

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Andreia Idalina Ribeiro de Araújo

Avaliação da taxa de renovação de ar de edifícios de habitação

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação da
Prof. Doutora Sandra Monteiro da Silva

13 de Setembro 2013

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, apesar de se tratar de um trabalho individual, às pessoas que contribuíram de alguma forma para que fosse possível a sua realização. Sendo assim, agradeço:

-À Professora Sandra Monteiro da Silva, orientadora desta dissertação, pela disponibilidade, ajuda, dedicação e principalmente pela ajuda técnica e científica que se tornou importante para o desenvolvimento deste trabalho.

-Ao Eng.º Daniel, responsável pelo Laboratório de Física das Construções por todo o apoio técnico referente à utilização do equipamento denominado “Porta Ventiladora”.

-À empresa A. S. COUTO, S.A. e ao seu administrador, Dr. João Fernandes, pela disponibilidade e ajuda demonstrada para a realização dos ensaios nos edifícios estudados.

RESUMO

Em meados dos anos de 1970, com o culminar da primeira crise energética a nível mundial devido à ocorrência da crise do petróleo e consequente subida dos preços dos combustíveis, conduziu a uma mudança nos projetos de construção de novos edifícios. Este acontecimento levou a uma política de redução de consumos energéticos, essencialmente por parte dos países ocidentais, relacionadas com a necessidade de aquecimento e automatização dos sistemas de climatização.

Então para conservação e redução de energia em edifícios novos e grandes reabilitações, a atual regulamentação de eficiência energética nos edifícios de habitação é baseada nos princípios da Diretiva Europeia relativa ao Desempenho Energético de Edifícios 2002/91/EC (EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive*) que pretende implementar medidas de melhoria de desempenho energético. A eficiência energética em edifícios não só reduz o consumo de energia, como também melhora as condições de conforto térmico interior e as condições ambientais nas áreas urbanas.

Para a correta avaliação da eficiência energética e condições de conforto é necessário controlar as variações de temperatura e a humidade relativa, de forma a favorecer a qualidade do ar interior (humidade relativa e baixas concentrações de poluentes provenientes dos materiais de construção e das próprias atividades humanas).

A regulamentação portuguesa na área da térmica de edifícios e da qualidade do ar interior, de acordo com o regulamento RCCTE de 2006, contribuiu para ajudar a solucionar o problema com o objetivo de implementar níveis de exigência relativamente ao comportamento higrotérmico da envolvente dos edifícios e as condições de ventilação do ar interior.

Desta forma, para otimizar a eficiência energética de um edifício e assegurar a qualidade do ar interior o conhecimento da taxa de renovação do ar reveste-se de extrema importância de forma assegurar as trocas de ar nas condições adequadas.

Em Portugal, a maioria dos edifícios do subsetor residencial promovem infiltrações indesejáveis que são controladas através de uma vedação adequada da envolvente, contudo, nem sempre é possível a sua eliminação.

No entanto, para promover as trocas de ar sob condições normais e melhorar o desempenho energético geral do edifício de habitação em condições de rentabilidade económica, devem utilizar-se dispositivos de ventilação.

Dos vários métodos existentes para a determinação das taxas de renovação horárias de ar, o de pressurização é o mais simples. Este método recorre ao uso de um ventilador reversível, indicando para diferentes diferenciais de pressão os respetivos caudais de ar e designa-se como indireto. Para além disso, uma outra aplicação é a previsão de valores médios da taxa de infiltração (Rph).

A presente dissertação pretende determinar as taxas de infiltração das várias frações autónomas de duas habitações multifamiliares para uma condição de melhoria da permeabilidade ao ar, utilizando o referido método e extrapolando os resultados para os restantes edifícios de habitação.

Do trabalho experimental resultaram taxas de renovação de ar elevadas nas várias frações autónomas, tendo em conta o requisito mínimo implementado no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Conclui-se que a caixilharia é um dos elementos que contribui para a taxa de infiltração, bem como as grelhas de admissão do ar, uma vez, que são dispositivos de ventilação inseridos na envolvente e estão em contacto com o exterior.

Verifica-se que a permeabilidade ao ar destas frações é elevada e poderá ser melhorada, nomeadamente a vedação das juntas das janelas e com a colocação de grelhas de admissão do ar autorreguláveis.

Palavras-Chave: ventilação, habitação multifamiliar, renovações horárias (Rph), método de pressurização “porta-ventiladora”.

ABSTRACT

Due to the first oil crises, by the 70s, the first world energy crisis peaked, fuel prices soared, therefore conducting to a change in the new building construction projects. This behaviour lead to a policy of reducing the energetic consumption, especially by the western countries, related to the need of warming and automation of climatization systems.

To preserve and reduce the energy in new buildings and rehabilitation, the actual energetic efficiency regulation in residential buildings is based in the principles of the 2002/91/EC *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD), which envisages implementing measures to improve the energetic performance. The energetic efficiency in buildings not only reduces the energy consumption, but also improves the interior thermal comfort conditions and the environment conditions in urban areas (EPBD, 2010).

It is necessary to control the temperature fluctuations and relative humidity to correctly evaluate the energy efficiency and comfort conditions, in order to promote interior air quality (relative humidity and low pollutants concentration coming from the construction materials as well as human activities).

The Portuguese regulation in the sector of building thermal and interior air quality, according to the regulation RCCTE of 2006, contributed to solve the problem with the objective to implement enforcing levels in respective to the hygrothermal behaviour of the building surroundings and the ventilation conditions of internal air.

Therefore to optimise the energy efficiency of a building and to assure the interior air quality, the knowledge of the air renewal rate is of extreme importance to ensure air flows in adequate conditions.

In Portugal, most of the buildings from the residential sub-sector allow unwanted infiltrations, which are controlled by a adequate sealing of the surroundings; however its elimination is not always possible.

To promote the air flows under normal conditions and better general energetic performance from the residential building with economic profitability, ventilation devices should be used.

From the multiple methods that exist to determine the hourly air renewal rates, the most simple is the pressurisation. This method uses a reversible ventilator, indicating for different pressure differentials the respective flows, and is designated as indirect. There is also a different application, the prediction of average values of the infiltration rate (Ach).

The present dissertation intends to determine the infiltration rates of the various autonomous divisions of a multifamily residential building leading to an improvement of air permeability using the abovementioned method and extrapolating the results for the remaining residential buildings.

From the experimental work high air flow rates were found from the autonomous divisions, taking into account the minimum requirements implemented on the *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*. It can be concluded that the framework is one of the elements which contributes for the infiltration rates, as well as the air admission grids, once ventilation devices which are inserted into the engaging and are in contact with the outside.

Moreover it can be verified that the air permeability in these divisions is high and can be improved, namely on the windows joint sealing as well as installing auto adjustable air admission grids.

Keywords: ventilation, habitation building, Air Change Rate (Ach), pressurization method "blower-door".

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Estrutura da Dissertação.....	4
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1. Estanqueidade ao ar.....	5
2.2. Ventilação.....	6
2.2.1. Ação do vento	7
2.2.1.1. Ventilação cruzada	9
2.2.1.2. Ventilação unilateral.....	10
2.2.1.3. Aberturas de ventilação natural.....	11
2.2.2. Ventilação por ação da diferença de temperatura	12
2.2.2.1. Efeito chaminé.....	12
2.2.2.2. Ventilação transversal.....	15
2.2.2.3. Ventilação unilateral.....	17
2.2.3. Efeito combinado	18
2.3. Características da permeabilidade ao ar nos edifícios	19
2.4. Infiltração	20
2.4.1. Escoamento de ar por aberturas.....	21
2.4.2. Escoamento de ar por frinchas	22
2.5. Modelos Preditivos.....	23
2.6. Taxa de Rph em Ventilação Natural	25
2.7. Determinação da taxa de ventilação natural de um edifício	25
2.8. Método de Pressurização.....	26
2.8.1. Normalização e procedimentos	27
2.8.2. Método de medição e cálculo	29
2.9. Método do gás traçador	32
2.9.1. Descrição das técnicas do gás traçador	34
2.9.2. Características dos gases traçadores	35

2.10.	Qualidade do Ar Interior	37
2.10.1.	Critérios da qualidade do ar interior	39
2.10.2.	Legislação relacionada com a qualidade do ar interior.....	42
2.11.	Conforto térmico global.....	46
2.11.1.	Equilíbrio térmico e trocas de calor.....	52
2.11.2.	Condições de conforto térmico.....	54
2.11.3.	Desconforto térmico local	55
3.	METODOLOGIA.....	59
3.1.	Enquadramento.....	59
3.2.	Procedimento de ensaio.....	60
3.2.1.	Montagem do equipamento	60
3.2.2.	Ensaio de pressurização/despressurização com <i>software</i> TECTITE	61
4.	CARATERIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS.....	63
4.1.	Caraterização do Edifício A	63
4.1.1.	Localização e descrição do espaço envolvente	63
4.1.2.	Caraterização geral das frações.	64
4.1.3.	Caraterização das frações estudadas.....	66
4.2.	Caraterização do Edifício B	67
4.2.1.	Localização e descrição do espaço envolvente	67
4.2.2.	Caraterização geral	68
4.2.3.	Caraterização da fração estudada	69
5.	RESULTADOS DA AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA PERMEABILIDADE AO AR DA ENVOLVENTE	71
5.1.	Resultados dos Ensaios	71
5.1.1.	Resultados dos ensaios das frações no Edifício A	71
5.1.2.	Resultados dos ensaios da fração do Edifício B.....	74
6.	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	77
6.1.	Avaliação dos Resultados dos ensaios das frações autónomas do Edifício A	77

6.1.1. Permeabilidade e Caudal de ar	77
6.1.2. Taxa de Renovação Horária (Rph).....	79
6.2. Avaliação Resultados dos ensaios da fração autónoma do Edifício B.....	81
6.2.1. Permeabilidade e Caudal de ar.....	81
6.2.2. Taxa de Renovação Horária (Rph).....	83
7. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	85
7.1. Conclusão	85
7.2. Trabalhos Futuros.....	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	87
ANEXOS	93

SIMBOLOGIA

Símbolo	Designação	Unidade
Rph	taxa de renovação de ar	h^{-1}
Rph ₅₀	taxa de renovação de ar global	h^{-1}
T _u	intensidade da turbulência local	%
T	temperatura	°C
T _{ar}	temperatura do ar ambiente	°C
T _{mr}	temperatura média de radiação	°C
T _{med.}	temperatura média do ar	°C
T _{op}	temperatura operativa	°C
ΔT	diferença média de temperatura	K
ΔT _{int-ext}	diferença de temperatura média entre o interior e o exterior	K
v _{ar}	velocidade realtiva do ar	$m.s^{-1}$
Hr	humidade relativa do ar	%
S	taxa de calor acumulado no corpo	W/m^2
W	taxa de trabalho mecânico realizado	W/m^2
M	metabolismo humano	<i>met</i>
I _{cl}	taxa de calor acumulado no corpo	<i>clo</i>
Q _{sk}	taxa total de calor perdido pela pele	W/m^2
Q _{res}	taxa total de calor perdido pela respiração	W/m^2
DR	taxa de corrente de ar (<i>Draught risk</i>)	%
CO	monóxido de carbono	-
CO ₂	dióxido de carbono	-
O ₃	ozono	-
COV	composto orgânico volátil	-
NO ₂	dióxido de azoto	-
HCHO	formaldeído	-
olf	nível de poluição	
p	pressão	Pa
p _v	pressão local do vento	Pa
p _s	diferença de pressão sobre a superfície do edifício	Pa
Δp	diferença de pressão do ar	Pa
Δρ	diferença de densidade	kg/m^3
g	aceleração da gravidade	$m.s^{-2}$
h	distância ao nível neutro	m
b	comprimento da abertura ou frincha	m
μ	viscosidade absoluta do ar	Pa.s
ρ _e	densidade do ar exterior	kg/m^3
ρ _{ar}	densidade do ar	kg/m^3

ρ_0	densidade do ar à temperatura e pressão de referência	kg/m ³
c_p	coeficiente de pressão do vento da superfície do edifício	-
ΔC_p	diferença entre os coeficientes de pressão	-
β	coeficiente de expansão volumétrico	K ⁻¹
U	teor de humidade do ar	kg/kg
U_{ref}	velocidade média de referência do vento	m.s ⁻¹
Q_t	caudal de ventilação através da abertura	m ³ .h ⁻¹
Q_w	caudal devido ao vento	m ³ .h ⁻¹
Q_s	caudal devido ao efeito chaminé	m ³ .h ⁻¹
Q	caudal escoado através da abertura	m ³ .h ⁻¹
Q_{50}	caudal escoado através da envolvente a 50 Pa	m ³ .h ⁻¹
q	caudal volúmico	m ³ .h ⁻¹
q_{50}	indicador da permeabilidade ao ar a determinado diferencial de pressão por unidade de área da envolvente a 50 Pa	m ³ .h ⁻¹ .m ⁻²
C_d	coeficiente de perda de carga da abertura	-
	coeficiente de descarga	-
C	coeficiente de escoamento em função da geometria da abertura	m ³ .s ⁻¹ .m ⁻¹ .Pa ⁻¹
n	expoente referente à equação de permeabilidade ao ar	-
n_{50}	indicador da permeabilidade ao ar do edifício a 50 Pa	-
w_{50}	indicador da permeabilidade ao ar a determinado diferencial de pressão por unidade de área de pavimento a 50 Pa	m ³ .h ⁻¹ .m ⁻²
A	área da abertura ou frincha	m ²
A_E	área da envolvente	m ²
A_F	área de pavimento	m ²
A_{eq}	área equivalente de aberturas	m ²
V	volume interior do espaço ensaiado	m ³
τ_n	constante de tempo nominal	s

ABREVIATURAS

Abreviaturas	Designação	Unidade
AVAC	Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado	-
QAI	Qualidade do ar interior	-
PFT	Técnica de medição passiva de método do gás traçador (<i>Perfluorocarbon Tracer</i>)	-
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios	-
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios	-
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios	-
SED	Síndrome dos Edifícios Doentes	-
CFD	<i>Computation Fluid Dynamics models</i>	-
ASTM	<i>American Society for testing Materials</i>	-
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>	-
EPBD	Directiva relativa ao Desempenho Energético de Edifícios	-
SE, SO, NO e NE	Sudeste, Sudoeste, Noroeste e Nordeste	-

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Ventilação por ação do vento.....	7
Figura 2 – Ventilação cruzada devido à ação do vento, com duas aberturas por fachada.	10
Figura 3 – Ventilação unilateral provocada pela ação do vento.	11
Figura 4 – Esquema representativo de trocas de ar causadas pela diferença de pressão estática.	14
Figura 5 – Representação da diferença de temperatura entre áreas diferentes	15
Figura 6 – Ventilação cruzada devida à diferença de temperatura, com duas aberturas por fachada.....	16
Figura 7 – Ventilação unilateral devida à diferença de temperatura com uma abertura numa única fachada.	17
Figura 8 – Diferenças de pressão causadas pela ação do vento e pelo gradiente interno vertical temperatura.....	19
Figura 9 – Equipamentos utilizados no ensaio de pressurização, “Porta Ventiladora”.....	29
Figura 10 – Exemplo de gráfico de permeabilidade ao ar com resultado obtido em ensaios de pressurização e despressurização.....	30
Figura 11 – Principais fontes de queixas na qualidade do ar interior	38
Figura 12 – Representação esquemática dos fatores que afetam a qualidade do ar interior	41
Figura 13 – Relação entre os índices PPD e PMV.....	49
Figura 14 – Zonas de conforto de Inverno e de Verão.....	50
Figura 15 – Gamas de temperaturas aceitáveis para edifícios ventilados naturalmente	51
Figura 16 – Diagrama do conforto térmico humano.....	52

Figura 17 – Representação das trocas de calor entre o corpo humano e o meio ambiente.....	53
Figura 18 – Representação das condições necessárias para o conforto térmico.....	54
Figura 19 – Esquema do princípio do método da “Porta-Ventiladora”	59
Figura 20 – Localização do Edifício Vera Cruz.....	63
Figura 21 – Localização do Edifício Vera Cruz.....	64
Figura 22 – Plantas das frações autónomas do 2º ao 6º piso do Edifício A.	64
Figura 23 – Planta da fração autónoma do 7º piso do Edifício A.	65
Figura 24 – Caixilharia em alumínio da fachada principal do Edifício A. .	65
Figura 25 – Grelha de exaustão e admissão de ar no Edifício A.	66
Figura 26 – Sistemas mecânicos no Edifício A	66
Figura 27 – Recuperador de calor da lareira instalado na sala comum do Edifício A.	67
Figura 28 – Localização do Edifício B.....	67
Figura 29 – Planta da fração autónoma T ₃ do 3º piso do Edifício Central 2.	68
Figura 30 – Caixilharia basculante em alumínio da fachada orientada a Nordeste do Edifício B.	68
Figura 31 – Grelha de exaustão e admissão de ar no Edifício B.....	69
Figura 32 – Sistemas mecânicos no Edifício B	69
Figura 33 – Lareira da sala comum Edifício B.	70
Figura 34 – Representação do caudal de ar em função do diferencial de pressão na fração autónoma A do Edifício A.....	72
Figura 35 – Preparação da chaminé e da conduta do WC para o ensaio de pressurização e despressurização.	74

