmente opaca com 14,46 m² de área, e outra com 9,60 m² dos quais 68% (6,5 m²) são área de envidraçada. O envidraçado é composto por uma folha de abrir e 3 fixas, com caixilharia em alumínio, vidro duplo (vidro exterior com 6 mm, lâmina de ar com 10 mm e vidro interior com 8 mm de espessura) e não tem caixa de estore.

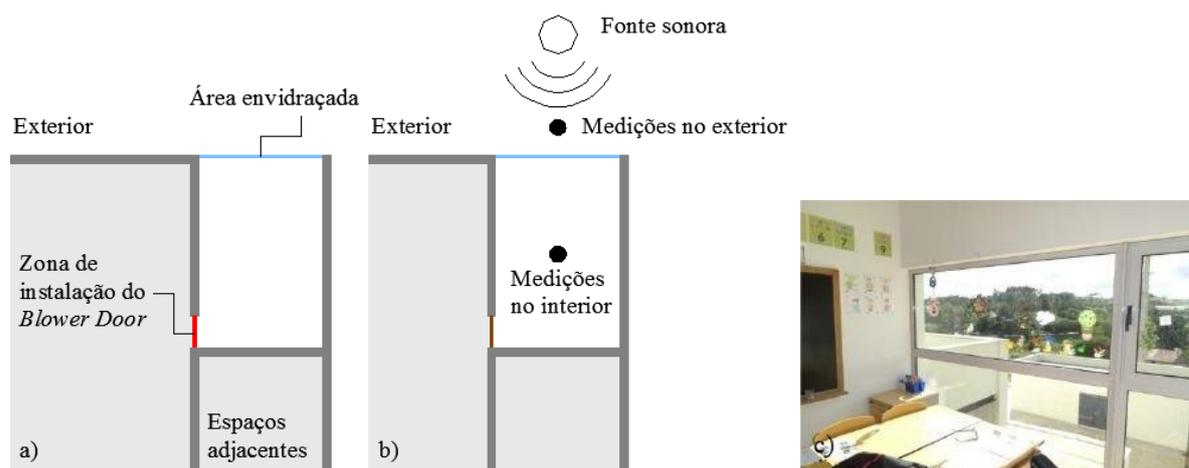


Figura 4.3 – Gabinete: a) planta com representação da zona de instalação do equipamento do ensaio de permeabilidade; b) planta relativa ao ensaio de isolamento sonoro com representação esquemática da posição do microfone e da fonte sonora c) fotografia.

No Quadro 4.5 e no Quadro 4.6 podem-se observar os resultados dos ensaios realizados.

Quadro 4.5 – Resultados do ensaio de pressurização realizado no gabinete.

	n_{50} [h ⁻¹]		
Pressurização	8,40		
Despressurização	8,74		
Média	8,57		
	V_{50} [m ³ /h]	q_{50} [m ³ /(hm ²)]	w_{50} [m ³ /(hm ²)]
Taxas	402,60	5,38	24,11

Quadro 4.6 – Resultados do ensaio de isolamento acústico realizado no gabinete.

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	22,3	17	20	18,2	31,6	28,8	31,6	34,6
Freq. (Hz)	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	34,2	29,6	28	30,3	35,4	36,2	37,1	39,5

O índice de isolamento sonoro obtido para a fachada do gabinete foi de 33 (-2;-5) dB.

4.1.3 Edifício escolar localizado em Vila Real: Salas de aulas C-1 e C-2 e polivalente

Na zona de Vila Real foram analisados 3 compartimentos, duas salas de aulas e uma sala polivalente, tendo sido efetuado o ensaio de pressurização nas salas de aulas e o ensaio de isolamento sonoro na sala polivalente. O edifício é uma construção recente e encontra-se parcialmente exposto ao vento.

As salas de aulas C-1 e C-2 são localizadas no piso 1, uma adjacente à outra, sendo a sala C-1 localizada no extremo do edifício, com 2 paredes para o exterior. O teto é em gesso cartonado com tratamento acústico.

A sala C-1 (Figura 4.4) tem 63,5 m² de área útil, 229,2 m² de área de envolvente e 189 m³ de volume. Das duas fachadas em contacto com o exterior apenas uma das fachadas apresenta envidraçado, tendo esta uma área de 22,68 m², sendo 78% (17,60 m²) de área de envidraçado; a fachada sem envidraçados tem uma área de 28.9 m².

Os resultados do ensaio com o *Blower Door* são apresentados no Quadro 4.7.

Quadro 4.7 – Resultados do ensaio de pressurização realizado na sala C-1.

	n_{50} [h ⁻¹]		
Pressurização	20,21		
Despressurização	21,38		
Média	20,80		
	V_{50} [m ³ /h]	q_{50} [m ³ /(hm ²)]	w_{50} [m ³ /(hm ²)]
Taxas	3930,40	17,15	62,39

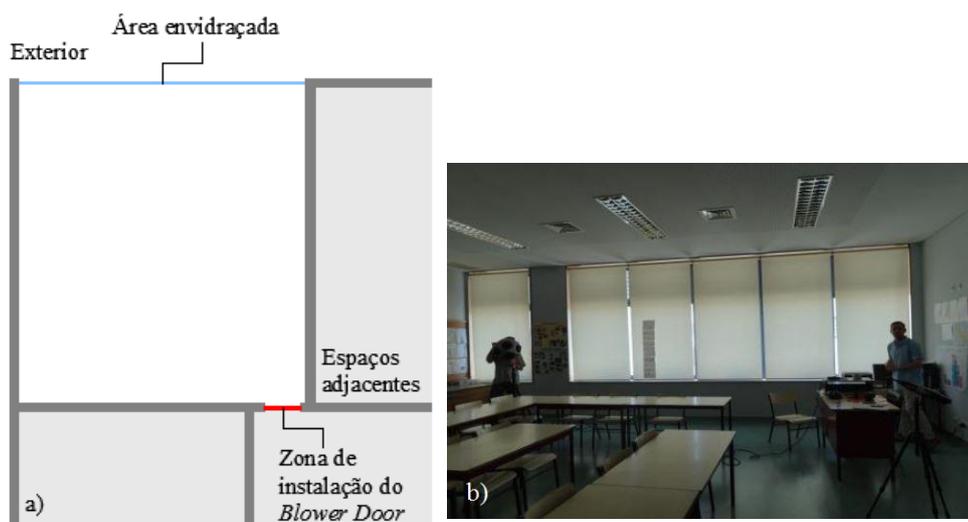


Figura 4.4 – Sala C-1: a) planta com representação da zona de instalação do equipamento do ensaio de permeabilidade; b) fotografia.

A sala C-2 (Figura 4.5) tem $60,5 \text{ m}^2$ de área útil, $224,5 \text{ m}^2$ de área de envolvente e $181,5 \text{ m}^3$ de volume. A fachada tem uma área de $22,5 \text{ m}^2$ sendo 75% ($16,88 \text{ m}^2$) área de envidraçado. Ambas as salas têm envidraçados com sistema fixo e basculante, caixilharia em alumínio e vidro duplo (vidro exterior com 8 mm, lâmina de ar com 10 mm e vidro interior com 6 mm de espessura) e não têm caixa de estore.

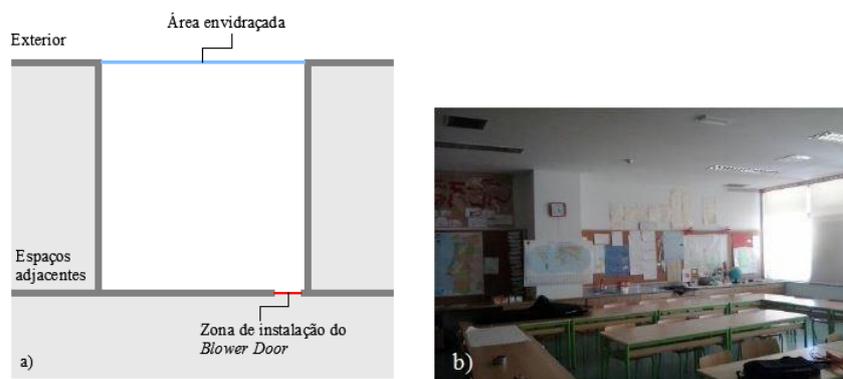


Figura 4.5 – Sala C-2: a) planta com representação da zona de instalação do equipamento do ensaio de permeabilidade; b) fotografia.

Os resultados obtidos a partir do ensaio com recurso ao *Blower Door* são apresentados no Quadro 4.8.

Quadro 4.8 – Resultados do ensaio de pressurização realizado na sala C-2.

	n_{50} [h^{-1}]		
Pressurização	13,92		
Despressurização	14,62		
Média	14,27		
	V_{50} [m^3/h]	q_{50} [$m^3/(hm^2)$]	w_{50} [$m^3/(hm^2)$]
Taxas	2590,10	11,54	42,81

A sala polivalente (Figura 4.6) situa-se no piso 0, tem 130 m^2 de área útil, $412,28\text{ m}^2$ de área de envolvente, 390 m^3 de volume, $85,56\text{ m}^2$ de área de paredes interiores e $66,72\text{ m}^2$ de área de paredes exteriores, tendo a fachada principal uma área de $38,1\text{ m}^2$ com 38% ($14,50\text{ m}^2$) de área de envidraçados. Os envidraçados da fachada principal são constituídos por janelas do tipo basculante, em alumínio e vidro duplo (vidro exterior com 8 mm, lâmina de ar com 10 mm e vidro interior com 6 mm de espessura).

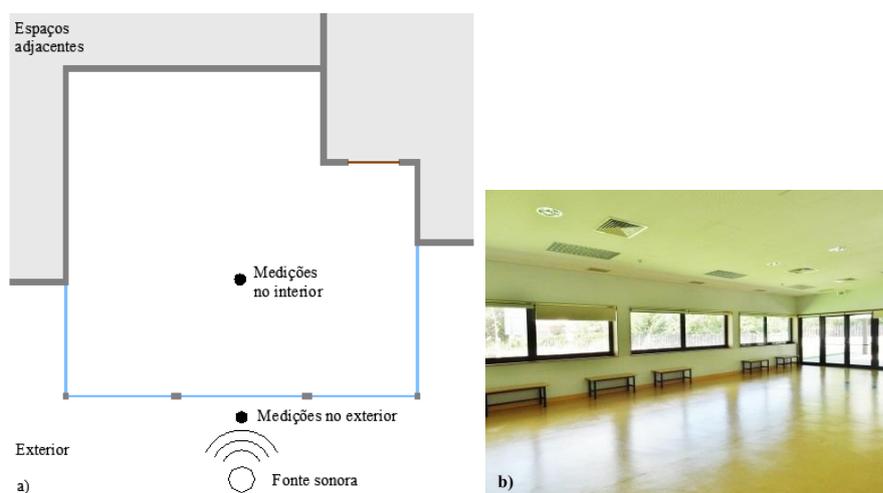


Figura 4.6 – Sala polivalente: a) planta relativa ao ensaio de isolamento sonoro com representação esquemática da posição do microfone e da fonte sonora b) fotografia.