Figura 36 – Representação do caudal de ar em função do diferencial de pressão na fração autónoma B do Edifício B, com a chaminé e conduta do WC aberta.....	75
Figura 37 – Permeabilidade ao ar das frações autónomas A – T ₄	78
Figura 38 – Permeabilidade ao ar das frações autónomas B – T ₃	78
Figura 39 – Taxa de renovação de ar em função do nº de pisos das frações autónomas A e B do Edifício A.....	80
Figura 40 – Permeabilidade ao ar do Edifício B, Fração autónoma B - T ₃ .	82
Figura 41 – Taxas de renovação horária em diferentes condições de ensaio.	83
Figura 42 – Imagem geral dos equipamentos utilizado no ensaio de pressurização.	95
Figura 43 – Exemplo da montagem da porta ventiladora.	98
Figura 44 – Sistema APT com controlador de velocidade do equipamento “Porta Ventiladora”.	99
Figura 45 – Exemplos dos dados inseridos num ensaio de despressurização.	100
Figura 46 – Exemplo do gráfico bi-logarítmico e dos resultados de ensaio.	101

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Valores convencionais de Rph para edifícios de habitação	26
Quadro 2 – Propriedades dos gases mais usados na atualidade	36
Quadro 3 – Qualidade de alguns gases).	36
Quadro 4 – Fatores e fontes que afetam a qualidade do ar interior e o conforto.....	39
Quadro 5 – Regulamentos nacionais relativos ao desempenho energético dos edifícios e QAI.....	42
Quadro 6 – Concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios.....	43
Quadro 7 – Caudais mínimos de ar novo estabelecidos no RSECE	44
Quadro 8 – Níveis de perceção da qualidade do ar.....	45
Quadro 9 – Nível de poluição em função da atividade.....	45
Quadro 10 – Condições de conforto de referência para ambientes interiores	46
Quadro 11 – Escala de sensação térmica de 7 pontos	48
Quadro 12 – Categorias de ambiente térmico global	50
Quadro 13 – Resultados de carácter experimental de ensaio de pressurização no piso 2.....	72
Quadro 14 – Resultados de carácter experimental de ensaio de pressurização no piso 3.....	73
Quadro 15 – Resultados de carácter experimental de ensaio de pressurização no piso 4.....	73
Quadro 16 – Síntese dos resultados obtidos nos ensaios de pressurização na fração autónoma A-T ₄	73
Quadro 17 – Síntese dos resultados obtidos nos ensaios de pressurização na fração autónoma B-T ₃	74
Quadro 18 – Resultado de carácter experimental do ensaio de pressurização com a chaminé e a conduta selada no piso 3.....	75

Quadro 19 – Resultado de carácter experimental do ensaio de pressurização com a chaminé e a conduta aberta no piso 3.....	76
Quadro 20 – Síntese dos resultados obtidos nos ensaios de pressurização na fração autónoma B, em diferentes condições de ensaio C1 e C2.....	76
Quadro 21 – Renovações horárias a 50 Pa ($R_{ph_{50}}$) na fração autónoma A – T_4	79
Quadro 22 – Renovações horárias a 50 Pa ($R_{ph_{50}}$) na fração autónoma B - T_3	79
Quadro 23 – Renovações horárias a 50 Pa ($R_{ph_{50}}$) no Edifício B, Fração autónoma B - T_3	81
Quadro 24 – Ensaio de pressurização das frações autónomas A.	103
Quadro 25 – Ensaio de despressurização das frações autónomas A.....	103
Quadro 26 – Ensaio de pressurização das frações autónomas B	104
Quadro 27 – Ensaio de despressurização das frações autónomas B	104
Quadro 28 – Ensaio de pressurização das frações autónomas B	105
Quadro 29 – Ensaio de despressurização das frações autónomas B	105
Quadro 30 – Determinação dos caudais de ar escoado na fração autónoma A – T_4 para uma gama de diferenciais de pressão (Δp) utilizada nos ensaios realizados.....	107
Quadro 31 – Determinação dos caudais de ar escoado na fração autónoma B – T_3 para uma gama de diferenciais de pressão (Δp) utilizada nos ensaios realizados.....	107
Quadro 32 – Determinação dos caudais de ar escoado na fração autónoma B – T_3 para uma gama de diferenciais de pressão (Δp) utilizada nos ensaios realizados.....	108
Quadro 33 – Determinação das renovações horárias a 50 Pa ($R_{ph_{50}}$) na fração autónoma A – T_4	109
Quadro 34 – Determinação das renovações horárias a 50 Pa ($R_{ph_{50}}$) na fração autónoma B – T_3	109

Quadro 35 – Determinação das renovações horárias a 50 Pa ($R_{ph_{50}}$) na fração autónoma B.....	109
Quadro 36 – Caraterização das frações autónomas A e B	111
Quadro 37 – Caraterização das frações autónomas A, T ₄	111
Quadro 38 – Caraterização das frações autónomas B, T ₃	111
Quadro 39 – Caraterização da fração autónoma B, T ₃	112
Quadro 40 – Caraterização da fração autónoma B, T ₃	112
Quadro 41 – Condições ambientais e orientações das frações autónomas A, T ₄	113
Quadro 42 – Condições ambientais e orientações das frações autónomas B, T ₃	113
Quadro 43 – Condições ambientais e orientações das frações autónomas B, T ₃	113

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

No setor dos edifícios, existe atualmente uma crescente preocupação com o desperdício de energia. Sendo assim, a necessidade de redução dos consumos energéticos veio criar novos problemas, o que conduziu à necessidade de encontrar soluções que permitissem conceber edifícios com menores consumos energéticos.

Então, para diminuir as perdas energéticas, o nível de isolamento térmico e a estanquidade da envolvente foi melhorado, reduzindo as respetivas taxas de infiltração. Se por um lado as referidas infiltrações de ar eram responsáveis pelo aumento do consumo de energia, por outro promoviam um aumento da taxa de ventilação do edifício, que permita melhorar a qualidade do ar interior.

Outro fator importante para a necessidade de ventilar os edifícios está diretamente relacionado com o conforto e saúde dos ocupantes. Ou seja, uma ventilação inadequada, influencia negativamente a qualidade do ar interior no que diz respeito aos poluentes provenientes do interior e do ambiente exterior.

Sendo assim e com o objetivo de otimizar a eficiência energética de um edifício em condições de rentabilidade económica e assegurar a qualidade do ar interior, o conhecimento da taxa de renovação de ar reveste-se de extrema importância de forma assegurar uma troca de ar nas condições adequadas.

Todos estes aspetos, acompanhados por uma crescente preocupação em melhorar o desempenho energético geral dos edifícios, levaram à criação da diretiva europeia EPBD, tendo em conta que o conjunto dos edifícios na União Europeia constituem cerca de 40% dos consumos globais de energia.

Esta diretiva, foi transposta para Portugal em 2006 através de um pacote legislativo composto por três Decretos-Lei: o Decreto-Lei nº 78, o D.L. nº79e o D.L. nº 80. (EPBD, 2012; D.L.78, 2006; D.L.79, 2006; D.L.80, 2006). Estes, configuram os requisitos mínimos e medidas corretivas a adotar para a QAI e a eficiência energética em edifícios novos e existentes.

Desta forma, o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), D.L. nº 78/2006, de 4 de Abril, foi concebido com o objetivo de assegurar a implementação das condições de eficiência energética,

utilização de sistemas de energias renováveis e as condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE, 2006).

O D.L. nº 79/2006, Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios, RSECE de 4 de Abril, referente ao Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), foi aprovado pelo Decreto-Lei nº 118/98, de 7 de Maio, referente a satisfação das necessidades de conforto térmico e de qualidade do ambiente interior dos edifícios implica, em geral, o recurso a meios de ventilação, aquecimento, arrefecimento, humidificação e desumidificação. A utilização destes meios deve obedecer, naturalmente, a regras que permitam assegurar as exigências ambientais prescritas e a utilização racional da energia, tendo como objetivo:

- Definir, de acordo com a respetiva função dos diferentes espaços dos edifícios, as condições de conforto térmico e de higiene;
- Melhorar a eficiência energética dos edifícios já existentes, dos edifícios a construir e das respetivas reabilitações;
- Definir regras de eficiência aos sistemas de climatização de forma a melhorar o seu desempenho energético, ao nível do projeto, da sua instalação e durante o seu funcionamento, através de uma manutenção adequada;
- Monitorizar regularmente a manutenção dos sistemas de climatização de forma a garantir a eficiência energética e a qualidade do ar interior dos edifícios.

O D.L. nº 80/2006, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), de 4 de Abril, aprovado pelo D.L. nº 40/90, referente ao Regulamento das Condições Térmicas dos Edifícios, 6 de Fevereiro, teve como objetivo a imposição de requisitos ao projeto de novos edifícios e grandes remodelações para garantir as condições de conforto térmico, sem o uso excessivo de energia. Para além do mencionado, visa ainda garantir a minimização de efeitos patológicos na construção, derivados das condensações superficiais e dos elementos interiores da envolvente. No âmbito do cálculo das necessidades energéticas dos edifícios habitacionais, é importante referir, a definição do requisito mínimo de 0,6 renovações de ar por hora (RCCTE, 2006).

A diretiva EPBD foi reformulada em 2010, tendo como resultado a Diretiva 2010/31/EU, que incentiva a recuperação do parque edificado existente e a construção de novos “edifícios energia quase zero”, ou seja, o estabelecimento dos requisitos mínimos com base na viabilidade económica ao longo do ciclo de vida do edifício (Adene, 2011; EPBD-recast, 2011).

Os regulamentos RCCTE, RSECE e SCE foram revistos e a nova versão foi aprovada em Agosto de 2013.

1.2. Objetivos

Esta dissertação, tem como objetivo avaliar a taxa de renovação do ar das diversas frações autónomas dos edifícios de habitação, para caracterização dos consumos energéticos e respetivas medidas a serem tomadas. Sendo assim, começou-se por identificar os locais por onde ocorrem as infiltrações e os principais problemas existentes nos edifícios, associados à ventilação, de forma a obter uma taxa de ventilação adequada para assegurar a Qualidade do Ar Interior e a eficiência energética dos edifícios situados na cidade de Vila Nova de Famalicão e outro na Vila de Joane.

Para atingir os objetivos propostos será avaliada experimentalmente:

- A permeabilidade ao ar das diversas frações autónomas dos edifícios, nomeadamente a renovação horária global (R_{ph50});
- Os dispositivos de ventilação nas diversas frações autónomas, nomeadamente as grelhas de admissão, grelhas de extração e eventualmente sistemas de ventilação mecânica.

Após a determinação dos valores da taxa de renovação de ar das diversas frações autónomas dos edifícios estudados, procedeu-se à respetiva comparação com o valor da taxa de renovação horária preconizada pela regulamentação portuguesa.

1.3. Estrutura da Dissertação

Esta dissertação, encontra-se estruturada em seis capítulos.

No capítulo 1 apresenta-se uma breve introdução sobre ao trabalho realizado e respetiva legislação em vigor, descrevem-se os objetivos e a estrutura da dissertação.

No capítulo 2, são abordadas as possíveis estratégias de ventilação natural num edifício, a qualidade do ar interior e as condições que proporcionam o conforto e equilíbrio térmico e as respetivas trocas de calor. Neste capítulo, descrevem-se ainda os métodos de pressurização e do gás traçador, utilizados para a determinação da taxa de renovação de ar em edifícios.

No capítulo 3, apresenta-se a metodologia, indicando os procedimentos de ensaio e descrição dos equipamentos e respetivo modo de operação para o método de pressurização.

No capítulo 4, são caracterizados os edifícios e as frações autónomas dos edifícios multifamiliares em Vila Nova de Famalicão e na Vila de Joane. Para tal, indica-se a localização e descrição do espaço envolvente e caracterizam-se os sistemas de ventilação existentes nas frações autónomas e respetivos componentes existentes na envolvente dos edifícios.

No capítulo 5, são apresentados os resultados dos ensaios de acordo com as medições efetuadas nas diversas frações autónomas dos edifícios em Vila Nova de Famalicão e na Vila de Joane

No capítulo 6, são avaliados os resultados obtidos nas diversas frações autónomas dos edifícios estudados. Sendo assim, aborda-se a permeabilidade e caudal de ar e respetiva taxa de renovação de ar (Rph).

No capítulo 7, tiram-se as conclusões, sugerindo recomendações para a implementação de medidas corretivas e indicam-se os trabalhos futuros a desenvolver.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. Estanqueidade ao ar

A estanqueidade da envolvente de um edifício representa uma determinada quantidade de infiltração de ar em relação ao seu volume. No entanto, a permeabilidade ao ar em edifícios resulta de infiltrações de ar em metros cúbicos por hora por metro quadrado da área da envolvente do edifício, para um diferencial de pressão de 50 Pa.

As trocas de ar entre o espaço interior e o ambiente exterior resultam das infiltrações, ou seja, fluxo de ar indesejado, resultante do diferencial de pressão provocado pelo vento, sistemas de ventilação e pelo efeito chaminé.

Esse fluxo de ar que atravessa a envolvente designa-se por taxa de infiltração de ar e expressa-se de acordo com volume de ar infiltrado por unidade de tempo. As trocas de ar dadas através da envolvente para um dado período é usada para representarem a estanqueidade do edifício (Fennell, 2005; Haehnel, 2005).

Atualmente, a estanqueidade ao ar é um dos critérios de preocupação na fase de projecto e requer uma certa exigência quer ao nível da qualidade do ar bem como os problemas energéticos existentes, tendo em conta que as infiltrações de ar nos edifícios são responsáveis por cerca de 20 % a 50% dos custos de energia de aquecimento e ar condicionado bem como dos problemas de conforto, humidade e saúde dos ocupantes (Fernández, J. et al., 2011).

No entanto, os edifícios com boa estanqueidade ao ar, sem recurso a sistemas de ventilação, são tão maus como os edifícios de elevada permeabilidade ao ar, devido à elevada higrometria na envolvente (Green Building Advisor, 2013).

Para que um edifício alcance uma boa estanqueidade ao ar é necessário a colocação de materiais para que a envolvente de todo o edifício seja resistente ao ar.

No entanto, a estanquidade ao ar não deve ser confundida com isolamento. Ambos são essenciais para uma envolvente de qualidade e devem ser tratados de forma independente.

Por exemplo, uma casa bem isolada não é estanque, pois o ar pode atravessar facilmente o isolamento. Enquanto uma casa estanque não é necessariamente bem isolada, por exemplo, com uma folha de alumínio pode-se alcançar uma estanquidade ao ar excelente, mas um isolamento irrelevante (Passivhaustagung, 2013).

De forma a quantificar as trocas de ar entre o interior e o exterior, o desenvolvimento de métodos experimentais levam a caracterizar a permeabilidade ao ar dos edifícios.

Estes métodos experimentais são fundamentais para a determinação dos caudais de ar de um edifício, pois todos os fatores são intervenientes no resultado final, nomeadamente, a geometria do edifício, intensidade e direção do vento, gradiente de temperatura e diferença de temperatura entre o interior e o ambiente exterior.

Esclarecendo a diferença entre estanqueidade ao ar e infiltração ao ar, a estanqueidade apresenta resultados sempre iguais, em diferentes situações, e a infiltração tem valores variáveis devido a vários fatores, como:

- Orientação do edifício;
- Direção do vento;
- Diferença de temperatura entre o interior e o exterior;
- Tipo de ventilação (natural, mecânica ou híbrida);
- Comportamento dos ocupantes.

2.2. Ventilação

A ventilação natural é um dos métodos mais eficazes na obtenção do conforto ambiental no interior dos edifícios, o que beneficia a eficiência energética. Desta forma, o fluxo de ar natural adequado no interior da habitação, condicionará termicamente o ambiente, oferecendo condições favoráveis de conforto aos ocupantes e qualidade do ar no interior (Allard,1998; Liping & Hien, 2007).

Em Portugal, de acordo com as condições climáticas, a ventilação natural é extremamente importante para garantir condições de conforto no interior dos edifícios. Através da utilização deste recurso renovável, torna-se possível manter o interior da habitação em equilíbrio ambiental, de acordo com a temperatura exterior e a taxa de renovação de ar.

Na estação mais quente do ano, um dos métodos mais eficientes para arrefecer a temperatura no interior de um de habitação é a ventilação. Esta deve ser feita preferencialmente à noite, quando as temperaturas exteriores são mais baixas, ou seja, está mais fresco.

A ventilação natural é um processo que ocorre devido a fenômenos naturais e é explicado pelo movimento de uma massa de ar, sem recursos a meios mecânicos auxiliares, induzida por uma diferença de temperaturas e/ou pressões. Este tipo de ventilação é muito comum em edifícios de habitação, onde a admissão e extração de ar são feitas sob ação das forças naturais do vento e das pressões derivadas de diferenças de temperatura entre o ambiente exterior e interior (Bower, 1995).

As trocas de ar promovidas pela diferença de temperatura e/ou pressão entre o interior e exterior dos espaços, resultam de aberturas intencionais (janelas, grelhas de ventilação, chaminés) ou até mesmo aberturas inevitáveis, não controláveis (frinchas, fendas). Este processo designa-se por infiltração e/ou exfiltração.

2.2.1. Ação do vento

O vento causa variações de pressão à volta do edifício, que altera a entrada e saída de ar pelas aberturas, alterando os valores da taxa de infiltração. Estas pressões podem ser superiores, ocorrendo sobretudo na envolvente exposta à incidência do vento, ou inferiores à pressão atmosférica. A pressão do vento será positiva, quando as zonas da envolvente estão expostas diretamente à incidência do vento a barlavento, ou negativas quando se encontram do lado oposto ao da direção do vento, a sotavento (Figura 1). Outros fatores que influenciam o sentido negativo e positivo da pressão são a velocidade do vento e a forma e dimensão estrutural do edifício.

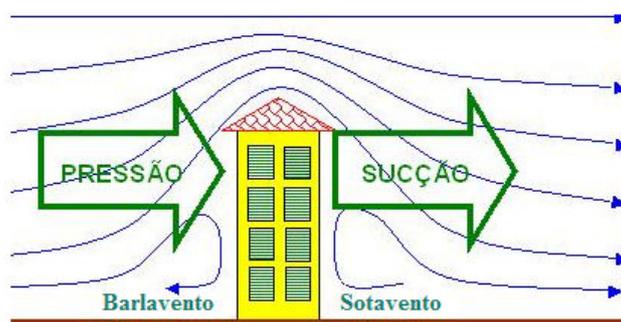


Figura 1 – Ventilação por ação do vento (Adaptado de Watanabe, 2009)

Observando a Figura 1, verifica-se que quando o vento incide numa fachada, o escoamento do fluxo de ar é separado pelas arestas do edifício, causando pressões nas fachadas onde o vento incide e subpressões em zonas das fachadas subjacentes, ou seja, próximas às arestas que separam o fluxo.

Nas coberturas, os princípios são os mesmos, as pressões que nelas incidem dependem da geometria das mesmas.

Num sistema de ventilação, os valores dos coeficientes de pressão são bastante importantes. Desta forma, uma fachada com valores positivos é considerada uma zona aconselhável para a colocação de aberturas de admissão, por outro lado, uma fachada com valores negativos é utilizada preferencialmente para a colocação de aberturas para extração de ar poluído (NP 1037-1, 2002).

O comportamento instável do vento, tratando-se de um escoamento fortemente turbulento, causará variações de pressão de elevada instabilidade, ou seja, a velocidade varia continuamente. Por norma, em situações correntes, usa-se a velocidade média para o cálculo das infiltrações de ar (ASHRAE, 2010).

Então, a pressão média do vento sobre a superfície (fachada) do edifício é proporcional à pressão do vento p_v , conforme a equação de Bernoulli, equação 1.

$$p_v = \frac{(\rho_{ar} U_{ref}^2)}{2} \quad (1)$$

onde:

p_v – pressão do vento (Pa);

ρ_{ar} – densidade do ar (kg/m^3);

U_{ref} – velocidade média do vento não perturbada pelo edifício a uma altura de referência, referida à cota da cobertura (m/s).

Portanto, a diferença de pressão sobre a superfície do edifício (p_s) e a pressão do vento sem obstáculos, corresponde ao coeficiente de pressão (c_p). Através de cada ponto da envolvente, será possível o cálculo da pressão local do vento (p_v), em função da pressão dinâmica do escoamento não perturbado, de acordo com a equação 2.

$$p_s = c_p p_v \quad (2)$$

onde:

c_p – coeficiente de pressão do vento da superfície do edifício;

p_s – diferença de pressão sobre a superfície do edifício (Pa);

p_v - pressão local do vento (Pa).

Em edifícios, os coeficientes de pressão (c_p) variam com a direção do vento, a topografia, a rugosidade do terreno e os obstáculos vizinhos. Então, para obtenção de resultados precisos e tendo em conta todos estes fatores recorre-se à utilização do túnel de vento ou de modelos numéricos do tipo CFD (*Computational Fluid Dynamics*). A utilização destes modelos só é justificável quando se trata de estudos em edifícios especiais ou para outros casos de estudo. Na Figura 1 observa-se o escoamento do fluxo de ar provocado pelo vento em torno da fachada de um edifício retangular.

2.2.1.1. Ventilação cruzada

A ventilação cruzada ocorre devido à existência de zonas com diferentes pressões, ou seja, quando o vento incide na superfície do edifício a pressão é mais elevada do que na zona oposta, uma zona com baixa pressão.

Sendo assim, assumindo que o edifício contém duas aberturas em fachadas opostas e que o escoamento do ar é obtido através da área equivalente das aberturas, da velocidade de referência do vento incidente e da variação dos coeficientes de pressão, (ΔC_p) para as diferentes configurações existentes das aberturas, obtém-se a equação 3.

$$q = C_d \times A_{eq} \times U \times \sqrt{\Delta C_p} \quad (3)$$

onde:

q – caudal volúmico ($m^3 \cdot h^{-1}$);

C_d – coeficiente de descarga ($C_d \approx 0,6$) (-);

A_{eq} – área equivalente das aberturas (m^2);

U – velocidade média do vento incidente na abertura (m/s);

ΔC_p – diferença entre os coeficientes de pressão a barlavento e sotavento (-).

O inverso da área equivalente é obtido de acordo com a equação 4.

$$\frac{1}{A_{eq}} = \frac{1}{\sum A_{entrada}^2} + \frac{1}{\sum A_{saida}^2} \quad (4)$$

Neste modelo, considera-se que os coeficientes de pressão são iguais em cada fachada e que os coeficientes de descarga são iguais em todas as aberturas, conforme a Figura 2.

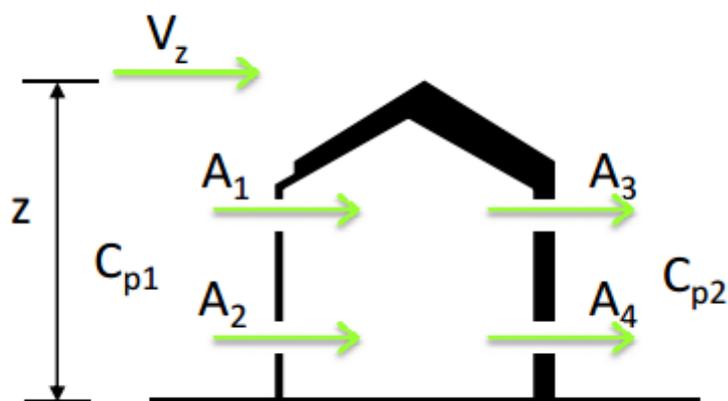


Figura 2 - Ventilação cruzada devido à ação do vento, com duas aberturas por fachada. (Adaptado de Lamberts, 2009)

2.2.1.2. Ventilação unilateral

A renovação do ar interior é efetuada apenas por uma única fachada, com uma única abertura, estando sujeita apenas às condições climáticas da zona em contato com o exterior. No entanto, é aconselhável que se coloquem mais que uma abertura, devidamente distanciadas umas das outras, de modo a que o escoamento do ar dentro do edifício e/ou fração autónoma seja o mais longo e turbulento possível (Amaral, 2008).

Caso uma das fachadas possua uma única e grande abertura, como por exemplo uma janela bi-direcional, a ventilação natural do edifício será estimulada de forma a induzir o fluxo de ar. Esta grande abertura deverá ser colocada na fachada exposta aos ventos dominantes, para maximizar o efeito do vento na ventilação do edifício.

O escoamento do ar, admitindo só a ação do vento, é dado pela equação 5.

$$q = 0,025 \times A \times U_{ref} \quad (5)$$

onde:

q – caudal volúmico ($m^3 \cdot h^{-1}$);

A – área da abertura (m^2);

U_{ref} – velocidade de referência do vento (m/s).

Na figura 3, ilustra-se a ventilação unilateral provocada pela ação do vento numa única abertura.

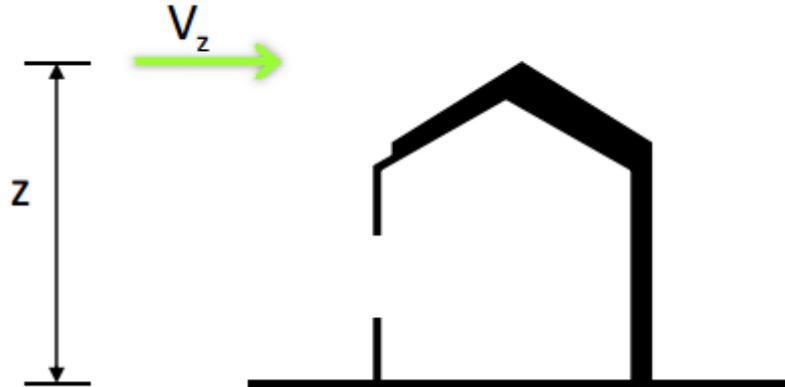


Figura 3 - Ventilação unilateral provocada pela ação do vento.

Segundo Alloca et al., (2003), o coeficiente 0,025 pode ser aumentado para 0,1, para configuração de duas aberturas. Este aumento, no coeficiente, aumentaria, efetivamente, a ventilação por ação dos ventos por cerca de duas vezes.

2.2.1.3. Aberturas de ventilação natural

Em edifícios de habitação, a estratégia de ventilação através de aberturas na fachada resulta da implementação de grelhas e janelas na envolvente. As grelhas, de funcionamento regulável (i.e. auto-regulado e higro-regulado) ou fixas, são dispositivos que permitem a exaustão e admissão de ar entre o ambiente exterior e o espaço interior. Estas grelhas, quando ligadas a condutas individuais ou coletivas, promovem o escoamento e a distribuição do ar em zonas ou compartimentos afastados do local de admissão.

As grelhas que promovem a exaustão são normalmente instaladas nos vãos envidraçados na zona superior das janelas e nas portas dos compartimentos principais (salas e quartos). Nos compartimentos de serviço (cozinhas e W.C.) a exaustão do ar é normalmente promovida através de ventilação mecânica ou híbrida, tendo em conta o correto dimensionamento das condutas.

A caracterização das grelhas é efetuada através de especificações técnicas, nomeadamente, a área útil da abertura, as diferentes pressões, a permeabilidade ao ar e água, o caudal nominal e o comportamento térmico e acústico. Para o dimensionamento destes dispositivos deve considerar-se o efeito correto de integração na envolvente, quer ao nível de exposição ao vento quer ao nível do caudal de ar recomendado, de modo a satisfazer a qualidade do ar interior no edifício.

2.2.2. Ventilação por ação da diferença de temperatura

2.2.2.1. Efeito chaminé

As trocas de ar no interior dos edifícios sem a ação de nenhum sistema mecânico, ocorre por diferença da pressão do ar. Este fenómeno pode ocorrer por ação do vento ou pela diferença de densidade do ar devido à diferença de temperatura (Toledo, 1999).

Segundo Bower (1995), a ventilação natural só ocorrerá com a existência de aberturas e diferenciais de pressão, ou seja, entre as zonas de pressão e subpressão, que derivam da ação do vento que incide sobre o edifício.

A diferença de densidades resulta numa diferença de pressão estática, Δp (Pa), entre o interior e o exterior do edifício, quando o ar interior se encontra a uma temperatura diferente da do ar exterior. Esta diferença de pressão devido à temperatura provoca o efeito de chaminé ou impulsão térmica.

O fenómeno ocorrido é traduzido pela equação 6 (Silva, 2003).

$$\Delta p = \Delta \rho g h \quad (6)$$

onde:

$\Delta \rho$ – diferença de densidade (kg/m^3);

g – aceleração da gravidade (m/s^2);

h – distância ao nível neutro (i.e. nível em que as pressões interior e exterior são iguais) (m).

Sendo a diferença de pressão representada pela equação 7.

$$\Delta p = \rho_e \beta \Delta T_{int-ext} \quad (7)$$

(A densidade do ar exterior (ρ_e) é obtida através da equação dos gases perfeitos, $p_e = \rho_e R T_e$, em que p_e é a pressão exterior)

onde:

ρ_e – densidade do ar exterior (kg/m^3);

β – coeficiente de expansão volumétrico (K^{-1}), (para um gás perfeito à temperatura interior do edifício, $\beta = \frac{1}{T_i}$);

$\Delta T_{int-ext}$ – diferença de temperatura média entre o interior e o exterior (K), ($23^\circ C < \Delta T_{int-ext} < 8^\circ C$).

assim:

$$\Delta p = \frac{p_e}{R T_e} \times \frac{1}{T_i} \times (T_i - T_e) = \frac{p_e}{R} \left(\frac{1}{T_e} - \frac{1}{T_i} \right) \quad (8)$$

Então, a diferença de pressões entre o interior e o exterior resultante do efeito chaminé ou impulsão térmica é dada pela equação 9.

$$\Delta p = \frac{p_e g h}{R} \times \left(\frac{1}{T_e} - \frac{1}{T_i} \right) \quad (9)$$

Substituindo os valores das propriedades do ar à pressão atmosférica normal, da pressão atmosférica e da aceleração da gravidade, obtém-se a equação 10.

$$\Delta p = 3450 \times h \times \left(\frac{1}{T_e} - \frac{1}{T_i} \right) \quad (10)$$

(A temperatura do ar interior e exterior é válida para $7^\circ C < T_{méd.} < 17^\circ C$)

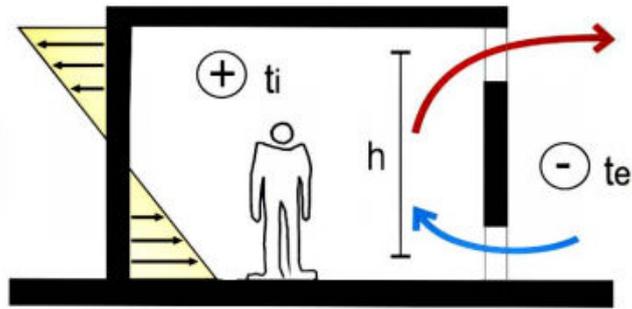


Figura 4 – Esquema representativo de trocas de ar causadas pela diferença de pressão estática. (Adaptado de Procel Edifica, 2010)

Na Figura 4, estão representadas as trocas de ar entre o interior e o exterior através da envolvente do edifício, admitindo que a temperatura do ar interior é superior à do exterior. A entrada de ar frio através das aberturas da envolvente exterior provoca um efeito descendente do ar no interior do edifício. Num impulso natural de equilíbrio e de estabilização, o ar no interior movimenta-se sempre do local mais fresco para o local mais quente. Este ar aquecido no interior do edifício, fica mais leve, o que ocasiona um efeito ascendente e conseqüente expulsão do ar pelos níveis mais elevados da envolvente. No caso da temperatura interior ser inferior à do ambiente exterior o ar torna-se mais pesado, criando um movimento de ar descendente junto da superfície mais fria.

A ventilação natural pelo efeito chaminé acontece devido à diferença da densidade do ar entre o interior e o exterior, humidade do ar e temperatura. Alguns modelos utilizam a equação 11 para determinar a densidade do ar (Feustel, 1990).

$$\rho = \frac{p}{461,518 \times (T + 273,15) \times (U + 0,62198)} \times (1 + U) \quad (11)$$

onde:

p – pressão (Pa);

T – temperatura (°C);

U – teor de humidade do ar (kg/kg).