Os resultados obtidos no ensaio de isolamento sonoro da fachada são apresentados no Quadro 4.9.

Quadro 4.9 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro realizado na sala polivalente.

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	27,2	26,6	31,4	29,9	34,8	36,9	37	36,1
Freq. (Hz)	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	40,1	36,8	35,3	38,5	42,8	42,3	48,5	47

O índice de isolamento sonoro obtido foi de 40 (-1;-4) dB.

4.1.4 Residência de estudantes localizada em Bragança: Quartos D-1 e D-2.

Na zona de Bragança foi analisada uma residência de estudantes constituída por 3 pisos, onde se examinaram dois quartos com dimensões e características semelhantes, os quartos D-1 e D-2 (Figura 4.7), tendo sido realizado o ensaio de pressurização no quarto D-1, localizado no piso 1, e o ensaio de isolamento sonoro no quarto D-2, localizado no piso 2. As paredes exteriores do edifício são em alvenaria de pedra e o teto é falso em gesso cartonado. O edifício tem sistema de aquecimento e arrefecimento, ventilação natural e uma lareira localizada no piso 0. Os envidraçados dos quartos analisados são janelas de abrir com caixilho em alumínio e vidro duplo (vidro exterior com 8+8 mm, lâmina de ar com 10 mm e vidro interior com 6 mm de espessura).

O quarto D-1 tem 23,5 m² de área, 110,9 m² de área de envolvente e 64,7 m³ de volume, 28,72 m² de área de parede em contacto com o exterior, dos quais 23,54% (6,76 m²) são área de envidraçado; a área de paredes em contacto com o espaço interior e exterior é igual.

O quarto D-2 tem 25,21 m² de área útil de pavimento, 106,96 m² de área de envolvente e 69,33 m³ de volume. A parede exterior tem uma área de 28,08 m², destes 33,27% (9,34 m²) são área de envidraçado.

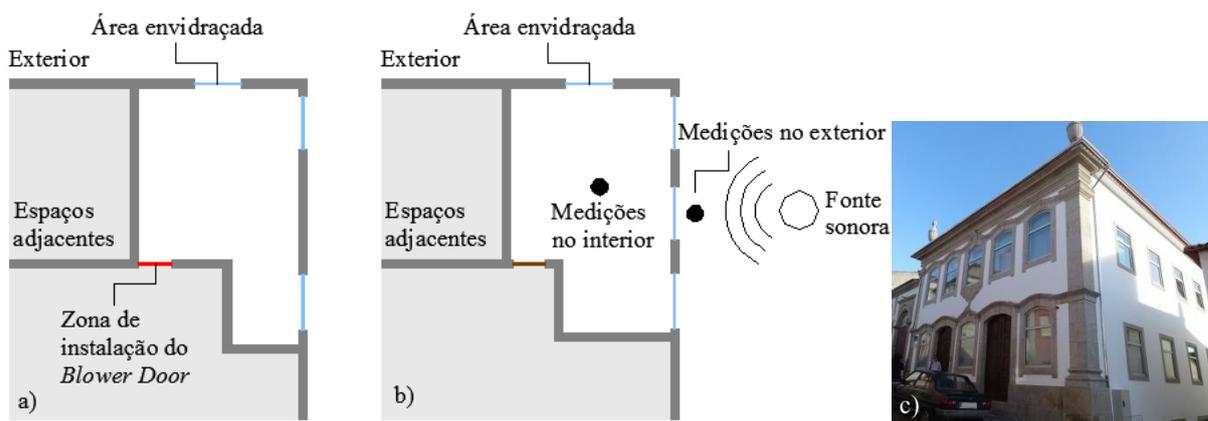


Figura 4.7 – a) quarto D-1: planta com representação da zona de instalação do equipamento do ensaio de permeabilidade; b) quarto D-2: planta relativa ao ensaio de isolamento sonoro com representação esquemática da posição do microfone e da fonte sonora c) fotografia.

Os resultados dos ensaios realizados para os quartos D-1 e D-2 são apresentados no Quadro 4.10 e no Quadro 4.11.

Quadro 4.10 – Resultados do ensaio de pressurização realizado na sala D-1.

	n_{50} [h^{-1}]		
Pressurização	7,66		
Despressurização	7,77		
Média	7,71		
	V_{50} [m^3/h]	q_{50} [$m^3/(hm^2)$]	w_{50} [$m^3/(hm^2)$]
Taxas	499,00	4,50	21,24

Quadro 4.11 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro realizado no quarto D-2.

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	22,9	24,6	21,6	23,5	33,5	38,2	42,3	39,2
Freq. (Hz)	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	41,1	39,5	39,7	41,5	44,1	44,2	44,8	46,2

O índice de isolamento sonoro obtido para o quarto D-2 foi de 41 (-3;-7) dB.

4.2 Edifícios residenciais unifamiliares

No presente ponto estão integrados edifícios residenciais, nos quais foi analisado todo o edifício quanto à permeabilidade da envolvente e algumas divisões do mesmo quanto ao isolamento sonoro.

4.2.1 Moradias geminadas E e F

Na zona de Aveiro, foram analisadas duas moradias geminadas, moradia E e moradia F (Figura 4.8), com dimensões e características semelhantes. Têm 3 pisos e localizam-se numa zona altamente exposta ao vento. A moradia E tem uma área útil de 225,3 m², 572,5 m² de área de envolvente e 675,9 m³ de volume. A moradia F tem uma área útil de 223,7 m², 572,5 m² de área de envolvente e 671,2 m³ de volume. Uma das paredes exteriores dos edifícios encontra-se em parte em contacto com o edifício adjacente. A área total das fachadas exteriores, para um edifício, é de 271,81 m², sendo 32% (85,95 m²) área de envidraçados. Os vãos envidraçados são de abrir em alumínio e com vidro duplo (vidro exterior com 6 mm, lâmina de ar com 12 mm e vidro interior com 5 mm de espessura). As moradias possuem lareira no piso intermédio, sistema de ventilação e de aquecimento.

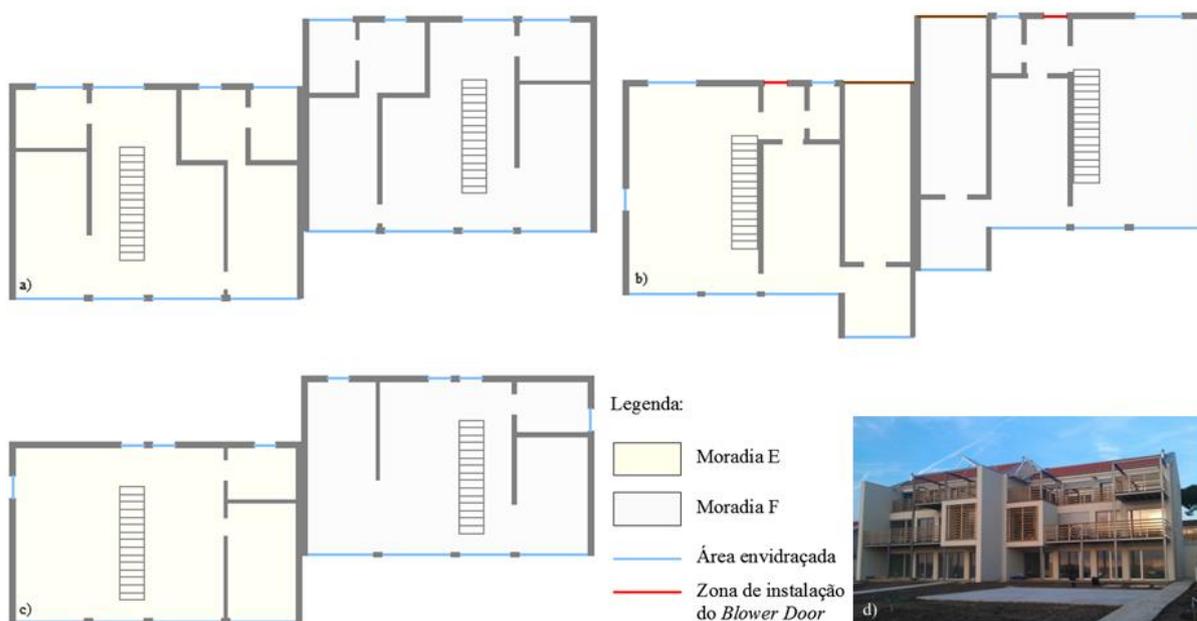


Figura 4.8 – Moradias E e F: a) piso 0; b) piso 1; c) piso 2; d) fotografia.

Os resultados obtidos para as moradias E e F estão apresentados no Quadro 4.12

Quadro 4.12 – Resultados do ensaio de pressurização realizado nas moradias E e F.

	n_{50} [h^{-1}]					
	E		F			
Pressurização	0,53		0,43			
Despressurização	0,56		0,46			
Média	0,54		0,45			
	V_{50} [m^3/h]		q_{50} [$m^3/(hm^2)$]		w_{50} [$m^3/(hm^2)$]	
	E	F	E	F	E	F
Taxas	366,90	299,80	1,63	1,34	0,64	0,52

O isolamento sonoro foi determinado para 3 compartimentos da moradia F: sala F, quarto F-1 e quarto F-2; na Figura 4.9 encontram-se representadas os compartimentos analisados.

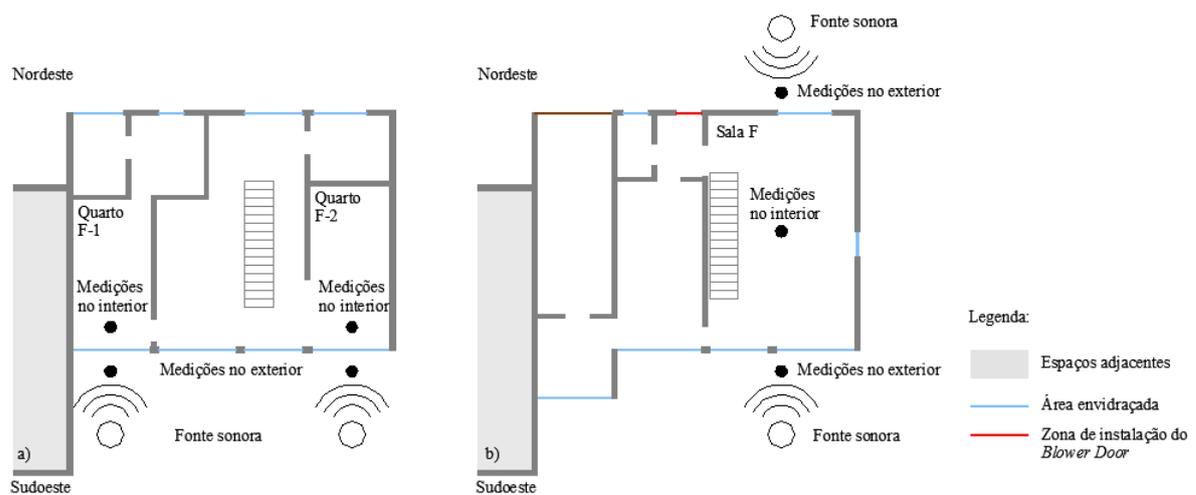


Figura 4.9 – Moradia F, planta relativa ao ensaio de isolamento sonoro com representação esquemática da posição do microfone e da fonte sonora: a) piso 0; b) piso 1.

Na sala F, localizada no piso 1, foi determinado o isolamento sonoro da fachada para as paredes orientadas a nordeste (NE) e a sudoeste (SO). A sala tem uma área útil de $43,68 m^2$, as fachadas orientadas a nordeste e a sudoeste têm a mesma área, $47 m^2$. A área de envidraçados é de $1,7 m^2$ (12%), na fachada orientada a nordeste, e $10,8 m^2$ (79%), na fachada orientada a sudoeste. Os resultados obtidos para a fachada orientada a nordeste encontram-se no Quadro 4.13, e para a fachada orientada a sudoeste no Quadro 4.14.

Quadro 4.13 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro realizado na fachada orientada a nordeste da sala F.

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	34,9	32,9	38,2	38,6	38,6	37,5	38,1	35,5
Freq. (Hz)	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	36,7	34,7	41,3	47,8	39,9	45,9	51,8	52,5

Quadro 4.14 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro realizado na fachada orientada a sudoeste da sala F.

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	30,2	27,3	24,4	27,2	26,4	28,7	31	35,8
Freq. (Hz)	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	37,1	38,4	38,5	37,9	39,8	40,9	47,5	47,3

O índice de isolamento sonoro da fachada da sala orientada a nordeste foi de 41 (-1;-2) dB e, para a fachada orientada a sudoeste, foi de 37 (-1;-2) dB.

O quarto F-1 tem 15,93 m² de área útil, 7,38 m² de área de fachada, dos quais 6,1 m² (78%) são área de envidraçados. O quarto F-2 tem 15,33 m² de área útil, 7,50 m² de área de fachada, dos quais 6,3 m² (79%) são área de envidraçados. No Quadro 4.15 e no Quadro 4.16 encontram-se os resultados obtidos para o quarto F-1 e F-2, respetivamente.

Quadro 4.15 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro realizado no quarto F-1.

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	32,2	18	28,5	26,2	30,6	34,6	35,5	37
Freq. (Hz)	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	37,6	43,7	40,5	41,5	44	44,4	46,2	47,6

O índice de isolamento sonoro da fachada do quarto F-1 foi de 40 (-2;-6) dB.

Quadro 4.16 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro realizado no quarto F-2.

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	32,6	22,5	29,3	29,5	29,7	34,8	33,7	36,1
Freq. (Hz)	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	40,3	42,4	41,7	40,4	41,2	44,5	47,4	51,5

O índice de isolamento sonoro da fachada do quarto F-2 foi de 40 (-1;-4) dB.

4.2.2 Moradia em banda G

Na zona de Portalegre foi analisada a moradia G, ilustrada na Figura 4.10, com dois pisos e localizada na zona histórica. Encontra-se entre dois edifícios de dimensões semelhantes, apresenta apenas uma fachada com aberturas para o exterior, e encontra-se altamente protegida do vento. A fachada tem 3 janelas e uma porta (na qual foi aplicado o sistema para a realização do ensaio de pressurização). As janelas são de abrir, em madeira e com vidro duplo (vidro exterior com 4 mm, lâmina de ar com 7 mm e vidro interior com 3 mm de espessura), com uma área total de 2,9 m², que corresponde a 11% da área de fachada (25,6 m²). O edifício tem 51,4 m² de área útil, 164,5 m² de área de envolvente e 142 m³ de volume.

O ensaio de isolamento sonoro foi efetuado no quarto do primeiro piso. Este tem 14,87 m² de área útil, 68,75 m² de área de envolvente, 41,04 m³ de volume, 9,12 m² de fachada dos quais 22% (2 m²) são área de envidraçada.

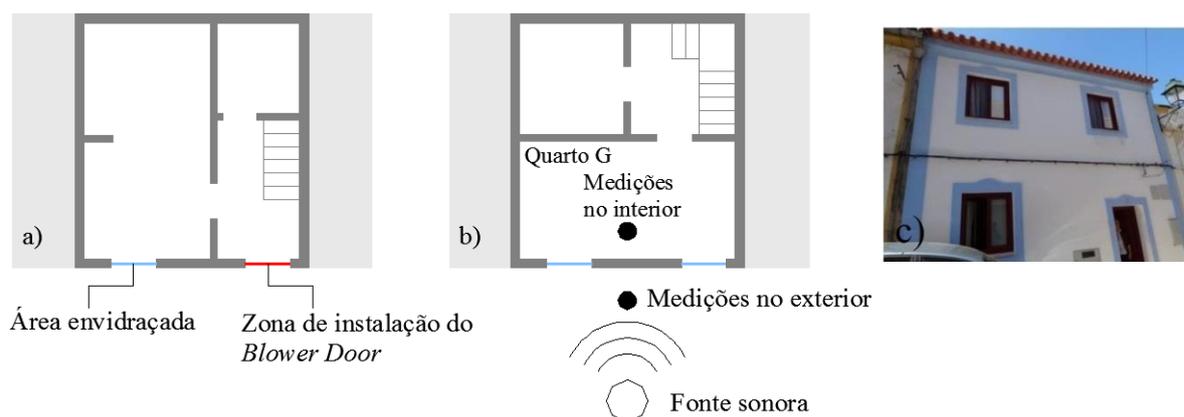


Figura 4.10 – Moradia G: a) piso 0: planta com representação da zona de instalação do equipamento do ensaio de permeabilidade; b) piso 1: planta relativa ao ensaio de isolamento sonoro com representação esquemática da posição do microfone e da fonte sonora c) fotografia.

Os resultados obtidos para o ensaio com o *Blower Door* encontram-se no Quadro 4.17.

Quadro 4.17 – Resultados do ensaio de pressurização realizado na moradia G.

		n50 [h-1]		
Pressurização		3,84		
Despressurização		3,43		
Média		3,64		
		V ₅₀ [m ³ /h]	q ₅₀ [m ³ /(hm ²)]	w ₅₀ [m ³ /(hm ²)]
Taxas		516,20	3,14	10,03

Os resultados obtidos do ensaio de isolamento sonoro da fachada do primeiro piso são apresentados no Quadro 4.18.

Quadro 4.18 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro realizado no quarto G.

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500
D _{1s,2m,nT} (dB)	20,5	23,6	25	27,6	27,8	25,3	25,7	30,1
Freq. (Hz)	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
D _{1s,2m,nT} (dB)	28,4	30,8	26,9	23,1	27,6	26,7	26,2	25,1

O índice de isolamento sonoro para a fachada do quarto G foi de 27 (-1;-1) dB.

4.2.3 Moradia em banda H

A moradia H (Figura 4.11 e Figura 4.12) localiza-se na zona de Coimbra, faz parte de um conjunto de moradias geminadas, com dois pisos e sótão, e encontra-se parcialmente exposta ao vento. Os envidraçados ocupam uma área de 18,84 m², são constituídos por 7 portas de abrir e uma janela de correr em alumínio e com vidro duplo. O edifício possui sistema de aquecimento.

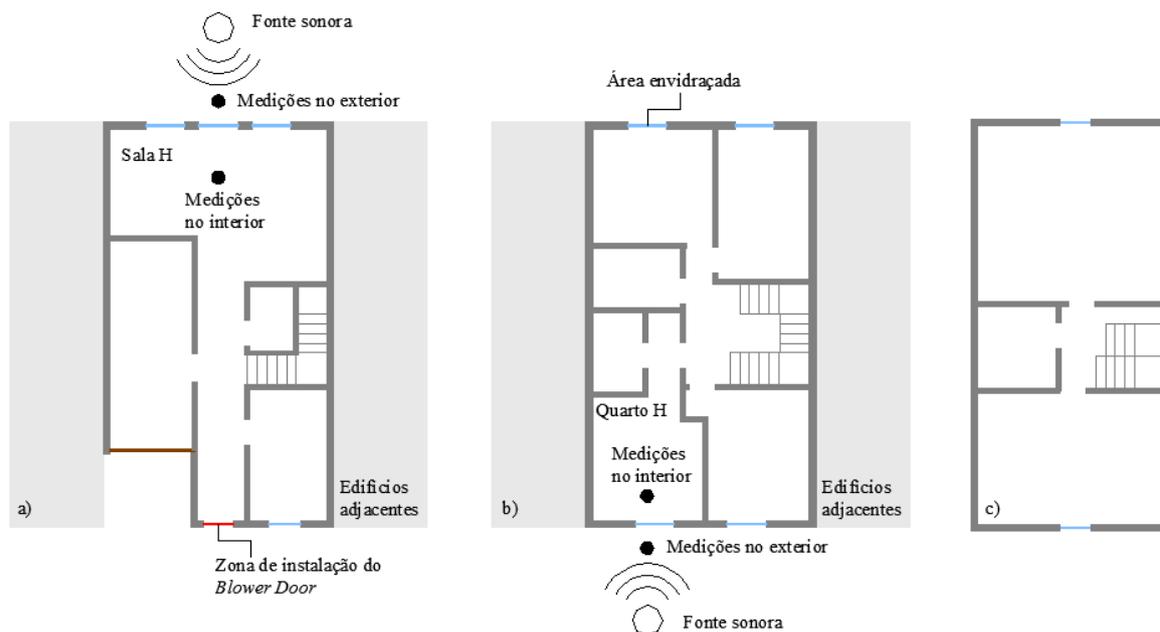


Figura 4.11 – Moradia H: a) piso 0: planta com representação da zona de instalação do equipamento do ensaio de permeabilidade e planta relativa ao ensaio de isolamento sonoro com representação esquemática da posição do microfone e da fonte sonora; b) piso 1: planta relativa ao ensaio de isolamento sonoro com representação esquemática da posição do microfone e da fonte sonora c) planta piso 2.