Para obter a temperatura ambiente, torna-se importante ter alguns cuidados quando esta é proveniente de estações meteorológicas de zonas rurais ou semi-rurais devido ao fenómeno designado por “ilha de calor”, que contribuem significativamente para o aquecimento global.

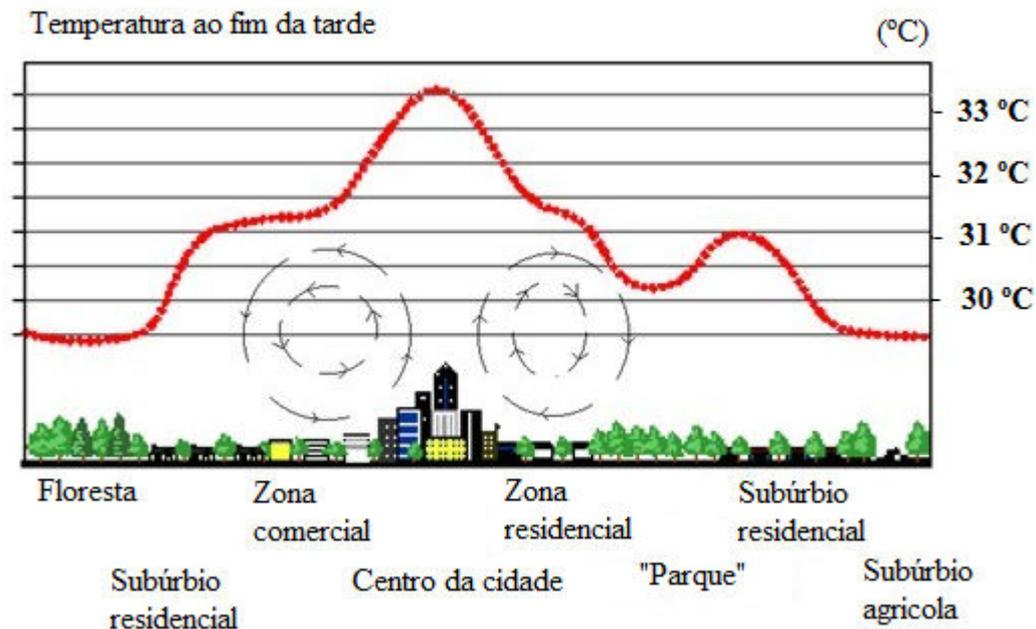


Figura 5 - Representação da diferença de temperatura entre áreas diferentes (Adaptado de Santamouris, 2007).

Na Figura 5, ilustram-se as zonas urbanas e as zonas da periferia com temperaturas mais elevadas do que nas áreas rurais que as rodeiam. O fenómeno “ilha de calor” deve-se essencialmente às amplas superfícies asfaltadas e à concentração de betão, tijolo e pedra nos edifícios, que absorvem muito calor durante o dia e irradiam à noite.

2.2.2.2. Ventilação transversal

A ventilação transversal é designada muitas vezes por ventilação cruzada (*cross-ventilation*). Com a existência de aberturas ao mesmo nível e em fachadas opostas o ar atravessa o interior do edifício através das portas e elementos de comunicação entre os diversos compartimentos. Estes, devem apresentar permeabilidade ao ar mesmo quando fechados, para garantir a ventilação das zonas, impedindo a concentração dos poluentes existentes no ar e o excesso de carga térmica.

A ventilação cruzada, com recursos a aberturas em fachadas opostas, permite o varrimento de toda a zona, obtendo assim uma ventilação eficaz. No entanto a velocidade do ar deverá ser limitada para evitar desconforto térmico (Freitas *et al.*, 2005). O caudal de renovação pode ser dado pela equação 12.

$$Q = 956 \times C_d \times A_{eq} \times \sqrt{\Delta T \times h} \quad (12)$$

onde:

Q – caudal volúmico ($m^3 \cdot h^{-1}$);

C_d – coeficiente de descarga (-) ($C_d \approx 0,6$);

A_{eq} – área equivalente de aberturas (m^2);

ΔT - média da diferença de temperatura entre o interior e o exterior (K);

h – distancia entre o nível médio das aberturas superiores e inferiores (m).

O inverso da área equivalente é obtido de acordo com a equação 13.

$$\frac{1}{A_{eq}} = \frac{1}{\sum A_{entrada}^2} + \frac{1}{\sum A_{saida}^2} \quad (13)$$

Considera-se neste modelo que os coeficientes de descarga são iguais em todas as aberturas

Na Figura 6 representa-se a ventilação cruzada devida à diferença de temperatura, com duas aberturas por fachada.

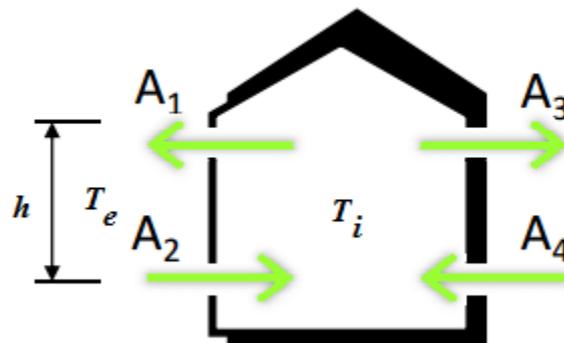


Figura 6 - Ventilação cruzada devida à diferença de temperatura, com duas aberturas por fachada (Adaptado de: Lamberts, 2009)

2.2.2.3. Ventilação unilateral

A ventilação unilateral é designada por ventilação em fachada única (*single-sided*) com uma única abertura. Normalmente, é aplicada em pequenos espaços e com profundidade reduzida. Sendo assim, a renovação do ar no interior do edifício acontece apenas por uma única fachada, a zona exposta ao exterior que se encontra sujeita às condições climáticas (Freitas *et al.*, 2005). Pode também existir ventilação unilateral tendo mais que uma fachada em contacto com o exterior. Para isso, é necessário que a envolvente do edifício seja considerado como uma só, isolando a envolvente de forma a reduzir os caudais máximos entre os compartimentos. O caudal de renovação pode ser dado equação 14.

$$Q = 101 \times A \times \sqrt{\Delta T \times h} \quad (14)$$

onde:

Q – caudal volúmico ($m^3 \cdot h^{-1}$);

A – área da abertura (m^2);

ΔT – diferença média de temperatura entre o interior e o exterior (K);

h – altura da abertura (m).

Na Figura 7, ilustra-se a ventilação unilateral devida à diferença de temperatura com uma abertura numa única fachada

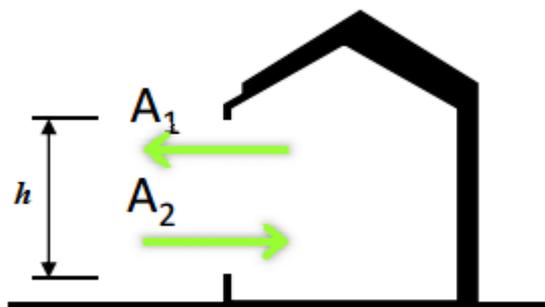


Figura 7 – Ventilação unilateral devida à diferença de temperatura com uma abertura numa única fachada. (Adaptado de: Lamberts, 2009)

A estratégia de ventilação natural por ventilação em fachada única permite a admissão e exaustão de ar através de aberturas, grelhas ou janelas, que se encontram numa única fachada. Com a implementação desta estratégia de ventilação, a admissão e exaustão de ar não ocorre corretamente em algumas situações, ou seja, quando existe alteração no trajeto natural das massas de ar, tendo em conta que a admissão e exaustão ocorre através da mesma abertura. Então para que esta estratégia seja bem implementada, as fachadas deverão estar expostas a ventos dominantes, de forma a gerar grandes diferenças de pressão entre o interior e o ambiente exterior favorecendo a taxa de infiltração. A existência de aberturas, devidamente afastadas, possibilita uma melhor circulação de ar entre os locais de admissão e exaustão.

2.2.3. Efeito combinado

A combinação do efeito chaminé (ou gradiente térmico) e a ventilação por ação do vento podem ter uma ação conjunta, garantindo a ventilação natural através de aberturas na envolvente do edifício. Estes efeitos quando em ação conjunta favorável, podem aumentar o caudal de ventilação, ou em ação oposta, podem reduzir este mesmo caudal e eventualmente anular a ventilação através das aberturas.

O caudal de ventilação gerado por este efeito combinado pode ser determinado pelos seguintes métodos: quadráticos, lineares, com adição simples das pressões geradas ou pela interação entre os efeitos. Na determinação da pressão interior, a resultante da soma individual das pressões geradas pelo efeito de chaminé e do vento, é obtida através de processos iterativos. Dos métodos indicados, o de combinação quadrática dos efeitos, permite estimar de uma forma simplificada e precisa o caudal de ventilação gerado pelo efeito combinado, de acordo com a equação 15.

$$Q_t = \sqrt{Q_w^2 + Q_s^2} \quad (15)$$

onde:

Q_t – caudal de ventilação através da abertura, devido ao efeito combinado ($m^3 \cdot h^{-1}$);

Q_w – caudal devido à ação do vento ($m^3 \cdot h^{-1}$);

Q_s – caudal devido à ação do vento e ao gradiente térmico ($m^3 \cdot h^{-1}$).

Nas condições atmosféricas (gradiente de temperatura e vento) a componente gradiente de temperatura no interior dos edifícios deve-se a diversos fatores, entre os quais as próprias atividades humanas, as características da envolvente e a localização demográfica onde o edifício está inserido. Todos estes fatores fazem com que exista um gradiente vertical de temperatura, gerando diferenças de pressão. No que diz respeito à ação do vento, são geradas variações de pressão no sentido horizontal. Na Figura 8, ilustram-se as variações de pressão causadas pelas diferenças de temperatura e ação do vento no interior dos edifícios.

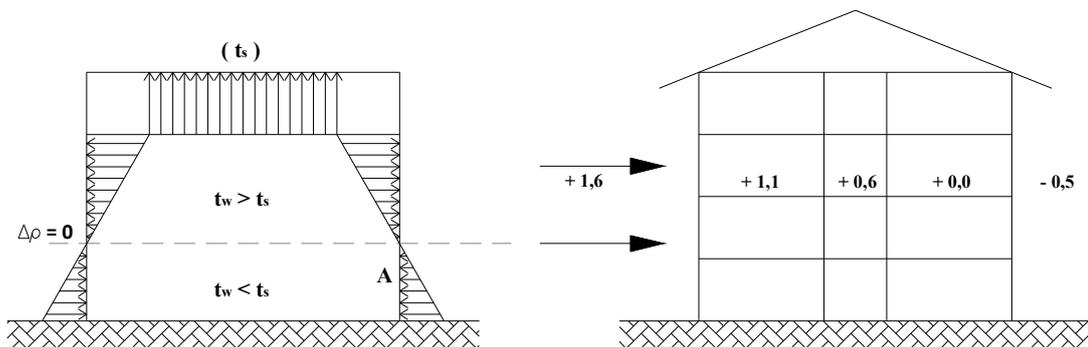


Figura 8 - Diferenças de pressão causadas pela ação do vento e pelo gradiente interno vertical temperatura

As diferenças de pressão geradas pela ação do vento, e/ou diferenças de temperatura, permitem a renovação de ar interior, contribuindo para a manutenção das condições de conforto e respetiva diluição de poluentes. No entanto, é fundamental alcançar um elevado nível de estanqueidade ao ar. A elevada estanqueidade na envolvente, possibilita a redução de infiltrações de ar e por conseguinte, um correto desempenho energético dos edifícios, mantendo níveis de ventilação recomendáveis de forma a proporcionar condições de conforto térmico aos ocupantes e Qualidade do Ar Interior (QAI).

2.3. Características da permeabilidade ao ar nos edifícios

A permeabilidade ao ar em edifícios deve-se à existência de aberturas na sua envolvente. A envolvente é composta por elementos físicos de separação entre o ambiente interior e o exterior, elementos estes, designados por espaços úteis e não úteis.

Existem outros elementos de separação, como tetos e pavimentos bem como frações autónomas adjacentes, que fazem parte da envolvente.

Nos edifícios, todos os componentes presentes na envolvente, nomeadamente, janelas, portas e outros, designam-se por aberturas, mas nem sempre este facto está associado à permeabilidade, dado que na maioria do tempo estão fechadas. No entanto, a existência de elementos como as juntas móveis e porventura dispositivos de ventilação, são considerados no estudo da permeabilidade ao ar.

Em Portugal, a maioria dos edifícios novos assenta numa estrutura de betão armado com lajes maciças ou aligeiradas. Estes pavimentos apresentam uma permeabilidade bastante reduzida, o que não se verifica com pavimentos e vigamentos em madeira, aplicados em construções mais antigas. A permeabilidade entre pisos pode constituir uma parte importante da permeabilidade global em edifícios mais antigos, devido à degradação dos vigamentos em madeira. No entanto, para pavimentos não degradados e tendo em conta a reduzida diferença de pressão interior entre habitações não são gerados caudais de ar significativos.

2.4. Infiltração

A renovação do ar interior de um edifício por ar exterior obtém-se pela diferença de pressão entre o interior e o exterior, provocando escoamentos por todos os pontos da envolvente. Os escoamentos de ar, movimentam-se através de aberturas ou frinchas/fendas não dimensionadas que permitem a passagem do ar. Estas movimentações denominam-se por infiltrações. De acordo com a norma ASHRAE 62:2001, as infiltrações são consideradas como parte da ventilação mas não da ventilação natural, o que pressupõe que as aberturas devem ser previamente dimensionadas.

Assim sendo, as infiltrações podem alterar os fluxos de ar e proporcionar alterações significativas nos consumos energéticos.

Os fluxos de ventilação não controlados, que seguem percursos através de todo o tipo de fendas/fissuras existentes nas envolventes dos edifícios, acontecem devido à existência de juntas entre elementos construtivos, à porosidade dos materiais, às caixilharias das

janelas e portas da envolvente exterior, aos espaços de instalação de condutas de ar e água, aos circuitos elétricos e às portas interiores.

2.4.1. Escoamento de ar por aberturas

O caudal de infiltrações, em teoria, pode ser determinado se forem conhecidos todos os percursos possíveis de passagem de ar, contabilizando individualmente cada uma.

Para grandes aberturas, frinchas de grande dimensão, grelhas ou condutas com área livre de grande dimensão é frequentemente utilizada a equação 16, designada *equação do escoamento por um orifício*, derivada da equação de Bernoulli ($p + 1/2 \rho v^2 + \rho gh = \text{cte}$).

$$Q = C_d \times A \times \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho_0}} \quad (16)$$

onde:

Q – caudal escoado através da abertura ($m^3 \cdot h^{-1}$);

C_d – coeficiente de perda de carga da abertura (-);

A – área da abertura perpendicular ao escoamento (m^2);

Δp – diferença de pressão estática através da abertura (Pa);

ρ_0 – densidade do ar à temperatura e pressão de referência, T_0 e p_0 (kg/m^3).

A equação 16, deve aplicar-se de acordo com algumas normas internacionais, tais como a BS 5925:1991, que contempla o modelo empírico para os fluxos de ar. O coeficiente de perda de carga pode variar devido a vários factores:

- número de Reynolds;
- configuração (forma e localização da abertura na fachada);
- ângulo de incidência do escoamento;
- diferença de temperatura entre os dois lados da abertura;
- porosidade (relação entre a área da abertura e a área da fachada).

Para a determinação da área efetiva da permeabilidade ao ar da envolvente, $C_d \times A$, de um compartimento ou fração autónoma, pode recorrer-se ao método de pressurização.

2.4.2. Escoamento de ar por frinchas

Os fluxos de ar provocados por infiltrações através de frinchas, fissuras ou juntas estreitas que atravessam o elemento da envolvente, apresentam um regime laminar. O escoamento de ar que atravessa a abertura de pequena dimensão é determinado pela equação 17.

$$Q = \left(\frac{bh^3}{12\mu L}\right) \times \Delta p \quad (17)$$

onde:

b – comprimento da abertura ou frincha (m);

h – altura da abertura ou frincha (m);

μ – viscosidade absoluta do ar ($Pa \cdot s$);

Δp - diferença de pressão entre o espaço interior e o exterior dividido pela abertura (Pa);

No entanto, para fissuras com maior dimensão, o escoamento do ar apresenta um regime transitório, entre laminar e turbulento. Através do coeficiente de permeabilidade, C , é possível simplificar a equação 17, obtendo-se a equação 18, denominada *lei de potência*.

$$Q = CA(\Delta p)^n \quad (18)$$

onde:

Q – caudal de ar escoado através da abertura ($m^3 \cdot h^{-1}$);

C – coeficiente de escoamento em função da geometria da abertura ($m^3 \cdot s^{-1} \cdot m^{-1} \cdot Pa^{-1}$);

A – área da abertura ou frincha (m^2).