Para a moradia H foram analisadas duas situações. Numa primeira situação, H-1, efetuou-se o ensaio de pressurização com o portão da garagem fechado (porta interior de acesso à garagem aberta), Figura 4.13 a); numa segunda situação, H-2, analisou-se com o portão da garagem aberto (com a porta interior de acesso à garagem fechada), Figura 4.13 b). A realização de ensaios, para as duas situações distintas, teve como objetivo verificar a influência do portão da garagem na permeabilidade do edifício.



Figura 4.12 – Fotografia da moradia H: a) fachada principal; b) portão de acesso à garagem fechado; c) portão de acesso à garagem aberto; d) porta interior de acesso à garagem.

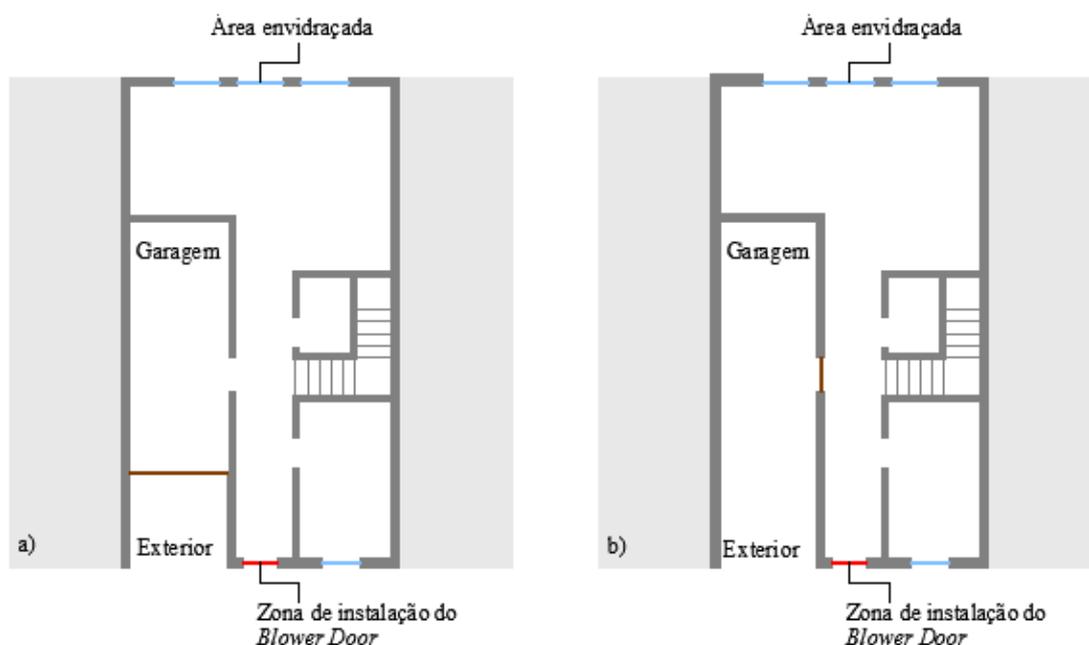


Figura 4.13 – Planta com representação da zona de instalação do equipamento do ensaio de permeabilidade na moradia H, piso 0: a) caso H-1; b) caso H-2.

A moradia H, caso H-1, tem $224,1 \text{ m}^2$ de área útil, $375,80 \text{ m}^2$ de área de envolvente, $520,43 \text{ m}^3$ de volume e $101,44 \text{ m}^2$ de área paredes em contacto com o exterior, sendo 19% área de envidraçados. Para caso H-2, a área útil de pavimento é de $204,7 \text{ m}^2$; a área de envolvente é de $356,4 \text{ m}^2$; e o volume é de $469,9 \text{ m}^3$.

Para cada caso são apresentados, no Quadro 4.19, os resultados obtidos no ensaio de pressurização.

Quadro 4.19 – Resultados do ensaio de pressurização realizado na moradia H.

	n_{50} [h^{-1}]					
	H-1		H-2			
Pressurização	1,71		1,60			
Despressurização	2,51		1,66			
Média	2,12		1,63			
	V_{50} [m^3/h]		q_{50} [$m^3/(hm^2)$]		w_{50} [$m^3/(hm^2)$]	
	H-1	H-2	H-1	H-2	H-1	H-2
Taxas	1102,20	765,90	4,92	3,74	2,93	2,15

Quanto ao isolamento sonoro da fachada foi analisada a fachada do quarto H, localizado no piso 1, e da sala H, localizada no piso 0. O quarto H tem $13,7 m^2$ de área útil, $8,10 m^2$ de área de fachada, dos quais $2,51 m^2$ (31%) são área de envidraçados. A sala H tem $29,8 m^2$ de área útil, $17,94 m^2$ de área de fachada dos quais $7,36 m^2$ (41%) são área de envidraçados.

Os valores de isolamento sonoro obtido para as fachadas do quarto e da sala são apresentados no Quadro 4.20 e no Quadro 4.21.

Quadro 4.20 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro realizado no quarto H.

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	35,8	27,2	22,7	27,7	30,6	28,4	36,2	38,2
Freq. (Hz)	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	44	41,5	46,5	45,9	48	51,6	47,9	46,3

Quadro 4.21 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro realizado na sala H.

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	31,3	29	19,9	20,4	25,7	28,7	29,5	32,2
Freq. (Hz)	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	36,5	41,2	40,6	44,5	46,1	48,4	47,3	43

O índice de isolamento sonoro foi de 41(-2;-5) dB e de 37(-2;-5) dB, para o quarto H e sala H, respetivamente.

4.2.4 Moradia isolada I

A moradia I (Figura 4.14), também localizada na zona de Coimbra, encontra-se altamente exposta ao vento. O edifício tem 4 pisos, possui sistema de aquecimento e arrefecimento e os dois pisos inferiores são zonas não úteis. Por esse motivo, a avaliação da estanquidade do edifício foi realizada apenas para os 2 pisos superiores e parte de um dos pisos inferiores. Devido à existência de elevador no edifício, foram analisadas duas situações, uma com a porta do elevador selada apenas nos pisos não úteis (2 pisos inferiores), I-1, e uma segunda, em que todas as portas do elevador foram seladas, I-2. Em ambas as situações o sistema do *Blower Door* foi montado numa porta interior que faz a separação entre o espaço útil e o espaço não útil, no piso 0. A moradia I apresenta um teto falso em gesso cartonado e os envidraçados em alumínio com vidro duplo (vidro exterior com 8 mm, lâmina de ar com 16 mm e vidro interior com 6 mm de espessura), de abrir e fixos.



Figura 4.14 – Fotografias da moradia I: a) fachada principal e lateral; b) instalação do *Blower Door*; c) porta de elevador selada.

A moradia I, caso I-1 (Figura 4.15), tem área útil de 252,1 m², uma área de envolvente de 541,6 m² e 715,0 m³ de volume. A área de paredes exteriores é de 312,78 m², sendo 50,07 m² (16%) área de envidraçados.



Figura 4.15 – Moradia I, situação I-1: a) piso 2: planta relativa ao ensaio de isolamento sonoro com representação esquemática da posição do microfone e da fonte sonora; b) planta piso 1; c) piso 0: planta com representação da zona de instalação do equipamento do ensaio de permeabilidade; d) planta piso -1.

Os resultados obtidos encontram-se no Quadro 4.22.

Quadro 4.22 – Resultados do ensaio de pressurização realizado na moradia I, situação I-1.

	n50 [h-1]		
Pressurização	2,15		
Despressurização	2,34		
Média	2,25		
	V_{50} [m ³ /h]	q_{50} [m ³ /(hm ²)]	w_{50} [m ³ /(hm ²)]
Taxas	1606,70	2,97	6,37

No caso da moradia I, I-2, Figura 4.16, apenas foi efetuada a despressurização. Esta tem 249,5 m² de área útil, 585,5 m² de área de envolvente e 683,9 m³ de volume.

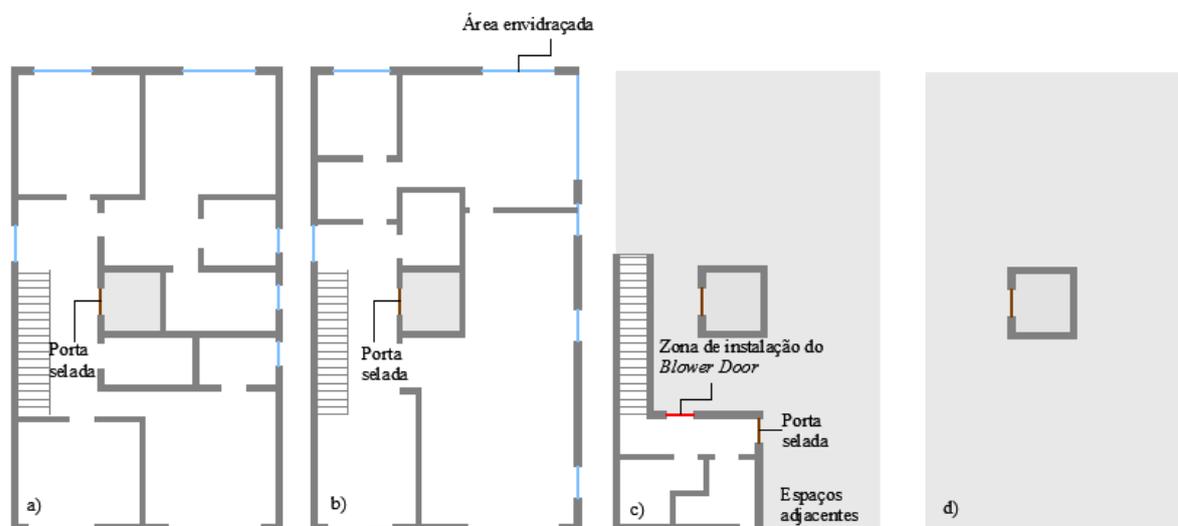


Figura 4.16 – Moradia I, situação I-2: a) planta piso 2; b) planta piso 1; c) piso 0: planta com representação da zona de instalação do equipamento do ensaio de permeabilidade; d) planta piso -1.

Os resultados obtidos encontram-se no Quadro 4.23.

Quadro 4.23 – Resultados do ensaio de despressurização realizado na moradia I, situação I-2.

	n_{50} [h ⁻¹]	V_{50} [m ³ /h]	q_{50} [m ³ /(hm ²)]	w_{50} [m ³ /(hm ²)]
Despressurização	2,17	1485,50	2,54	5,95

O isolamento sonoro foi determinado para a fachada do quarto I, localizado no piso 2. Esta tem 11,1 m² de área, sendo 5,8 m² (49%) de área de envidraçado. O quarto tem 18,7 m² de área útil, 85,6 m² de área de envolvente e 48,7 m³ de volume.

Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 4.24.

Quadro 4.24 – Resultados do ensaio de isolamento sonoro realizado no quarto I.

Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	32,7	26	23,2	21,5	30,9	31	34,7	38,1
Freq. (Hz)	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
$D_{1s,2m,nT}$ (dB)	33,2	36,1	31,1	39,5	41	39,2	37,7	38,4

O índice de isolamento sonoro obtido foi de 36 (-1;-4) dB.

5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A presente dissertação tem como objetivo avaliar em conjunto resultados de medições de isolamento aos sons aéreos e de medições de testes de pressurização (determinação da permeabilidade ao ar da envolvente). O comportamento acústico é avaliado através do isolamento sonoro da fachada, nomeadamente, pelo índice de isolamento a sons aéreos, $D_{1s,2m,nT,w}$. A permeabilidade ao ar é avaliada pela taxa de renovações de ar à pressão de 50 Pa, n_{50} . Existem, no entanto, outras taxas que avaliam a permeabilidade ao ar. Estas foram apresentadas como resultado do ensaio de pressurização. Contudo, não se desenvolveu a sua análise no presente ponto, pelo facto de as taxas apresentarem semelhantes comportamentos, não acrescentado informações adicionais.

Para avaliação da relação entre o comportamento acústico das fachadas, a permeabilidade ao ar e as características dos edifícios foram elaborados diferentes gráficos. Estes relacionam o índice de isolamento sonoro, a taxa de renovações de ar, a área de envidraçados, a percentagem de envidraçados em função da área de fachada, e a área de envolvente. Em alguns gráficos, são apresentadas linhas de tendência, com a finalidade de facilitar a interpretação da distribuição dos resultados obtidos.

Para que o comportamento acústico da fachada e a permeabilidade ao ar tenham a influência de características análogas, o ensaio de isolamento sonoro e o ensaio de pressurização devem ser elaborados no mesmo compartimento. Tal verificou-se em 3 dos compartimentos analisados pertencentes aos edifícios de serviços, como se pode verificar no Quadro 5.1. Nos edifícios residenciais, o ensaio de pressurização foi realizado para todo o edifício, e o ensaio de isolamento sonoro para um ou mais compartimentos do mesmo. Nos edifícios residenciais com mais do que uma fachada caracterizada acusticamente, optou-se por determinar o valor global ponderado energeticamente em função da tipologia das soluções ensaiadas, de modo a encontrar um valor único que representasse acusticamente o edifício. Quando o ensaio de isolamento sonoro foi realizado em apenas uma fachada, considera-se que esse valor representa o edifício.

Quadro 5.1 – Quadro resumo dos resultados obtidos.

Edifícios de serviços						
Edifício	Compartimento	n_{50} [h ⁻¹]	$D_{1s,2m,nT,w}(C;C_{tr})$ [dB]	$A_{\text{útil}}$ [m ²]	$A_{\text{envidraçado}}$ [m ²]	$A_{\text{envidraçados}}/A_{\text{fachada}}$
Edifício escolar Coimbra	Sala A	13,90	39(-1;-3)	56,4	15,4	64%
Edifício escolar Santarém	Gabinete	8,57	33(-2;-5)	16,7	6,5	68%
	Sala B	5,76	32(-1;-2)	52,5	13,5	63%
Edifício escolar Vila Real	Sala C-1	20,80		63,00	17,6	78%
	Sala C-2	14,27		60,50	16,9	75%
	Sala Polivalente		40(-1;-4)	63,00	14,5	38%
Residência de Estudantes Bragança	Quarto D-1	7,71		23,50	6,8	24%
	Quarto D-2		41(-3;-7)	25,21	9,3	33%
Edifícios residenciais						
Edifício		n_{50} [h ⁻¹]		$A_{\text{útil}}$ [m ²]	$A_{\text{envidraçado}}$ [m ²]	$A_{\text{envidraçados}}/A_{\text{fachada}}$
Moradia E		0,54		225,3	86,0	32%
Moradia F		0,45		223,7	86,0	32%
Moradia G		3,64		51,5	2,9	11%
Moradia H	H-1	2,12		224,1	18,8	19%
	H-2	1,63		204,66	18,8	16%
Moradia I	I-1	2,25		252,14	50,1	17%
	I-2	2,17		249,46	50,1	17%
Edifício	Compartimento		$D_{1s,2m,nT,w}(C;C_{tr})$ [dB]	$A_{\text{útil}}$ [m ²]	$A_{\text{envidraçado}}$ [m ²]	$A_{\text{envidraçados}}/A_{\text{fachada}}$
Moradia F	Sala F-NE		41(-1;-2)		1,7	12%
	Sala F-SO		37(0;-3)	43,68	10,8	79%
	Quarto F-1		40(-2;-6)	15,93	6,1	78%
	Quarto F-2		40(-1;-4)	17,10	6,3	79%
Moradia G	Quarto G		27(-1;-1)	14,87	2,0	22%
Moradia H	Quarto H		41(-2;-5)	13,70	2,5	31%
	Sala H		37(-2;-5)	29,80	7,4	41%
Moradia I	Quarto I		36(-1;-4)	18,50	5,8	49%

5.1 Edifícios de serviços

As taxas de renovação de ar obtidas para os compartimentos dos edifícios de serviços apresentam valores elevados. Nomeadamente, o valor que se apresenta para a sala A, sala C-1 e sala C-2. Tendo em consideração as características destas salas, tal pode verificar-se devido à existência de teto falso acústico. A elevada ocorrência de infiltrações de ar pelo teto falso acústico, pode dever-se, por exemplo, à existência de condutas de passagem de instalações com comunicação com outras divisões ou mesmo com o exterior, na zona superior ao teto falso. A confirmação destas situações não se revelou, contudo, possível durante as visitas técnicas aos locais.

A influência de envidraçados com sistema de batente na permeabilidade da envolvente, em virtude do tipo de abertura e fechamento das caixilharias, pode ser registada através de diferenças superiores a $0,5 \text{ h}^{-1}$ entre os valores das taxas de renovações de ar para depressurização e pressurização. Diferenças superiores a $0,5 \text{ h}^{-1}$ são observadas para a sala A ($-0,8 \text{ h}^{-1}$), para a sala C-1 ($1,17 \text{ h}^{-1}$) e para a sala C-2 ($0,7 \text{ h}^{-1}$). Como estas salas têm janelas de batente, com abertura para o exterior, no caso da sala A, e para o interior, nas salas C-1 e C-2, a diferença entre a taxa de renovação de ar para pressurização e depressurização, pode justificar-se devido ao sistema de batente adotado nestes casos.

Da análise do comportamento da taxa de renovações por hora e do isolamento sonoro em função da percentagem de área de fachada envidraçada, Figura 5.1, é possível verificar que, à medida que aumenta a percentagem de envidraçados, aumenta a taxa de renovação horária de ar e diminui o índice de isolamento sonoro da fachada. O quarto D-1 apresenta um maior desvio em relação aos outros compartimentos, tal pode dever-se às características deste serem distintas dos edifícios escolares: tipo de material de construção das paredes exteriores (alvenaria de pedra) e tipo de envidraçados (várias janelas de pequenas dimensões).

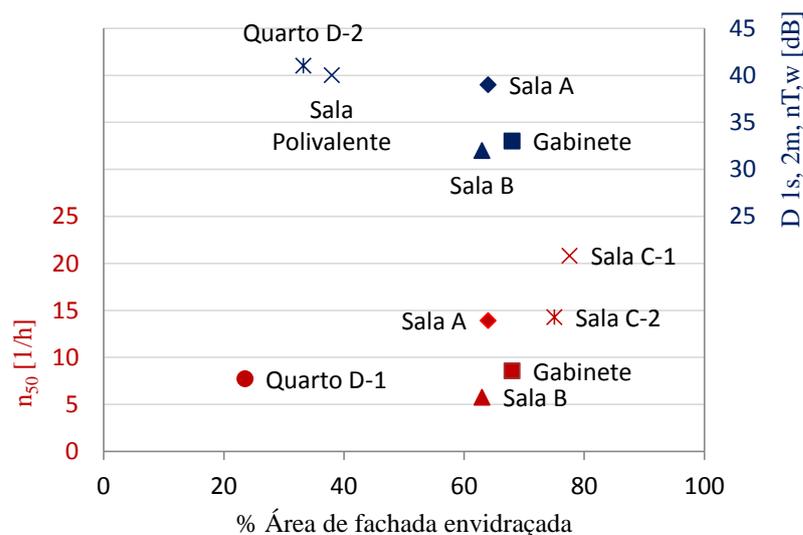


Figura 5.1 – Representação gráfica da taxa de renovação de ar e do índice de isolamento sonoro em função da percentagem de área de fachada envidraçada para edifícios de serviços.