Δp – diferença de pressão entre o espaço interior e o exterior dividido pela abertura (Pa);

n – expoente do escoamento (-), (n assume o valor de 0,5 em regime turbulento e 1,0 em regime laminar, quando se trata de regime transitório, entre laminar e turbulento, adota-se o valor de n igual a 0,67).

Os valores de C e n são obtidos através de ensaios experimentais e aparecem normalmente tabelados para vários tipos de situações em estudo (Orme, 2002; Leksmono, 2002). Uma vez que o caudal que atravessa uma fenda/frincha também depende da temperatura, existem expressões para a correção da permeabilidade, em função da temperatura, de frinchas/fendas, janelas (simples ou duplas), portas e paredes (Feustel *et al.*, 1990).

2.5. Modelos Preditivos

Devido ao crescimento de população nas cidades, há uma maior preocupação relativa ao seu desenvolvimento, o que proporciona um interesse de estudo na procura do equilíbrio da organização das áreas urbanas.

Sendo assim, a verificação das condições de ventilação natural em zonas urbanas com estudos modelo, associados às trocas de ar entre o interior e o ambiente exterior do edifício, auxilia a elaboração de projetos arquitetónicos, possibilitando uma maior precisão na avaliação.

O conhecimento das características específicas do escoamento do ar num determinado espaço, a taxa de ocupação bem como as variáveis ambientais (vento, humidade relativa, temperatura), que apresentam uma grande variabilidade, revestem-se assim de extrema importância, por razões de conforto e energia.

Um projeto de ventilação inicia-se pela determinação dos caudais de ar envolvidos, para garantir as taxas de renovação de ar necessárias. De seguida, torna-se importante distribuir esse caudal pelos espaços com o objetivo de dimensionar e posicionar as aberturas de insuflação e extração, garantindo que as velocidades do ar não ultrapassam os valores característicos de conforto (Amaral, 2008).

De acordo com o tipo de informação necessária, existem vários modelos e ferramentas que podem utilizar-se, que variam de algoritmos empíricos simples, para calcular a taxa de ventilação global, até técnicas sofisticadas de dinâmica dos fluidos computacional que resolvem as equações de Navier-Stokes.

Sendo assim, existem quatro tipos de aproximações para a descrição dos fluxos de ar para o caso da ventilação em edifícios, de acordo com os modelos (Amaral, 2008):

- **empíricos** (empirical models), que utilizam correlações para calcular a taxa de ventilação com a velocidade média numa zona. Através da combinação do efeito da diferença de temperatura com a velocidade do vento, para avaliar a taxa de ventilação no interior ou a velocidade do ar de um edifício, estas ferramentas são úteis para uma rápida estimativa das renovações horárias.

- **multi-zona** (multizone models), em que um edifício é representado por uma grelha, formado por um conjunto de nós que representam as zonas simuladas e o ambiente exterior. Os compartimentos do edifício são representados por nós e as aberturas são representadas por caminhos de ligação do escoamento. As pressões nos nós exteriores são conhecidas, sendo assim, as pressões nos nós interiores têm que ser determinadas para se obterem os caudais.

- **zonais** (zonal models) que é uma aproximação intermédia entre os modelos CFD e os modelos multi-zona, contudo, obtêm-se os resultados mais rapidamente que no modelo CFD e com exactidão suficiente para permitir uma previsão local do conforto térmico (Teshome, 2004; Haghghat, 2004; Megri *et al.*, 2005). Neste modelo, o espaço é dividido em diversas zonas, como no modelo multi-zona, contudo, as zonas correspondem aos fluxos esperados no interior de cada compartimento.

- **CFD** (Computational Fluid Dynamics models), em que um software, baseado na mecânica dos fluidos, prevê o escoamento nos diversos compartimentos ventilados (Allard, 1998; Awbi, 2003). Tendo em conta a necessidade de uma análise da velocidade, massa e temperatura para a determinação do conforto térmico, ventilação, qualidade do ar e eficiência energética, utilizam-se equações diferenciais. Cada uma destas equações, descreve a conservação de uma variável dependente e é integrada para cada volume de controlo.

2.6. Taxa de Rph em Ventilação Natural

O tipo de ventilação encontra-se de um modo geral interligado com as renovações horárias de uma habitação Rph, o que influencia o escoamento do ar no interior do edifício.

De acordo com as renovações horárias mínimas regulamentadas, a ventilação é influenciada parcialmente pelas condições externas e é limitada a uma taxa mínima de 0,6 renovações horárias, que segundo o RCCTE, garante o conforto e a qualidade do ar interior. A taxa de referência para a renovação do ar, deve-se às soluções construtivas ou dispositivos adoptados para o edifício ou fração autónoma.

2.7. Determinação da taxa de ventilação natural de um edifício

Para edifícios que se encontram em conformidade com os requisitos impostos pela norma portuguesa ventilação NP1037-1:2002, pode considerar-se para fins de verificação regulamentar a taxa de renovação horária de $0,6 h^{-1}$ (RCCTE, 2006).

No projeto autónomo, devem evidenciar-se alguns requisitos propostos pela norma (NP 1037-1, 2002). Um dos exemplos são as fachadas dos edifícios, que devem conter dispositivos auto-reguláveis de admissão de ar do exterior para o interior da fração autónoma. Estes dispositivos, garantem um caudal de ar unidirecional que não varia mais do que 1,5 vezes, para diferenças de pressão entre 20 e 100 Pa (sempre que tal não se verifique, os valores do Quadro 10 (Quadro IV.1 do RCCTE) devem ser agravados de 0,10). Quanto às portas que separam a zona interior do exterior ou de zonas “não úteis”, caso estejam vedadas por aplicação de borracha, ou equivalente em todo o seu perímetro e que não estejam em conformidade com a norma NP 1037-1, podem ser diminuídos de 0,05 (NP 1037-1, 2002; RCCTE, 2006).

Nos edifícios ventilados naturalmente, a taxa de renovação de ar é obtida em função da tipologia do edifício (rugosidade aerodinâmica), da permeabilidade ao ar da envolvente e da exposição do edifício ao vento. De acordo com a norma EN 12207:1999, a permeabilidade ao ar das caixilharias devem ser comprovadas por ensaios para a determinação do valor de Rph, como se exemplifica no Quadro 1.

Quadro 1 – Valores convencionais de Rph (h^{-1}) para edifícios de habitação (Quadro IV.1 RCCTE, 2006)

Classe de exposição	Dispositivos de admissão na fachada	Permeabilidade ao ar das caixilharias							
		Sem classificação		Classe 1		Classe 2		Classe 3	
		Caixa de estore		Caixa de estore		Caixa de estore		Caixa de estore	
		Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
1	Sim	0,9	0,8	0,85	0,75	0,8	0,7	0,75	0,65
	Não	1	0,9	0,95	0,85	0,9	0,8	0,85	0,75
2	Sim	0,95	0,85	0,9	0,8	0,85	0,75	0,8	0,7
	Não	1,05	0,95	1	0,9	0,95	0,85	0,9	0,8
3	Sim	1	0,9	0,95	0,85	0,9	0,8	0,85	0,75
	Não	1,1	1	1,05	0,95	1	0,9	0,95	0,85
4	Sim	1,05	0,95	1	0,9	0,95	0,85	0,9	0,8
	Não	1,15	1,05	1,1	1	1,05	0,95	1	0,9

Notas:

- 1- Quando os dispositivos instalados para admissão de ar nas fachadas não garantirem que, para diferenças de temperatura entre 20 Pa e 200 Pa, o caudal não varie mais de 1,5 vezes, os valores do quadro 2.6 devem ser agravados de 0,10.
- 2- Quando a área de vãos envidraçados for superior a 15 % da área útil de pavimento, os valores do quadro 2.6 devem ser agravados de 0,10.
- 3- Se todas as portas do edifício ou fração autónoma forem bem vedadas por aplicação de borrachas ou equivalentes em todo o seu perímetro, os valores indicados no quadro 2.6 para edifícios não conformes com a NP 1037-1 podem ser diminuídos de 0,05.

Caso a ventilação natural coexista com a ventilação mecânica, pode existir um desequilíbrio entre os caudais de insuflação e extração, o que influencia o cálculo dos valores de Rph (RCCTE, 2006).

Para a determinação da taxa de renovação de ar (Rph) de edifícios de habitação, são utilizados essencialmente dois métodos de ensaio, o de pressurização, recorrendo à “Porta Ventiladora” e utilizado no presente trabalho, e o do gás traçador.

2.8. Método de Pressurização

O método de pressurização permite caracterizar a permeabilidade ao ar da envolvente de um edifício de habitação multifamiliar através do teste de pressurização e/ou despressurização no interior de cada fração autónoma do edifício em estudo. No ensaio experimental, recorre-se a uma “porta-ventiladora” e regista-se um caudal de ar movimentado que gera um diferencial de pressão (Δp) entre o espaço interior e o ambiente exterior.

Este ensaio permite obter informação para realizar diversas análises e diagnósticos relativos às infiltrações de ar, nomeadamente:

- medição da permeabilidade ao ar e verificação da sua conformidade com a regulamentação aplicável;
- comparação da permeabilidade ao ar relativa entre vários edifícios ou parte destes;
- identificação dos locais de infiltração de ar.

A taxa de renovação de ar obtida pelo ensaio de pressurização não é uma medição direta, contudo, pode estimar-se analiticamente. Existem outros métodos que indicam a taxa de renovação de ar diretamente, entre as quais o método do gás traçador.

Este método, que recorre à utilização de um ventilador, designado por método indireto, consiste na obtenção da diferença de caudal de ar entre duas situações distintas (pressurização e despressurização), sendo utilizado para localizar as frinchas da envolvente, permitindo através dos valores obtidos das infiltrações, realizar estimativas do consumo de energia e da qualidade do ar interior. Após a obtenção dos resultados do ensaio, efetua-se a comparação dos mesmos com a respetiva norma.

Sendo assim, o método de pressurização é aplicável na previsão de valores médios da taxa de infiltração, Rph.

2.8.1. Normalização e procedimentos

Através da análise da normalização, ASTM E779:2003 (*American Society for Testing Materials*) para o método de pressurização, o intervalo de medição dos ensaios realizados devem estar compreendidos entre 10 Pa e os 60 Pa, devendo obter-se no mínimo 5 pontos, que resultam de incrementos de pressão entre 5 Pa e 10 Pa (CEN EN 13 829, 2000; ASTM E779, 2003).

Em condições climáticas normais, a pressão induzida pelo efeito combinado das diferenças de temperatura e do vento situa-se nos ± 10 Pa. Desta forma, com o objetivo de minimizar a influência causada pelo vento e pelo diferencial térmico, iniciam-se as medições a partir dos 10 Pa (Roulet, 1991).

Como referido anteriormente, as condições atmosféricas exteriores durante a realização dos ensaios influenciam significativamente os resultados obtidos. Sendo assim, este

ensaio deve realizar-se quando o produto da diferença de temperatura entre o exterior e o interior pela altura do edifício for menor ou igual a $200 \text{ m}\cdot^{\circ}\text{C}$ ou menor que $500 \text{ m}\cdot\text{K}$ (CEN, 2000; ASTM E779, 2003). No que diz respeito à velocidade do vento e à temperatura ambiente exterior, deve situar-se preferencialmente entre 0 e 2 m/s e entre 5 e 35°C respetivamente (ASTM E779, 2003).

No que diz respeito ao procedimento experimental, associado ao método de pressurização aplicado a habitações e/ou frações autónomas, indicam-se as seguintes etapas:

- preparação da envolvente para os ensaios experimentais (i.e. portas dos compartimentos abertos, janelas fechadas, sistemas AVAC e aparelhos de combustão desligados);
- colocação do caixilho da porta ventiladora ajustando-a à porta de entrada;
- medição da temperatura do ar no interior e exterior;
- verificação das condições climáticas exteriores que possibilitem a realização dos ensaios, nomeadamente a medição da velocidade do ar no exterior e respectiva orientação;
- introdução dos valores das condições ambientais no software para a correção dos caudais de ar para as condições de referência de 20°C e 1 atm;
- medição da diferença de pressão, *baseline*;
- medição da diferença de pressão na fachada do edifício em estudo;
- realização do ensaio em método automático aplicando os patamares de pressão previstos;
- análise de resultados.

Na Figura 9, ilustram-se os equipamentos utilizados no ensaio de pressurização, recorrendo à “Porta Ventiladora”.



Figura 9 - Equipamentos utilizados no ensaio de pressurização, “Porta Ventiladora”.

Através da realização dos ensaios, e tendo em conta todos os elementos da envolvente no estado de preparação, é possível determinar a permeabilidade ao ar (n_{50}) da habitação e/ou fração autónoma no seu estado actual. Para garantir a inexistência de fugas de ar nas caixilharias e nos sistemas de ventilação, efetua-se a medição da velocidade do ar, recorrendo ao anemómetro. Caso esta situação se verifique, deve proceder-se à selagem dos mesmos.

2.8.2. Método de medição e cálculo

O método de pressurização consiste na substituição de uma porta por um equipamento denominado por “Porta-Ventiladora”, ajustável a diferentes dimensões de vãos. A moldura da porta ventiladora deve instalar-se numa porta do edifício e/ou fração autónoma com ligação para o exterior e os restantes equipamentos do ensaio (computador portátil com o software TECTITE), ventilador e anéis, sistemas APT (*Automated Performance Testing*), controlador de velocidade, três tubos coloridos) são instalados no interior da fração e controlados pelo operador.

As características deste método estão focadas na medição de caudais de ar trocados entre zonas distintas. A metodologia deste processo passa pela determinação dos coeficientes característicos da permeabilidade ao ar da envolvente, com o objetivo de implementar

possíveis melhorias associadas aos diversos componentes que a caracterizam, tais como, tetos, janelas, fachadas, chaminés e pavimentos. Desta forma, a correlação entre os valores de caudais e os respetivos diferenciais de pressão são estabelecidos de acordo com a equação 19, cuja representação se encontra na Figura 10.

$$Q = C \times \Delta p^n \quad (19)$$

onde:

Q – caudal volúmico ($m^3 \cdot h^{-1}$);

C – coeficiente de escoamento do ar (-);

Δp – diferença de pressão entre o interior e o ambiente exterior (Pa) e;

n – expoente do escoamento (-);

Estes ensaios permitem localizar as frinchas da envolvente, comparar a permeabilidade ao ar entre edifícios ou verificar a eficiência após a reabilitação da envolvente (i.e. verificar as infiltrações antes e após a reabilitação). Os resultados obtidos das infiltrações podem utilizar-se para a realizar estimativas de consumo energia e da qualidade do ar interior. Por outro lado, este método tem aplicabilidade na previsão de valores médios da taxa de infiltração (Rph).

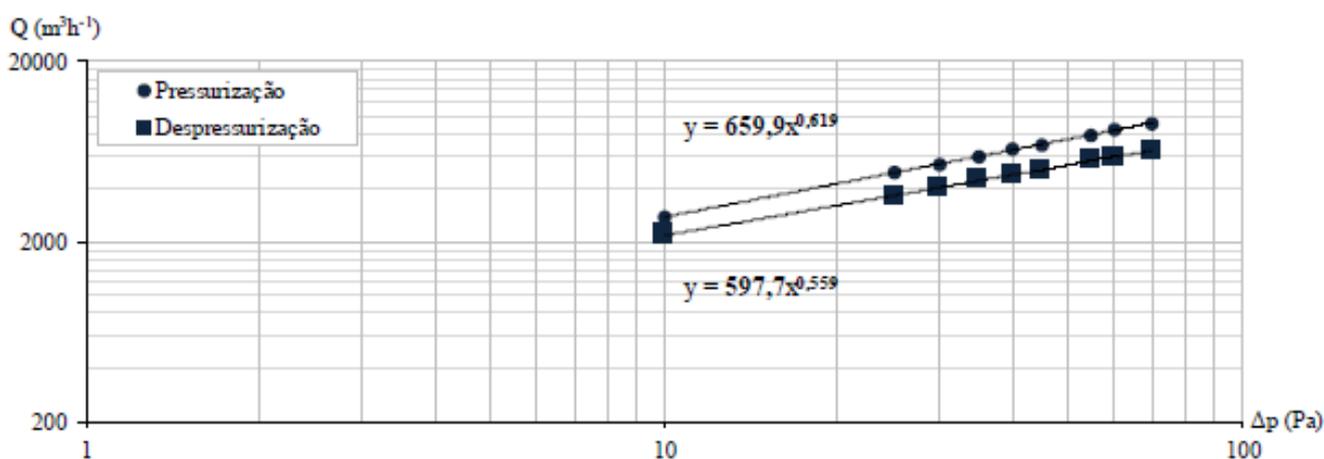


Figura 10 – Exemplo de gráfico de permeabilidade ao ar com resultado obtido em ensaios de pressurização e despressurização.

De acordo com a Figura 10, verifica-se a presença de duas curvas distintas (curva de pressurização e despressurização). Tendo em conta o tipo de frinchas e aberturas

existentes na envolvente, e de acordo com a pressão aplicada, são comprimidas ou descomprimidas, tendendo a contrair-se ou expandir-se.

Relativamente aos coeficientes das curvas (C e n) dos diferentes componentes (portas, janelas, pavimentos, tetos, chaminés, paredes e juntas entre elementos) podem encontrar-se na normalização ou regulamentação existente a nível internacional (CEN EN 12207, 1999; Orme, 2002; Leksmono, 2002).

O expoente n , por norma, apresenta valores compreendidos entre 0,5 e 1. No primeiro caso, corresponde a escoamentos turbulentos (frinchas de pequenas dimensões) enquanto no segundo corresponde a escoamentos laminares (aberturas de grande dimensão). No entanto, podem apresentar valores fora deste intervalo, devido à variação da dimensão das frinchas ou aberturas.

O coeficiente da curva n_{50} (h^{-1}), é um indicador que expressa a permeabilidade de um edifício e/ou fração autónoma a 50 Pa. Este indicador é igual ao quociente entre o caudal de ar escoado através da envolvente ($m^3 \cdot h^{-1}$) com diferencial de pressão (Δp de 50 Pa) e o volume interior do espaço ensaiado (m^3), em que avaliação é feita através de múltiplos pontos de leitura ou através de um único ponto que corresponde ao diferencial de pressão de 50 Pa, obtido pela equação 20.

$$n_{50} = \frac{Q_{50}}{V} \quad (20)$$

onde:

n_{50} – indicador que expressa a permeabilidade ao ar do edifício a 50 Pa;

Q_{50} – caudal de ar escoado através da envolvente, com Δp de 50 Pa ($m^3 \cdot h^{-1}$);

V – Volume interior do espaço ensaiado (m^3).

Então, a comparação entre edifícios pode ser feita com base em análogos ao anterior, nomeadamente, o q_{50} , que corresponde à razão entre o caudal de ar da envolvente a 50 Pa, por unidade de área da envolvente, obtido através da equação (21) ou por unidade de área de pavimento, o w_{50} , pela equação (22):

$$q_{50} = \frac{Q_{50}}{A_E} \quad (21)$$

onde:

q_{50} – indicador da permeabilidade ao ar a determinado diferencial de pressão por unidade de área de envolvente a $50Pa$;

Q_{50} – caudal de ar escoado através da envolvente, com Δp de $50 Pa (m^3 \cdot h^{-1})$;

A_E – área da envolvente (m^2).

$$w_{50} = \frac{Q_{50}}{A_E} \quad (22)$$

onde:

w_{50} – indicador da permeabilidade ao ar a determinado diferencial de pressão por unidade de área de pavimento a $50Pa$;

Q_{50} – caudal de ar escoado através da envolvente, com Δp de $50 Pa (m^3 \cdot h^{-1})$;

A_F – área de pavimento. (m^2).

Relativamente à taxa de renovação horária a $50 Pa$, pode determinar-se de acordo com a equação 23.

$$Rph_{50} = \frac{Q_{50}}{V} \quad (23)$$

onde:

Rph_{50} – Taxa de renovação horária de ar, com Δp de $50 Pa (h^{-1})$;

Q_{50} – caudal de ar escoado através da envolvente, com Δp de $50 Pa (m^3 \cdot h^{-1})$;

V – volume interior do espaço ensaiado (espaço ventilado, sem mobília, equipamentos, etc) (m^3).

2.9. Método do gás traçador

O método do gás traçador consiste na injeção de um determinado gás num compartimento ou habitação registando-se a evolução da sua concentração ao longo do tempo. Nos edifícios que recorrem à ventilação natural, com infiltrações e exfiltrações,

o presente método é o único que permite medir a distribuição dos fluxos pelos diferentes espaços dos edifícios (Amaral, 2008).

Dependendo do objetivo da medição, podem utilizar-se técnicas transientes ou estacionárias (Roulet, 1991; Vandaele, 1991):

- As técnicas transientes, são usadas para determinar a taxa de renovação de ar horária (Rph) ou a constante de tempo nominal, (τ_n). O gás traçador é injetado de modo a obter variações da sua concentração ao longo do tempo;
- As técnicas estacionárias, têm como objetivo obter ou manter uma concentração aproximadamente constante do gás traçador para estimar diretamente os fluxos de ar.

A constante de tempo nominal, τ_n , é obtida pela idade média do ar nos pontos de extração do sistema de ventilação (Roulet, 1991; Vandaele, 1991), de acordo com a equação 24.

$$q \tau_n = V \quad (24)$$

onde:

q – caudal volúmico de ar exterior ($m^3 \cdot s^{-1}$);

τ_n – constante de tempo nominal (s);

V – volume interior do espaço ensaiado (espaço ventilado, sem mobília, equipamentos, etc) (m^3).

A constante do tempo nominal é diretamente proporcional às taxas de renovação de ar horárias (equação 25).

$$\tau_n = 1/Rph \quad (25)$$

onde:

τ_n – constante de tempo nominal (s);

Rph – Taxa de renovação horária de ar (h^{-1});

Então, a taxa de renovação de ar é definida como sendo o caudal volúmico de infiltração ou extração de ar do espaço dividido pelo volume efetivo da zona/espaço.

Sendo assim, uma renovação por hora, indica que o volume total de ar que atravessa um espaço fechado numa hora é igual ao volume desse mesmo espaço.

2.9.1. Descrição das técnicas do gás traçador

Para a determinação da taxa de renovação de ar através do gás traçador, podem utilizar-se diversas técnicas, de acordo com o tipo de emissão e controlo (Afonso, 1989; Roulet, 1991; Stymne *et al.*, 2002):

- Técnica do declive (ou concentração decrescente) em regime transiente. Consiste na injeção de uma quantidade de gás traçador no espaço a medir e é estabelecida uma concentração inicial uniforme com recurso a ventiladores. Posteriormente é registada a diminuição da concentração em função do tempo de forma obter a taxa de renovação horaria (Rph). Atualmente, esta técnica é a mais utilizada, no entanto, tem como desvantagem a curta duração do ensaio, o que resulta numa taxa de infiltração de ar característica do intervalo de tempo utilizado;
- Técnica da fonte (ou concentração crescente) em regime transiente. O gás é injetado a uma taxa constante e a variação da concentração ao longo do tempo é registada. Todavia, a técnica só é utilizada para concentrações crescentes;
- Técnica da emissão constante. É uma técnica em regime estacionário, utilizada em medições prolongadas. Consiste na injeção do gás traçador a uma taxa constante e aplicável após a obtenção de uma concentração de equilíbrio (constante) ao fim de um determinado tempo. É utilizada em medições prolongadas;
- Técnica da emissão pulsada (ou pulso). Trata-se de uma técnica transiente que consiste na injeção de uma pequena quantidade de gás no espaço sendo registada ao longo do tempo a evolução da sua concentração. Contudo, devido à pequena quantidade de gás introduzida, não é aconselhável a sua utilização para o cálculo das renovações de ar quando há uma taxa de infiltração elevada no espaço em estudo;

- Técnica da concentração constante. É uma técnica em regime estacionário, usada em medições prolongadas. Consiste na injeção do gás traçador no espaço mantendo uma concentração constante ao longo do tempo. A variação da taxa de libertação de gás é registada.

As duas primeiras técnicas conduzem a resultados idênticos, ou seja, obtém-se a mesma informação independentemente do procedimento a adotar. Na prática, a técnica do declive é a mais utilizada, uma vez que não é necessário o conhecimento do valor da massa do gás traçador injetado (Afonso, 1986; Etheridge, 1996; Standberg, 1996).

2.9.2. Caraterísticas dos gases traçadores

Os gases traçadores utilizados para a determinação das renovações horarias devem obedecer a um conjunto de caraterísticas, tais como:

- Fácil deteção a baixas concentrações;
- Não deve ser inflamável ou explosivo;
- A massa volúmica deverá ser aproximadamente igual à do ar;
- Não deve ser absorvido nem produzido no local de ensaios ou reagir com o ar;
- Ausência de decomposição ou de reação com o ar;
- Não deve ser dispendioso;
- Não deve ser tóxico;
- Não deve ser alérgico;
- Não deve ser condensável.

Nenhum gás satisfaz globalmente todos os requisitos mencionados anteriormente.

No Quadro 2 é apresentado um resumo das caraterísticas dos gases mais usados na atualidade e no Quadro 3 uma análise comparativa dos mesmos.

Quadro 2 – Propriedades dos gases mais usados na atualidade (Roulet, 1991; ISO/DIS 16000-8, 2006; ASTM, 2003)

Nome	Fórmula química	Peso molecular [g/mol]	Densidade / Densidade do ar	Concentração exterior [ppm]	Limite mínimo de detecção [ppm]	Limite de exposição permitido ^(g) [ppm]
Dióxido de carbono ^(a)	CO ₂	44	1,53	360	3 ^(e)	5000
Óxido de azoto ou Protóxido de azoto ^(b)	N ₂ O	44	1,53	0,315	0,05 ^(e)	25-100
Hexafluoreto de enxofre	SF ₆	146	5,1	0,85-1,5x10 ⁻⁶	0,005 ^(e)	1000
Perfluorobenzeno - PB ^(c)	C ₆ F ₆	186	6,4 ^(d)	< 1x10 ⁻⁶	5x10 ⁻⁵ ^(f)	-
Perfluorometilbenzeno - PMB ^(c)	C ₇ F ₈	236	8,1 ^(d)	< 1x10 ⁻⁶	5x10 ⁻⁵ ^(f)	-

Notas:

- a: deve ser usado com especial cuidado devido às fontes normalmente presentes nos locais habitados. A concentração exterior deve ser tida em conta;
- b: o N₂O é produzido pelos aparelhos de combustão normalmente existentes nos edifícios residenciais;
- c: gases usados na técnica da emissão constante passiva (PFT);
- d: nas condições normais (PTN) os gases estão na fase líquida;
- e: com detetor fotoacústico;
- f: com cromatografia gasosa e detetor de captura de eletrões;
- g: concentração máxima média permitida nos locais de trabalho (8 horas de exposição).

É aconselhável que a concentração máxima seja um décimo do limite de exposição permitido. No entanto, recomenda-se uma concentração mínima de 100 vezes a concentração mínima detetável, de modo obter-se uma resposta linear do equipamento (Roulet, 1991; ASTM E 741-00, 2003).

Quadro 3 – Qualidade de alguns gases (Roulet, 1991).

Nome	Características do gás							
	Não inflamável nem explosivo	Não tóxico	Densidade próxima do ar	Não é absorvido nem reage	Fácil de analisar	Baixa concentração exterior	Sem fontes no espaço a medir	Não dispendioso
Dióxido de carbono	++	-	+	-	++	--	--	++
Óxido nítrico ou Protóxido de azoto	(a)	-	+	-	+	+	+	++
Hexafluoreto de enxofre	(b)	+	-	+	++	++	++	+
Perfluorocarbonos (PFTs)	++	++	--	++	+	++	++	++

Notas:

- Nível de qualidade: ++ Muito bom; + Bom; - Não tão bom; -- Muito mau;
- a: Não é combustível, mas é um bom oxidante a altas concentrações e temperatura;
- b: Não é combustível, mas decompõe-se em chama produzindo químicos tóxicos.

2.10. Qualidade do Ar Interior

As preocupações com a qualidade ambiental do interior dos edifícios, está relacionada essencialmente com o impacto na saúde, tendo-se revelado um tema de crescente importância. As estratégias utilizadas para a obtenção do conforto e o bem-estar dos ocupantes, são constituídas por um conjunto de ações levadas a cabo numa escala de controlo ambiental, limitada ao espaço interior dos edifícios, quer ao nível residencial quer ao nível do setor público, fomentando abordagens metodológicas específicas.

No enquadramento da saúde pública, os níveis de contaminação do ar interior nos edifícios de habitação, alcançaram uma maior importância na sociedade atual moderna. Este facto, está associado a diversos fatores, entre os quais, o aumento da atividade humana e a utilização de equipamentos, o aumento do tempo de permanência em edifícios (cerca de 90% dos ocupantes passam o seu tempo no interior dos edifícios), a colocação de caixilharias de reduzida permeabilidade ao ar, o recurso a sistemas de ar condicionado complexos (sistemas AVAC) e a maior exigência do utilizador em relação ao conforto (Estação de Aquecimento e Arrefecimento).

Inúmeros problemas de saúde e sintomatologias estão associados ao ar interior dos edifícios. Para combater esta problemática, os sistemas de ventilação e as torres de refrigeração devem ser alvo de análises e inspeções periódicas para garantir os índices da qualidade do ar no interior dos edifícios. No entanto, existem alguns edifícios já classificados de “doentes”, devido à má qualidade do ar interior. Por outras palavras, a contaminação do ar interior de um edifício pode levar à “ Síndrome dos Edifícios Doentes” (*SED*). Considera-se que um edifício está doente quando 20% dos ocupantes apresentam sintomas de doenças alérgicas e pulmonares e estes sintomas desaparecem quando estas deixam o edifício (Klinger, 2000).

Sendo assim, um “ Edifício Doente” está associado a:

- pausas prolongadas e frequentes;
- redução da eficiência do trabalho humano;
- menor produtividade em geral

Na Figura 11, mostram-se as principais fontes de queixas em relação à *QAI*

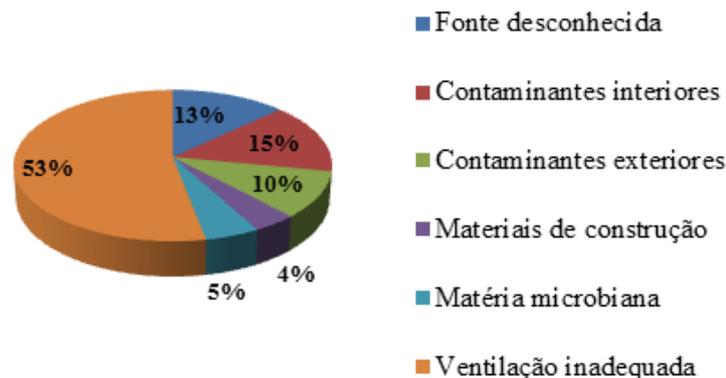


Figura 11 - Principais fontes de queixas na qualidade do ar interior (Adaptado de Hess-Kosa, 2002)

Por outro lado, um bom ambiente interior resulta da conjugação de vários parâmetros, entre os quais, a qualidade do ar do ambiente exterior, do design de espaços interiores e dos sistemas de ventilação/climatização (i.e. forma como o sistema é operado e mantido e a presença de fontes contaminantes) (Ambientális, 1999).

Nos dias de hoje, as pessoas esperam ambientes interiores saudáveis, confortáveis e produtivos. Para tal, Portugal, cumprindo a diretiva EPBD, definiu as condições mínimas de QAI para os edifícios abrangidos pelo Sistema Nacional de Certificação Energética e da qualidade do Ar Interior (SCE, 2006; RSECE, 2006; RCCTE, 2006).

O conceito de qualidade do ambiente interior (QAI) está dependente de inúmeros fatores, tais como:

- Temperatura,
- Humidade relativa,
- Velocidade do ar,
- Existência de odores,
- Concentração de microorganismos ou poeiras em suspensão no ar,
- Nível de ruído,
- Iluminação; etc.

Que podem agrupar-se em quatro parâmetros do ambiente físico:

- Qualidade higrotérmica,
- Qualidade do ar,
- Qualidade da iluminação,
- Qualidade acústica.

Na presente dissertação, serão abordados os dois primeiros parâmetros, por serem os mais relevantes para o tema da dissertação.

2.10.1. Critérios da qualidade do ar interior

O ar percebido pelos ocupantes é desejável que seja fresco e agradável, contudo, o ambiente no interior dos edifícios é contaminado por substâncias provenientes da utilização dos espaços bem como dos materiais que constituem a envolvente, (admitindo que o ar exterior não é fonte de poluição). No Quadro 4, indicam-se os principais fatores e fontes que afetam qualidade do ar interior e o conforto.