Da análise do gráfico que relaciona os parâmetros em estudo com a área de envidraçados, na Figura 5.2, é possível verificar que, à medida que a área de envidraçados aumenta, a taxa de renovação de ar também aumenta, embora o mesmo não se verifique para o índice de isolamento sonoro, sendo estes valores mais dispersos.

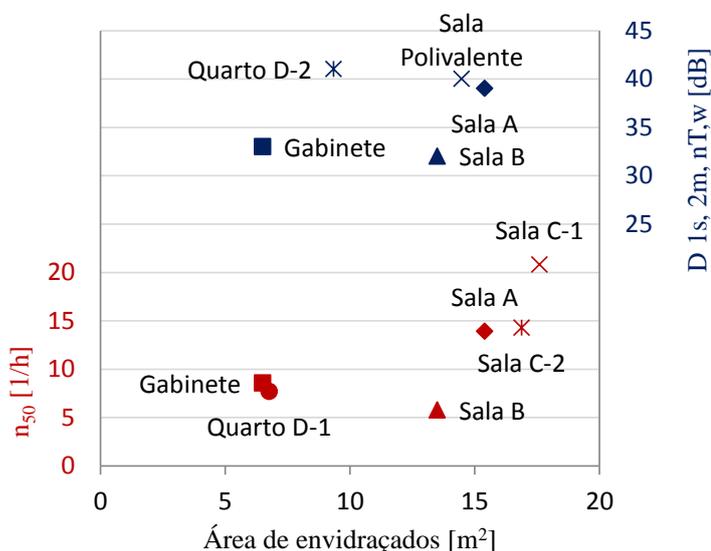


Figura 5.2 – Representação gráfica da taxa de renovação de ar e do índice de isolamento sonoro em função da área de envidraçados para edifícios de serviços.

Na Figura 5.3 é possível verificar que à medida que, aumenta a área de envolvente, a taxa de renovação de ar também aumenta; comportamento semelhante foi verificado para a área de fachada, para a área de paredes e volume, pelo que não se considerou necessária a apresentação dos respetivos gráficos.

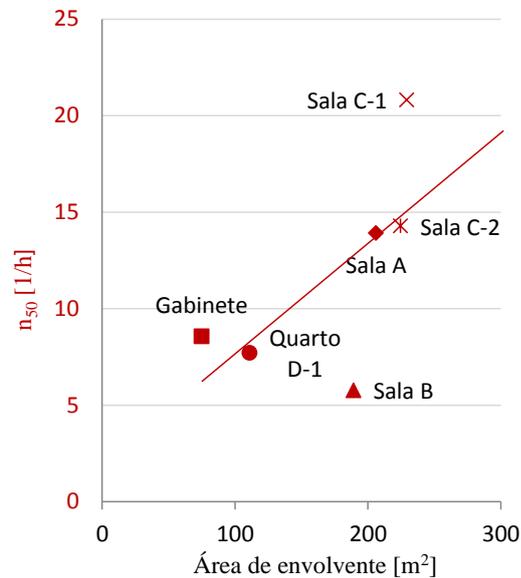


Figura 5.3 – Representação gráfica da taxa de renovação de ar em função da área de envolvente para edifícios de serviços.

Na Figura 5.4 é apresentada a relação entre a taxa de renovação de ar e o índice de isolamento sonoro para os compartimentos onde se verifica a coincidência da medição dos dois parâmetros mencionados (sala A, sala B e gabinete). Como se pode observar, quanto maior a taxa de caudal de ar, maior o índice de isolamento sonoro, o que não se encontra de acordo com o esperado. Apesar de ser uma pequena amostra, este facto permite pressupor que, nos edifícios analisados, a fachada não é o elemento que mais influencia a permeabilidade do compartimento.

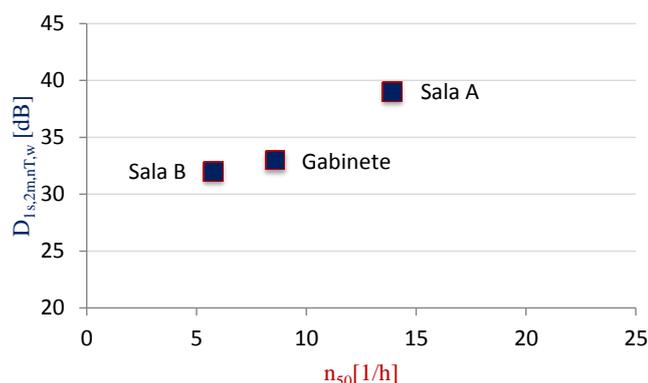


Figura 5.4 – Representação gráfica do índice de isolamento sonoro em função da taxa de renovação de ar para edifícios de serviços.

5.2 Edifícios residenciais

Para a análise da taxa de renovação de ar, obtida para a globalidade do edifício, e do índice de isolamento sonoro, obtido para a fachada de um ou mais compartimentos, foi necessário considerar um valor que caracterize, ainda que da forma mais condicionante, o comportamento sonoro da fachada envolvente exterior de todo o edifício. A seleção dos compartimentos para a avaliação do desempenho acústico da fachada observou os critérios de amostragem do RRAE, editados pelo LNEC, considerando as soluções acusticamente mais desfavoráveis.

Para as moradias F e I, onde apenas foi efetuado o ensaio de isolamento sonoro da fachada de um compartimento, foi admitido que o valor obtido na fachada desse compartimento representa o comportamento acústico da fachada de todo o edifício. Para as moradias E e G, onde foram realizados ensaios em mais do que um compartimento, o valor que caracteriza o comportamento acústico da fachada de todo o edifício foi determinado com base na ponderação logarítmica dos índices de isolamento sonoro obtidos para os compartimentos ensaiados, em relação às áreas de fachada com características que mais se assemelham à fachada dos compartimentos ensaiados. Nesse sentido, para os edifícios residenciais, os valores representativos do comportamento acústico da fachada encontram-se no Quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Isolamento sonoro ponderado para edifícios residenciais.

Edifício	$D_{2m,nT,w}$ [dB]
Moradia F	40 (-1;-3)
Moradia G	27 (-1;-1)
Moradia H	39 (-2;-5)
Moradia I	36 (-1;-4)

Relativamente ao ensaio de permeabilidade da moradia H, foram analisadas duas situações, como já foi anteriormente mencionado. Da análise dos valores da taxa de renovação de ar obtidos para as duas situações verifica-se que estes apresentam uma diferença de $0,49 \text{ h}^{-1}$, tendo em consideração as diferenças existentes nas características da envolvente, a diferença obtida é justificada pela diferença de juntas existentes nas portas de acesso ao exterior (portão de garagem e porta interior de madeira), sendo estas visivelmente maiores no portão de garagem, caso H-1.

A diferença entre a depressurização e a pressurização nos edifícios residenciais apenas é superior a $0,5 \text{ h}^{-1}$ no edifício H, situação H-2, que toma o valor de $0,8 \text{ h}^{-1}$. Tendo em consideração que o mesmo não se verifica na situação H-1 ($0,06 \text{ h}^{-1}$), a diferença verificada deve-se ao portão de garagem, não tendo o tipo de abertura dos envidraçados significativa influência na taxa de renovação de ar.

A moradia I foi objeto de duas situações de ensaio, sem e com as portas de acesso ao elevador seladas (caso I-1 e I-2). Para a taxa de renovação de ar para depressurização, a diferença obtida entre os dois casos resulta no valor de $0,17 \text{ h}^{-1}$. A diferença registada demonstra que ocorrem infiltrações de ar pelo poço do elevador, não sendo, no entanto, o principal responsável pela ocorrência das mesmas.

Para a observação do comportamento acústico da fachada e da permeabilidade em função das características dos edifícios foram elaborados gráficos, que se apresentam abaixo. Quando o objetivo se trata de analisar a relação entre os dois parâmetros, é utilizado o índice de isolamento sonoro da fachada estimado para todo o edifício.

Ao analisar o gráfico que representa a taxa de renovação de ar e o índice de isolamento sonoro em função da percentagem da área de fachada envidraçada, Figura 5.5, verifica-se que o índice de isolamento sonoro da fachada de todo o edifício aumenta e a taxa de renovação de ar diminui à medida que aumenta a percentagem da área de fachada envidraçada. Comportamento análogo é verificado para a relação entre a área de envidraçados, na Figura 5.6. Tal permite verificar que, para a amostra analisada, a área de envidraçados não é fator preponderante nos resultados da taxa de renovação de ar, n_{50} .

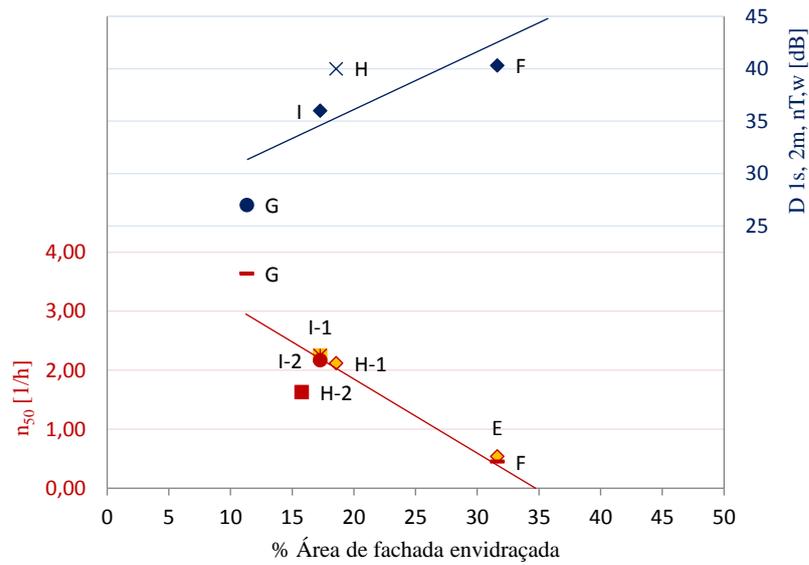


Figura 5.5 – Representação gráfica da taxa de renovação de ar e do índice de isolamento sonoro em função da percentagem de área de fachada envidraçada para edifícios residenciais.