Quadro 4 – Fatores e fontes que afetam a qualidade do ar interior e o conforto (Adaptada de APAmbiente, 2009).

Fator	Fonte
Temperatura e valores extremos de humidade	Colocação imprópria dos dispositivos de medição (termóstatos), deficiente controlo de humidade, incapacidade do edifício de compensar extremos climáticos, número de equipamentos instalados e a densidade de ocupação.
Dióxido de carbono	Número de pessoas, queima de combustíveis fósseis (gás, aquecedores, etc.).
Monóxido de carbono	Emissões de veículos (garagens, entrada de ar), combustão, fumo do tabaco.
Formaldeído	Madeira prensada, contraplacado não selado, isolamento de espuma de ureia, tecidos, cola, carpetes, mobiliário, papel químico.
Partículas respiráveis	Fumo, entradas de ar, papel, isolamento de tubagens, resíduos de água, carpetes, filtros de AVAC, limpezas.
Compostos orgânicos voláteis	Fotocopiadoras e impressoras, computadores, carpetes, mobiliário, produtos de limpeza, fumo, tintas, adesivos, calafetagem, perfumes, laca, solventes.
Ventilação inadequada (ar exterior insuficiente, deficiente circulação)	Medidas de poupança de energia e manutenção, má conceção do projeto do sistema AVAC, operação deficiente de funcionamento, alteração de funcionamento do AVAC pelos ocupantes, conceção desajustada dos espaços em avaliação.
Matéria microbiana	Água estagnada em sistema AVAC, materiais molhados e húmidos, desumidificadores, torres de refrigeração e respetivos condensadores.

Estas substâncias, de acordo com as respectivas concentrações, podem ter efeitos no bem-estar dos ocupantes, podendo mesmo provocar a morte, como é o caso do monóxido de carbono (CO).

Existem ainda outros fatores de risco com consequências para a saúde, afetando a qualidade do ar interior (QAI) no edifício, sendo disso exemplo, o fumo do tabaco, a combustão nos aparelhos a gás, a lavagem e secagem de loiça e roupa, a utilização das instalações sanitárias, a atividade fisiológica humana, a preparação de alimentos e a deficiente ventilação e renovação do ar.

Todos estes fatores contribuem de uma forma geral para a acumulação de elevadas concentrações de poluentes, quando comparados com o ar exterior, podendo afetar determinadas pessoas, tais como:

- Pessoas com alergia e asma;
- Pessoas com doenças respiratórias;
- Pessoas cujo sistema imunitário está suprimido em consequências de doença ou de um tratamento médico;
- Pessoas que usam lentes de contato;
- Crianças e pessoas idosas.

Sendo assim, são frequentes as manifestações de sintomas e queixas devido a má disposição dos ocupantes, estando por vezes associados ao ruído, à sobrelotação, à luminosidade imprópria, às condições ergonómicas e stress profissional. No entanto, na maioria das vezes está relacionada com a má qualidade do ar interior, sendo esta a verdadeira responsável.

Geralmente, a má qualidade do ar interior, pode afetar negativamente o desempenho dos ocupantes, a sua saúde, o conforto e a sua produtividade (ADENE, 2009).

A forma mais viável e efetiva de manter o ar interior “limpo” é controlar os poluentes, ou tentar diminuir todas as fontes emissoras, o que nem sempre é possível ou praticável. Contudo para proporcionar condições aceitáveis de ar interior, pode recorrer-se à ventilação natural, mecânica e híbrida (RCESE, 2006; SCE, 2006).

Porém, caso a ventilação seja insuficiente ou inexistência, pode ser causadora de desconforto.

No entanto, o conceito de que a ventilação é o método mais viável para garantir uma QAI adequada, minimizando a exposição dos ocupantes a determinados poluentes, surge devido à variedade dos poluentes existentes no interior. Para poluentes provenientes do exterior e interior, tais como, partículas de óxido de azoto e partículas de monóxido de azoto, a taxa de renovação de ar, vai depender da concentração dos poluentes entre o exterior e interior (Hansen, 2004).

O esquema da Figura 12 resume os fatores que mais contribuem para a qualidade do ar no interior, salientando-se os sistemas AVAC e os ocupantes.

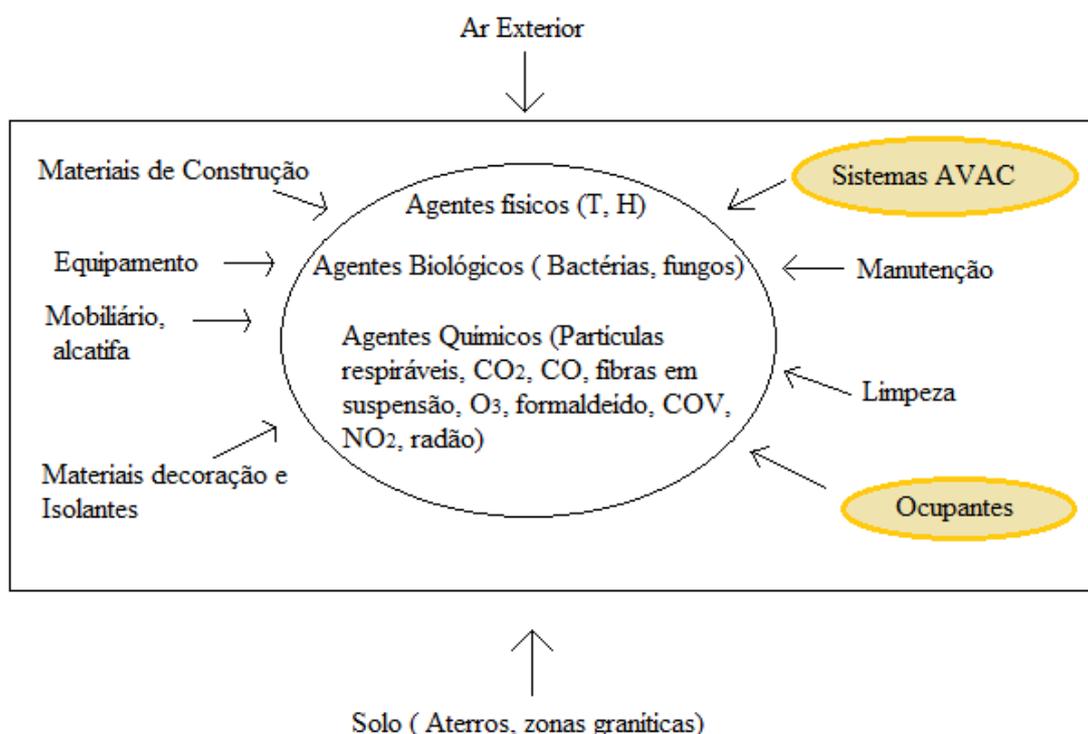


Figura 12 – Representação esquemática dos fatores que afetam a qualidade do ar interior (Adaptado de Valente, 2008)

Assim, para assegurar a qualidade do ar deve-se evitar todos os poluentes com concentrações elevadas que possam por em risco eminente a saúde dos ocupantes, proporcionando um ambiente agradável.

A nível internacional, e de acordo com o programa de combate às alterações climáticas, no âmbito do protocolo de Quioto, Portugal, enquanto membro da União Europeia,

assumiu responsabilidades ao nível do controlo das emissões de gases com efeito de estufa. Sendo assim, é fundamental a melhoria da eficiência energética dos edifícios, novos e existentes, e consequente redução dos consumos energéticos.

2.10.2. Legislação relacionada com a qualidade do ar interior

No decorrer do tempo, como estado membro da União Europeia, Portugal adotou e estabeleceu regulamentos relativamente à eficiência energética, QAI e conforto térmico, que podem ser consultados no Quadro 5.

Quadro 5 - Regulamentos nacionais relativos ao desempenho energético dos edifícios e QAI (ADENE, 2009).

Legislação	Designação	Descrição
DL 78/2006 de 4 de Abril	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade de Ar Interior (SCE).	O SCE define regras e métodos para verificar a aplicação efetiva do RCCTE e RSECE às novas edificações, bem como, numa fase posterior, aos imóveis já construídos. É uma Legislação relativa à qualidade térmica dos edifícios, com intuito de proporcionar economias significativas de energia para o país e para os utilizadores dos edifícios.
DL 79/2006 de 4 de Abril	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE).	Define requisitos para os edifícios de serviços e de habitação dotados sistemas de climatização, ao nível da qualidade da envolvente, da limitação dos consumos energéticos e da eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios. Neste regulamento, a qualidade do ar interior surge também com requisitos que abrangem as taxas de renovação do ar interior nos espaços e a concentração máxima dos principais poluentes.
DL 80/2006 de 4 de Abril	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).	Estabelece requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e de pequenos serviços sem sistemas de climatização, ao nível das características da envolvente (paredes, envidraçados, pavimentos e coberturas), limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos.

De acordo com o RSECE, em termos dos requisitos da QAI para os novos edifícios, são definidos os valores mínimos de renovação de ar por espaço, bem como a limitação dos valores máximos de concentração de poluentes, nomeadamente, o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO₂), os compostos orgânicos voláteis (COVs), o Ozono (O₃) e o formaldeído (HCHO). Todos os sistemas energéticos existentes ou construídos são obrigados a serem mantidos em condições de higiene para garantir a qualidade do ar interior (ADENE, 2009; RSECE, 2006).

No Quadro 6, apresentam-se as concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios segundo o Regulamento dos sistemas energéticos de Climatização (RSECE, 2006).

Quadro 6 - Concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios (RSECE, 2006; RCCTE, 2006).

Parâmetros	Concentração máxima de referência
Partículas suspensas no ar	0,15 mg/m ³
Dióxido de carbono	1800 mg/m ³ ^(c)
Monóxido de carbono	12,5 mg/m ³
Ozono	0,2 mg/m ³
Formaldeído	0,1 mg/m ³
Compostos orgânicos voláteis	0,6 mg/m ³
Microorganismos (bactérias ou fungos)	500 UFC/m ³ ^(d)
Legionella ^(a)	100 UFC/l ^(d)
Radão ^(b)	400 Bq/m ³

Notas:

-a: pesquisa obrigatória em edifícios com sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) com produção de aerossóis;

-b: pesquisa obrigatória em zonas graníticas, nomeadamente, nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco;

-c: presumivelmente, o valor limite do CO₂ prende-se com critérios sensoriais;

-d: UFC = unidades formadoras de colónias;

Os valores dos caudais mínimos de ar novo relativos ao tipo de atividade, regulamentados pelo RSECE, são apresentados no Quadro 7 (RSECE, 2006).

Quadro 7 - Caudais mínimos de ar novo estabelecidos no RSECE (Anexo IV Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril).

Tipo de Atividade		Caudais Mínimos de Ar Novo	
		[m ³ /(h.ocupante)]	[m ³ /(h.m ²)]
Residencial	Sala de estar e quartos	30	-
Comercial	Salas de espera	30	-
	Lojas de Comércio		5
	Áreas de Armazenamento		5
	Vestiários		10
	Supermercados	30	5
Serviços de Refeições	Salas de refeições	35	-
	Cafetarias	35	35
	Bares, salas de cocktail	35	35
	Salas de preparação de refeições	30	-
Empreendimentos Turísticos	Quartos/ Suites	30	-
	Corredores/ átrios	-	5
Entretimento	Corredores/ átrios	-	5
	Auditório	30	-
	Zona de Palco, estúdios	30	-
	Café/ foyer	35	35
	Piscinas		10
	Ginásio	35	-
Serviços	Gabinetes	35	5
	Salas de conferências	35	20
	Salas de assembleia	30	20
	Salas de desenho	30	-
	Consultórios médicos	35	-
	Salas de recepção	30	15
	Salas de computador	30	-
	Elevadores	-	15
Escolas	Salas de aula	30	-
	Laboratórios	35	-
	Auditórios	30	-
	Bibliotecas	30	-
	Bares	35	-
Hospitais	Quartos	45	-
	Áreas de recuperação	30	-
	Áreas de terapia	30	-

Através da capacidade que o homem tem em detetar a qualidade do ar através do olfato, e a sensibilidade aos produtos irritantes (sensibilidade química), proporcionou o desenvolvimento de um método para avaliar a intensidade e a concentração dos poluentes no ar. Este método desenvolveu a unidade o “olf ” no âmbito de detetar o valor da concentração sujeito a uma fonte de poluição e com uma taxa de ventilação de 10 l/s (36 m³/h) que corresponde a 1 decipol (1 decipol = 1 olf / (10 l/s) = 0,1 olf / (l/s)) para quantificar o grau de perceção da qualidade do ar detetada pelo homem (Fanger, 1988).

A perceção da qualidade do ar num espaço é de 1 decipol, com uma carga sensorial de 1 olf e quando ventilado por um caudal de 10 l/s de ar limpo (Amaral, 2008). É recomendável que seja adotada a taxa de ventilação quer ao nível de perceção da

qualidade do ar quer ao nível da necessidade de ventilação (l/s olf), Quadro 8 (Lucas, 2011; ECA, 1997).

Quadro 8 – Níveis de percepção da qualidade do ar (EUR 14449 EN, 1992).

Nível de Qualidade (categoria)	Percepção da qualidade do ar		Necessidade de ventilação ^(a) l/s olf
	% de insatisfação	decipol	
A	10	0,6	16
B	20	1,4	7
C	30	2,5	4

Notas:

- a: Estas necessidades de ventilação constituem exemplos exclusivamente para percepção da qualidade do ar. Os valores aplicam-se somente a ar de insuflação limpo com eficiência de ventilação 1.

A percepção da qualidade do ar refere-se à capacidade que o ser humano tem de se adaptar a situações de odor desagradável, mas não tem essa capacidade quando se trata de situações de irritabilidade.

Desta forma, a percepção da qualidade do ar, pode ser expressar-se em função do número de pessoas que ao entrarem num determinado espaço consideram o ar inaceitável (i.e. percentagem de insatisfeitos).

As atividades que decorrem no interior dos edifícios originam uma elevada taxa de poluentes no ambiente. No Quadro 9, é indicado o nível de poluição provocado pelos ocupantes para diferentes níveis de atividade.

Quadro 9 – Nível de poluição em função da atividade (Adaptado de Lucas, 2011).

Nível de atividade	olf
Pessoa sentada (1 met)	1
Pessoa em atividade (4 met)	5
Pessoa em grande atividade (6 met)	11
Fumador (a fumar)	25
Fumador (média)	6

Para a garantia do conforto térmico e da QAI são estabelecidas no RCCTE as condições de conforto de referência para ambientes interiores, Quadro 10 (RCCTE, 2006).

Quadro 10- Condições de conforto de referência para ambientes interiores (Adaptado de RCCTE, 2006).

Estação	Descrição	Temperatura (°C)	Humidade (%)
Aquecimento	Período do ano com início no primeiro decêndio posterior a 1 de Outubro em que para localidade, a temperatura média diária é inferior a 15°C e com termo no último decêndio anterior a 31 de Maio em que a referida temperatura ainda é inferior a 15°C.	20	-
Arrefecimento	Conjunto dos quatro meses de Verão (Junho, julho, Agosto e Setembro) em que é maior a probabilidade de ocorrência de temperaturas exteriores elevadas que possam exigir arrefecimento ambiente em edifícios com pequenas cargas internas.	25	50

2.11. Conforto térmico global

O conforto térmico pode ser visto e analisado sob dois pontos de vista: pessoal e/ou ambiental. No ponto de vista pessoal, o conforto térmico é definido como uma condição que expressa a satisfação em relação ao ambiente térmico (EN ISO 7730: 2005). Do ponto de vista físico, confortável é o ambiente cujas condições de manutenção da temperatura interna não sejam dependentes de sistemas termorreguladores, i.e., o organismo humano encontra-se em balanço térmico com o meio ambiente.

O Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE, 2006) estabelece um nível mínimo de conforto térmico nas habitações. Para além de o apresentar como uma garantia dos cidadãos, estabelece ainda uma limitação no consumo de energia associado.

Desta forma, o conforto térmico assume uma grande importância na saúde e bem estar das pessoas para que estas alcancem o nível de concentração necessário para realizarem as suas atividades (Tirone, 2007).

No entanto, nem sempre é possível alcançar o máximo de conforto térmico, contudo, as temperaturas interiores devem manter-se numa determinado gama, denominada zona de conforto térmico.

O conforto térmico depende de diversos fatores:

- Atividade associada à produção de energia no interior do corpo humano (atividade metabólica).
- Resistência térmica das roupas (vestuário);
- Temperatura do ar ambiente (T_{ar});
- Temperatura média de radiação do meio ou das superfícies vizinhas (T_{mr});
- Temperatura operativa (T_{op});
- Velocidade do ar (v_{ar});
- Humidade relativa do ar (H_r).