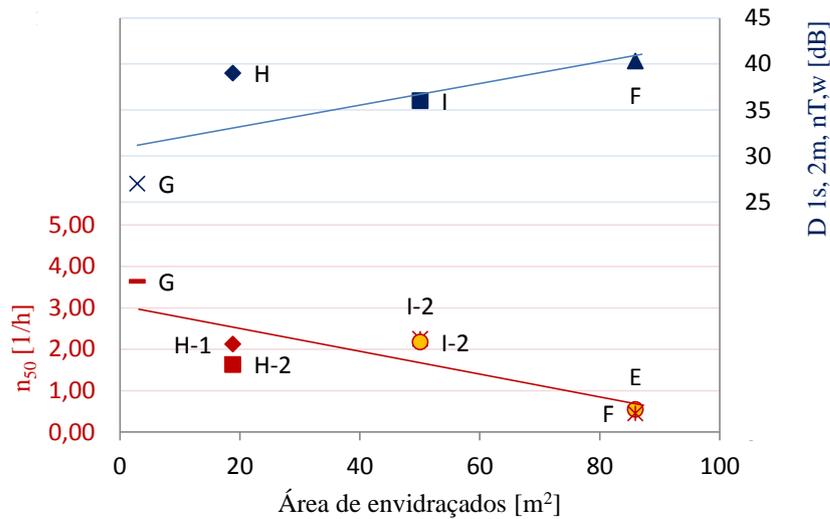


Figura 5.6 – Representação gráfica da taxa de renovação de ar e do índice de isolamento sonoro em função da área de envidraçados para edifícios residenciais.

Comportamento semelhante ao verificado anteriormente é observado no gráfico que relaciona os parâmetros mencionados em função da área de envolvente, Figura 5.7.

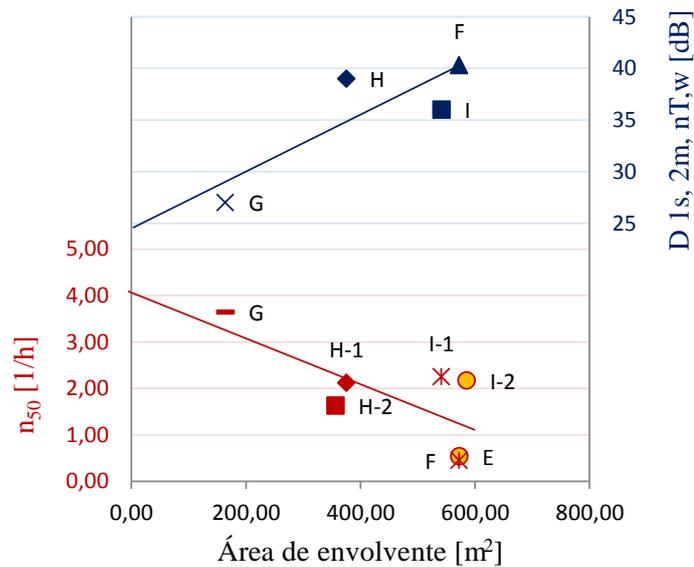


Figura 5.7 – Representação gráfica da taxa de renovação de ar e do índice de isolamento sonoro em função da área de envolvente para edifícios residenciais.

Na Figura 5.8 é apresentada a relação entre a taxa de renovação de ar e o índice de isolamento sonoro; estes parâmetros têm uma tendência de relação inversa, tal como se tem vindo a verificar, isto é, à medida que aumenta a taxa de renovação de ar, diminui o índice de isolamento sonoro.

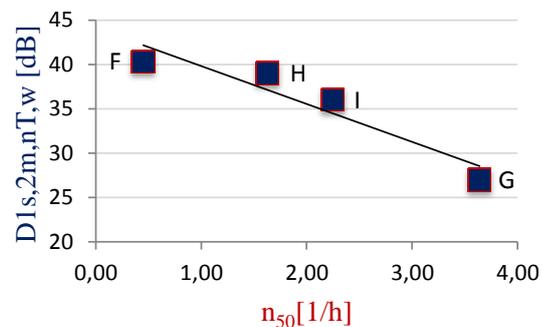


Figura 5.8 – Representação gráfica do índice de isolamento sonoro em função da taxa de renovação de ar para edifícios residenciais.

5.3 Edifícios de serviços e residenciais.

Relativamente ao índice de isolamento sonoro pode-se verificar, na Figura 5.9, a existência de alguma tendência de diminuição do isolamento sonoro, quando aumenta a percentagem de envidraçados. Contudo, existem casos que se desviam de tal tendência, nomeadamente a

moradia G, que apresenta um baixo índice de isolamento sonoro para uma baixa percentagem de envidraçados.

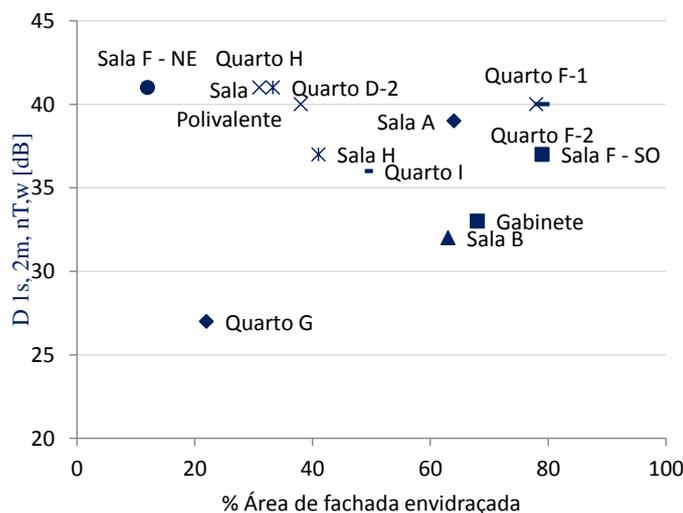


Figura 5.9 – Representação gráfica do índice de isolamento sonoro em função da percentagem de área de fachada envidraçada para edifícios de serviços e residenciais.

A moradia G, relativamente às restantes moradias analisadas, é de construção antiga, com pior estado de conservação que os restantes edifícios. A caixilharia é em madeira, de abrir, não apresentando vedação entre as componentes fixas e móveis das janelas, e o vidro é de menor espessura que os restantes casos analisados. As características mencionadas resultam num menor isolamento sonoro da fachada e numa maior taxa de renovações de ar.

A moradia F também representa um desvio relativamente aos restantes casos. A moradia F apresenta um índice de isolamento sonoro elevado e uma elevada percentagem de área de fachada envidraçada. Para a fachada orientada a nordeste da sala F, com 12% de área de envidraçados, o índice de isolamento sonoro não é substancialmente maior do que nas restantes fachadas dos quartos F-1 e F-2 que apresentam área de envidraçamento muito superior. Este facto pode dever-se ao comportamento acústico semelhante da zona opaca e da zona envidraçada, significando um excelente desempenho dos envidraçados aplicados. Este desempenho pode ter sido condicionado pelo cuidado na seleção e aplicação dos mesmos.

A Figura 5.10 apresenta o índice de isolamento sonoro em função da espessura total dos envidraçados (espessura do vidro interior, exterior e caixa de ar), tendo apenas em consideração a espessura total, não considerando o efeito da espessura das diferentes camadas. Da análise desta figura constata-se, mais uma vez, que os valores respeitantes à fachada do quarto F-1, quarto F-2 e sala F-SO, não se encontram na mesma linha de tendência

dos restantes valores. Este facto pode dever-se à qualidade superior da caixilharia e juntas de vedação, conduzindo a um índice de isolamento sonoro da fachada bastante elevado.

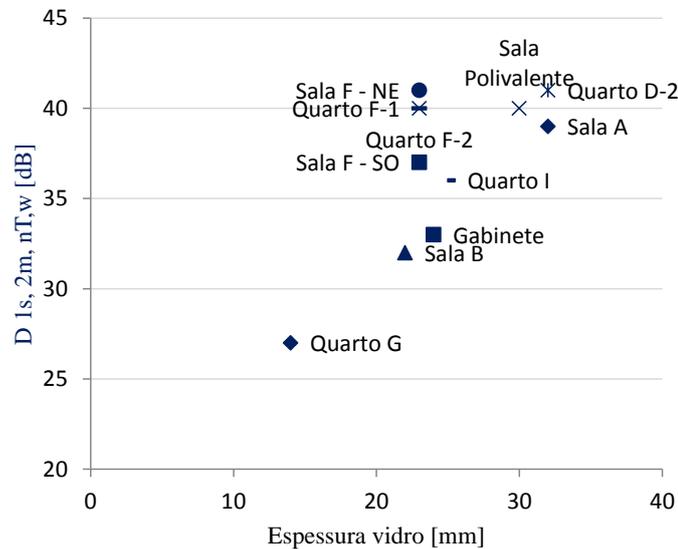


Figura 5.10 – Representação gráfica do índice de isolamento sonoro em função da espessura total do vidro para edifícios de serviços e residenciais.

O comportamento acústico da fachada dos edifícios em relação à área de envidraçado, Figura 5.11, é semelhante ao observado em relação à percentagem de área de fachada envidraçada, Figura 5.9. A inexistência de uniformidade numa tendência de resultados é agravada pelo pequeno número de edifícios em análise e pelo facto de os envidraçados não apresentarem as mesmas características (por exemplo, a espessura do vidro, qualidade da caixilharia e tipo de juntas).

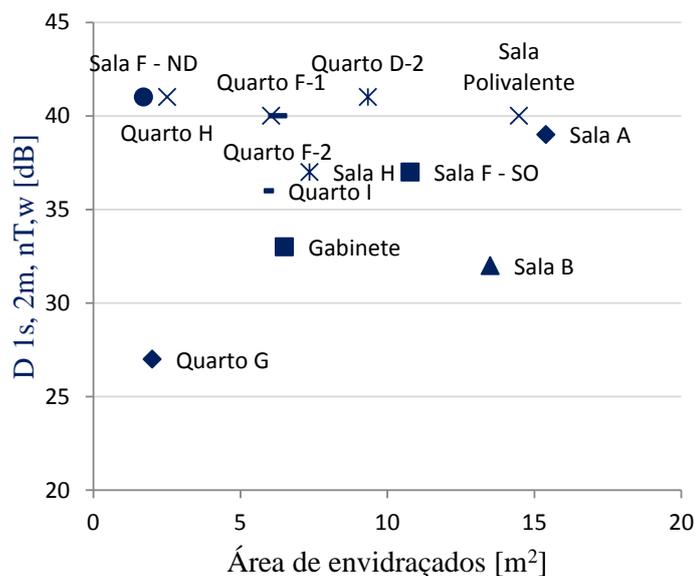


Figura 5.11 – Representação gráfica do índice de isolamento sonoro em função da área de envidraçados para edifícios de serviços e residenciais.

O valor da taxa de renovação de ar nos compartimentos analisados (edifícios de serviços), é superior aos valores obtidos para os edifícios (edifícios residenciais). Em Portugal, no estudo efetuado por Pinto [25], a maioria dos edifícios portugueses têm uma taxa de renovação de ar por hora entre 4 e 6, sendo este valor superior à média dos edifícios residenciais, $1,80h^{-1}$, e inferior à média dos compartimentos dos edifícios de serviços, $11,84 h^{-1}$. Os maiores valores verificados para os compartimentos podem dever-se às infiltrações ocorridas entre compartimentos do mesmo edifício, por exemplo, para compartimentos contíguos.

É de realçar a diferença da taxa de renovação de ar entre os compartimentos (edifícios de serviços) e os edifícios residenciais, em função dos diferentes parâmetros que caracterizam os envidraçados dos compartimentos/edifícios. O comportamento oposto permite verificar que a área de envidraçados pode não ser um fator condicionante.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o aumento do nível de ruído no exterior e a necessidade de redução do consumo energético, a inter-relação entre a capacidade de isolamento sonoro de uma fachada e a sua permeabilidade suscitam um interesse acrescido.

A presente dissertação tem, portanto, como objetivo o estudo dos fatores que influenciam a capacidade de isolamento sonoro e a permeabilidade ao ar da fachada, particularmente, os envidraçados (elementos que promovem a necessidade de estudo mais aprofundado devido às suas características distintas da zona opaca da fachada).

Tendo em conta os objetivos pretendidos foi realizada a análise de 9 edifícios, 4 de serviços e 5 residenciais, através da realização de ensaios de permeabilidade com recurso ao *Blower Door*, de ensaios de isolamento sonoro da fachada e do levantamento das características dos edifícios.

Da análise dos compartimentos dos edifícios de serviços foi possível verificar que o comportamento acústico e a permeabilidade são afetados pelas características dos envidraçados. Quando aumenta a área de envidraçados ou a percentagem de área de fachada envidraçada, aumenta a taxa de renovação de ar e diminui o índice de isolamento sonoro.

Nos edifícios residenciais, pelo facto de apenas alguns compartimentos possuírem o índice de isolamento sonoro da fachada, foi estimado um valor para representar o comportamento acústico da fachada característico de todo o edifício; com base nesse valor foi possível verificar que a taxa de renovação de ar e o isolamento acústico da fachada se relacionam, quando a taxa de renovação de ar diminui o isolamento sonoro aumenta.

Em compartimentos dos edifícios residenciais e de serviços, da análise do índice de isolamento sonoro da fachada foi verificado que, no elemento envidraçado, apesar de o vidro ser o elemento de maior área, os restantes elementos que o constituem têm muita influência no comportamento acústico da fachada, nomeadamente, a caixilharia, e as juntas e acessórios adotados.

Da comparação dos valores obtidos da taxa de renovação de ar para compartimentos e para edifícios foi verificado que o valor é muito superior em compartimentos, podendo dever-se a infiltrações ocorridas entre compartimentos.

Como trabalhos futuros é sugerida a realização do mesmo estudo com uma amostra maior: realização de mais ensaios em frações nas quais sejam realizados os dois ensaios (pressurização e isolamento sonoro da fachada); e realização de ensaios de isolamento acústico da fachada em mais compartimentos, de modo a caracterizar a fachada de todo o edifício, tratando-se da análise de um edifício na sua totalidade. Deste modo, as características dos edifícios e os resultados obtidos serão mais consistentes e representativos do edifício em análise.

Complementarmente, é sugerido que seja efetuada a medição da estanquidade de edifícios, e de compartimentos dos mesmos. Com os valores obtidos verificar se é possível extrapolar a permeabilidade ao ar do edifício a partir da permeabilidade ao ar dos compartimentos. Caso se encontre uma relação, a análise sugerida pode ser útil em situações em que o equipamento de pressurização disponível não tenha capacidade para realizar o ensaio em todo o edifício.

É ainda sugerida a realização de medições de permeabilidade ao ar e isolamento sonoro em uma única fachada. Para uma parede constituída por área opaca e envidraçada, construída em laboratório, fazer variar as características do elemento envidraçado, por exemplo, material da caixilharia, vedação das juntas, tipo de abertura do envidraçado e comprimento da caixilharia. Sendo as restantes características constantes, a diferença de resultados obtidos deve-se exclusivamente às variações efetuadas nas características do envidraçado, podendo deste modo fazer-se uma análise da influência de cada uma das referidas características no comportamento acústico e na permeabilidade da fachada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] EN ISO 13829:2000 (2000) "Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method (ISO 9972:1996, modified)", European Committee for Standardization.
- [2] NP EN ISO 140-5:2009 (2009) "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 (ISO 14.-5:1998)", Instituto Português da Qualidade.
- [3] Sadineni, S., Madala, S., Boehm, R. (2011) "Passive building energy savings: A review of building envelope components", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 3617-3631.
- [4] Pinto, M., Viegas, J., Freitas V. (2011) "Air permeability measurements of dwellings and building components in Portugal", *Building and Environment*, vol. 46, pp. 2480-2489.
- [5] Bragança, L. (2010) "Inter-Relação entre a Acústica, Térmica e a Ventilação", em *Acústica nos Edifícios*, Verlag Dashöfer, Lisboa.
- [6] Silva, F. (2010) "Aplicação da ventilação natural e mista em edifícios. As acções indutoras da ventilação natural", em *Ventilação e qualidade do ar interior*, LNEC, Lisboa.
- [7] Freitas, V. (2010) "Ventilação de edifícios de habitação - Sistemas mistos", em *Ventilação e qualidade do ar interior*, LNEC, Lisboa.
- [8] Pinho P. (1991) "Influência de vãos envidraçados no comportamento térmico de edifícios", *Dissertação de Mestrado em Construção de Edifícios, Secção de Construções Civas do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia Da Universidade do Porto, Porto.*

- [9] Ferreira P. (2012) “Avaliação das infiltrações em edifícios com recurso ao "Blower Door Test"”, Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Território e Gestão do Ambiente, Departamento de Engenharia Civil da F. C. T. da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- [10] Silva P. (1998) “A componente acústica na reabilitação de edifícios de habitação”, LNEC, Lisboa.
- [11] Patrício, J. (2010) "Acústica nos Edifícios", Verlag Dashöfer, Lisboa.
- [12] Tadeu, A., Mateus, D., António, J., Godinho L., Mendes P. A. (2010) “Acústica Aplicada”, Área Científica de Construções do Departamento de Engenharia Civil da F.C.T. da Universidade de Coimbra.
- [13] Iordache V., Catalina, T. (2012) “Acoustic approach for building air permeability estimation”, *Building and Environment*, vol. 57, pp. 18-27.
- [14] Promoção da eficiência energética de edifícios, sustentabilidade e conforto interior - optimização de soluções construtivas, N° Projeto: FCOMP-05-0128-FEDER-017074 – www.itecons.uc.pt/index.php?module=projects&id=6 – Acedido em 29/07/2013.
- [15] Promoção da reabilitação energeticamente eficiente de edifícios existentes em centros urbanos, N° Projeto: FCOMP-05-0128-FEDER-022994 – <http://www.itecons.uc.pt/index.php?module=projects&id=7> – Acedido em 29/07/2013.
- [16] Sherman M., e Chan R. (2004) “Building Airtightness: Research and Practice”, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley.
- [17] Domingues, O. (2000) “Ruído Ambiente”, em *Ambiente em Edifícios Urbanos*, LNEC, Lisboa.
- [18] Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro de 2007 - Regulamento Geral do Ruído.
- [19] Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho de 2008 - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE).
- [20] Mateus, D. (2008) “Acústica de Edifícios e Controlo de Ruído”, documento pedagógico.
-

- [21] ISO 717-1:2013 (2013) “Acoustic - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation”.
- [22] Tadeu, A., Mateus D. (2001) “Sound transmission through single, double and triple glazing. Experimental evaluation”, *Applied Acoustics*, vol. 62, pp. 307-325.
- [23] Blasco, M., Belis, J., De Bleecker, H. (2011) “Acoustic failure analysis of windows in buildings”, *Engineering Failure Analysis*, vol. 18, pp. 1761-1774.
- [24] Kim, M.-J., Kim, H.-G. (2007) “Field measurements of façade sound insulation in residential buildings with balcony windows”, *Building and Environment*, vol. 42, pp. 1026-1035.
- [25] Dimitroulopoulou, C. (2012) “Ventilation in European dwellings: A review”, *Building and Environment*, vol. 47, pp. 109-125.
- [26] Pinto, A. (2010) “Limites para a permeabilidade ao ar da envolvente de edifícios. Eficiência energética e qualidade do ar interior”, em *Ventilação e qualidade do ar interior*, LNEC, Lisboa.
- [27] De Salis, M., Oldham, D., Sharples, S. (2002) “Noise Control strategies for naturally ventilated buildings”, *Building and Environment*, vol. 37, pp. 471-484.
- [28] Alfano, F., Dell'Isola, M., Ficco, G., Tassini, F. (2012) “Experimental analysis of air tightness in Mediterranean buildings using the fan pressurization method”, *Building and Environment*, vol. 53, pp. 16-25.
- [29] ASHRAE (2009) “Chapter 16. Ventilation and Infiltration”, em *Fundamentals*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., pp. 354-389, Atlanta.
- [30] Sfakianaki, A., Pavlou, K., Livada, I., Assimakopoulos, M., Mantas, P., Christakopoulos, A. (2008) “Air tightness measurements of residential houses in Athens, Greece”, *Building and Environment*, vol. 43, pp. 298-405.
- [31] Patrício, J. (2010) “A compatibilização das exigências de conforto acústico com os sistemas de ventilação em edifícios de habitação”, em *Ventilação e qualidade do ar interior*, LNEC, Lisboa.

- [32] Barclay, M., Kang, J., Sharples, S. (2012) “Combining noise mapping and ventilation performance for non-domestic buildings in an urban area”, *Building and Environment*, vol. 52, pp. 68-76.