Através do modelo desenvolvido por Fanger (1980), que recorreu a câmaras climáticas para controlo das condições de temperatura, humidade e velocidade do ar, os indivíduos, que permaneciam no seu interior, respondiam a questionários de acordo com as suas sensações térmicas. Tendo em conta as respostas obtidas e as equações teóricas sobre as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente, Fanger, considerou parâmetros individuais ou de grupo e parâmetros ambientais, recorrendo a métodos estatísticos para analisar os resultados obtidos (Abrantes, 2012).

Em termos matemáticos, a expressão do balanço térmico entre o corpo e o meio envolvente (Fanger, 1972), é traduzida pela equação 26.

$$S = (M - V) - (Q_{SK} + Q_{res}) \quad (26)$$

onde:

S – taxa de calor acumulado no corpo (W/m^2);

W – taxa de trabalho mecânico realizado (W/m^2);

Q_{SK} – taxa total de calor perdido pela pele (W/m^2);

Q_{res} – taxa total de calor perdido pela respiração (W/m^2).

Assim, para se proporcionar conforto térmico, será necessário a obtenção de condições ambientais que proporcionem a neutralidade térmica a um maior número de pessoas possível para um determinado tipo de atividade.

De forma a caracterizar o tipo de sensação térmica a que o corpo humano está sujeito durante o exercício de diferentes tipos de atividade, utilizando diferentes tipos de vestuário, de acordo com os fatores ambientais que interferem no equilíbrio térmico do corpo humano, foi definida uma escala de sensação térmica, representada no Quadro 11 (Fanger, 1970; EN ISO 7730, 2005; ASHRAE 55,2010).

Quadro 11 - Escala de sensação térmica de 7 pontos (Adaptado de: Fanger, 1970; EN ISO 7730:2005; ASHRAE 55:2010)

Sensação Térmica	PMV
Muito quente	+3
Quente	+2
Ligeiramente quente	+1
Neutra	0
Ligeiramente frio	-1
Frio	-2
Muito frio	-3

A atividade influencia a produção de calor associada ao metabolismo humano (M). A unidade utilizada para a taxa de metabolismo é designada por met , em que 1 met (situação de repouso, acordado) corresponde a uma produção de calor por unidade de superfície do corpo humano de $58,2 \text{ W/m}^2$.

O vestuário é, neste contexto, caracterizado por um determinado nível de isolamento térmico (I_{cl}). A resistência térmica convencional do vestuário (I_{cl}) expressa-se em clo , em que 1 clo corresponde a $0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{C/W}$. para vestuário de inverno e $0,15 \text{ clo}$ para vestuário de verão.

De acordo com a escala apresentada no Quadro 9, foi estabelecido Voto Médio Previsível, o índice PMV (*Predicted Mean Vote*), que a partir das condições ambientais, atividade física e tipo de vestuário, permite obter um valor médio esperado dos votos dos indivíduos (Fanger, 1997).

Uma vez que o índice PMV permite estimar um valor médio dos votos dos indivíduos, por outro lado, será útil estimar o voto médio previsto dos indivíduos insatisfeitos, isto é, que se sentem desconfortáveis para um dado PMV . Então, o índice PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied*), % previsível de pessoas desconfortáveis, procura estabelecer uma estimativa da percentagem de indivíduos insatisfeitos com o meio ambiente. A

percentagem de insatisfeitos sob a condição de conforto é calculada a partir do índice PMV.

A relação do índice *PMV* com a percentagem de indivíduos insatisfeitos *PPD* é representada na Figura 13.

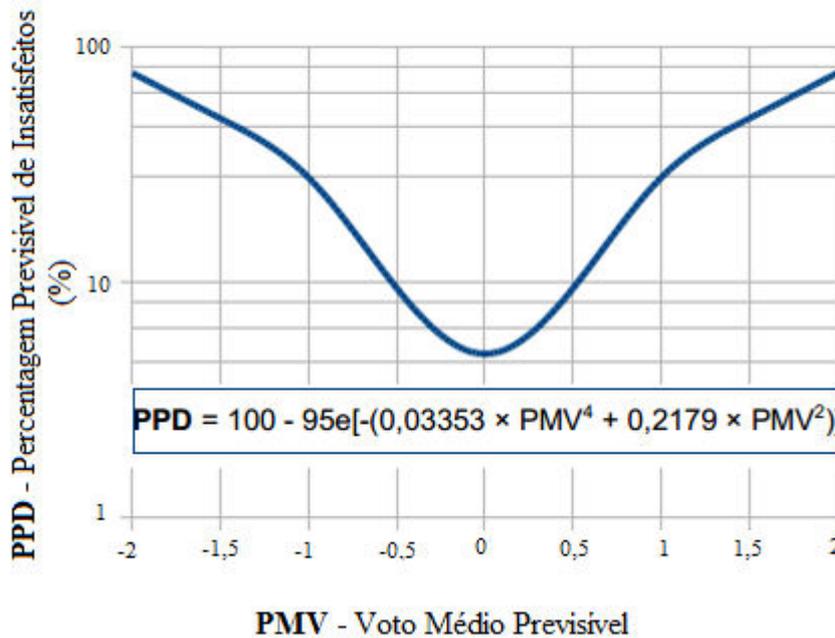


Figura 13 – Relação entre os índices PPD e PMV (Adaptado de EN ISO 7730, 2005).

Na Figura 13, verifica-se a existência de conforto térmico quando $PMV=0$, a que corresponde uma percentagem mais baixa de insatisfeitos, aproximadamente 5%. Verifica-se também uma simetria em relação ao ponto PMV igual a zero, o que significa que existem sensações térmicas de calor e de frio com a mesma percentagem de insatisfeitos.

A percentagem de pessoas insatisfeitas sob a condição de conforto é calculada a partir do índice PMV de acordo com a equação 27.

$$PMV = (0,303e^{-0,036M} + 0,028) \times S \quad (27)$$

onde:

M – metabolismo humano (W/m^2);

S – taxa de calor acumulado no corpo (W/m^2).

O PMV não prevê o voto de conforto individual, uma vez que os indivíduos divergem nas suas preferências térmicas. Desta forma, prevê um conforto médio num grupo de indivíduos expostos ao mesmo ambiente térmico, utilizando o mesmo vestuário e nível de atividade física.

A norma ISO 7730:2005 estabelece três categorias de conforto térmico global (ver o Quadro 12). Os valores propostos pela norma ASHRAE 55:2010 são coincidentes com a categoria B do Quadro 10 (EN ISO 7730, 2005; ASHRAE 55, 2010)

Quadro 12 – Categorias de ambiente térmico global (Adaptado de EN ISO 7730, 2005).

Categoria	Estado térmico global do corpo	
	<i>PPD</i> [%]	<i>PMV</i>
A	< 6	$-0,2 < PMV < +0,2$
B	< 10	$-0,5 < PMV < +0,5$
C	< 15	$-0,7 < PMV < +0,7$

No entanto, quando os valores ultrapassam os limiares de conforto (80% e 90% de aceitabilidade/satisfação) deve recorrer-se aos sistemas AVAC de modo a manter os limites de aceitabilidade (ANSI/ASHRAE 55: 2010).

Em função da humidade relativa, da atividade metabólica desenvolvida, da resistência da roupa e da temperatura resultante, são definidas duas zonas de conforto, para o Inverno e Verão respetivamente, de acordo com a norma ASHRAE 55:2010 (ver Figura 14).

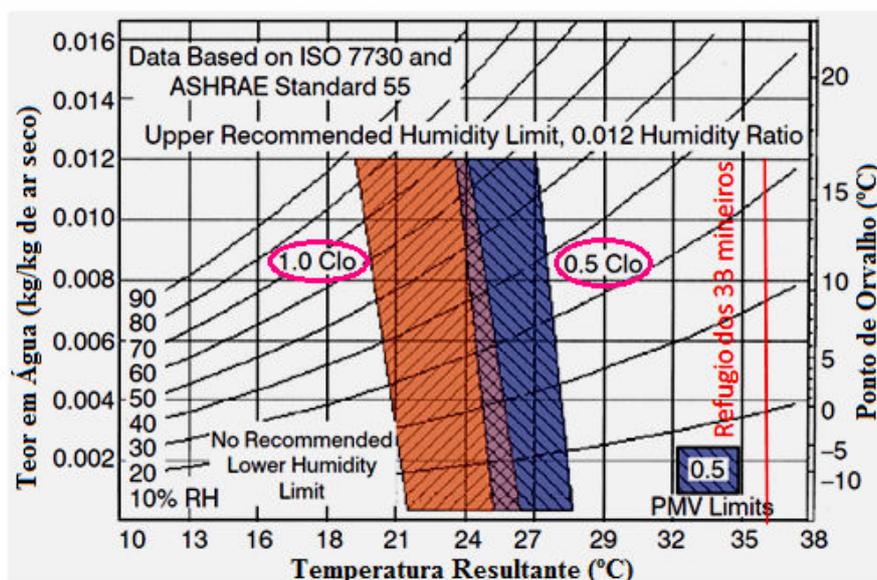


Figura 14 – Zonas de conforto de Inverno e de Verão (Adaptado de ASHRAE 55, 2010).

Os investigadores de Dear and Brager (1998), concluíram que o índice *PMV* é um método bastante exigente e rigoroso quando é utilizado para prever a % de insatisfeitos em edifícios climatizados. No entanto, sobrestima as sensações térmicas de conforto dos habitantes em edifícios com ventilação natural (Abrantes, 2012).

Com a ventilação natural, os limites da temperatura operativa podem ser alargados. As diferentes experiências térmicas, troca de roupas, disponibilidade de controlos e mudanças nas expectativas dos ocupantes, permitem alargar esses limites. Estudos de campo têm mostrado que a resposta térmica dos ocupantes nestes ambientes depende em parte do clima externo, podendo diferir da resposta térmica em edifícios com sistema central de ar condicionado.

A norma americana ASHRAE 55:2010 contém um método para determinar condições térmicas aceitáveis em espaços naturalmente ventilados e apresenta-se na Figura 15 o modelo da norma ASHRAE 55:2010 com duas classes de conforto (80% e 90% de aceitabilidade / satisfação).

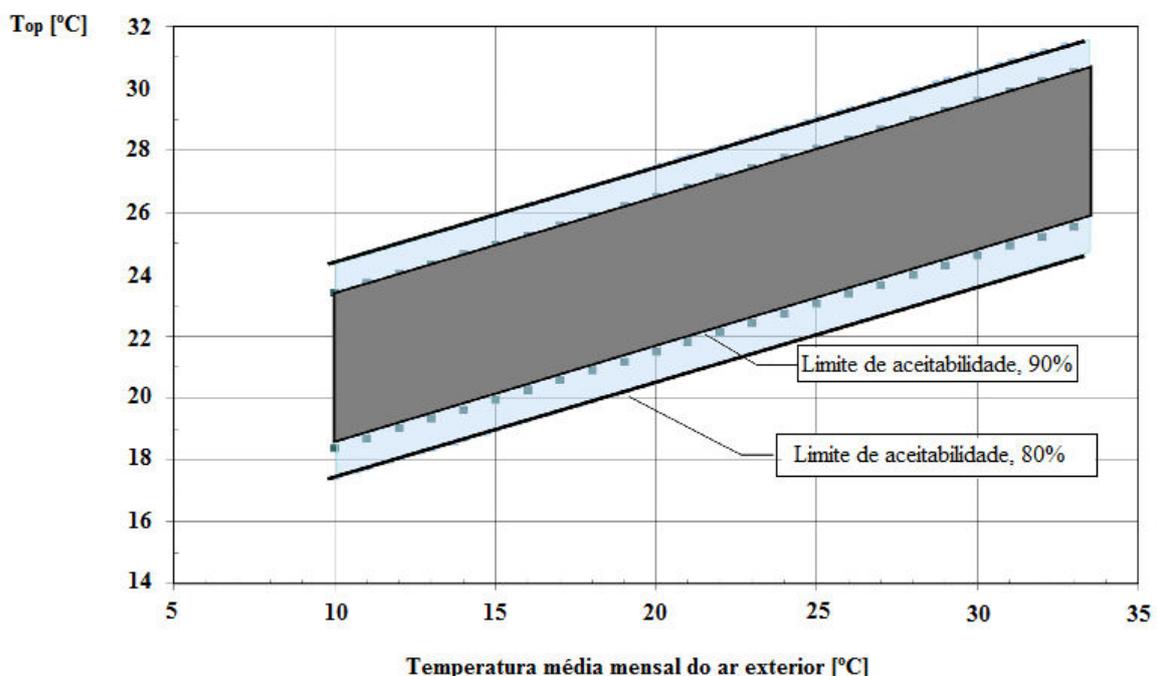


Figura 15 – Gamas de temperaturas aceitáveis para edifícios ventilados naturalmente (Adaptado de ASHRAE 55, 2010).

Observando a Figura 15, verifica-se que é possível, depois de uma adaptação ao ambiente, obter temperaturas de conforto mais elevadas, prescindindo de sistemas de climatização.

2.11.1. Equilíbrio térmico e trocas de calor

O conforto térmico resulta das trocas de calor entre o corpo humano e o meio ambiente, ou seja, quando a sensação do indivíduo é de conforto térmico, a sua produtividade de trabalho é máxima.

Por outro lado, quando as condições térmicas ambientais causam sensações de frio ou de calor, significa que o organismo está a perder mais ou menos calor que o necessário para a manutenção da homeotermia. Consequentemente, poderá provocar baixo rendimento ou mesmo a perda total de capacidade de trabalho e causar problemas de saúde (ANSI/ASHRAE 55, 2010).

Sendo a temperatura interior do corpo de aproximadamente 37°C, as alterações só irão ocorrer quando a temperatura do ambiente ultrapassa determinados limites (Lechner, 2000). Desta forma, há um desequilíbrio da temperatura interna, o que implica variações de temperaturas extremas.

A Figura 16 ilustra os limites da temperatura ambiente e humidade relativa para o conforto humano.

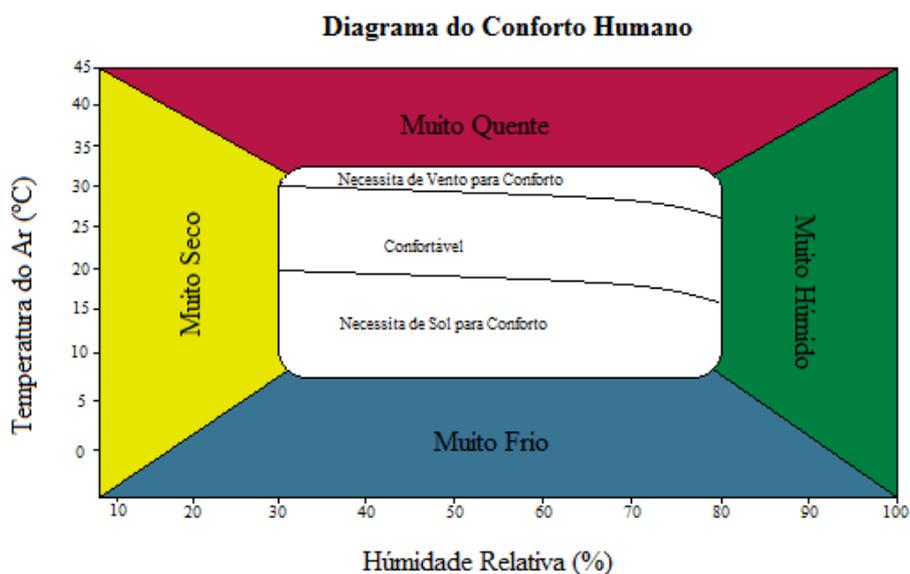


Figura 16 – Diagrama do conforto térmico humano (Adaptado de Nogueira & Nogueira, 2003).

Na Figura 16, verifica-se que o corpo humano não necessita de sistemas termorreguladores quando as temperaturas do ar se situam entre os 20°C e os 30°C, e a humidade relativa entre os 30% e 80%. Porém, quando a temperatura se encontra abaixo dos 20°C ou acima dos 30°C e a humidade relativa for inferior a 30% e superior a 80%, há necessidade de acionar os sistemas termorreguladores para que o corpo humano entre novamente em equilíbrio térmico.

No âmbito do equilíbrio térmico, o metabolismo do corpo humano, com a queima de calorias e a produção de energia, gera o calor interno do corpo, trocando-o com o meio ambiente. Esta troca é realizada através dos mecanismos, representados na Figura 17.

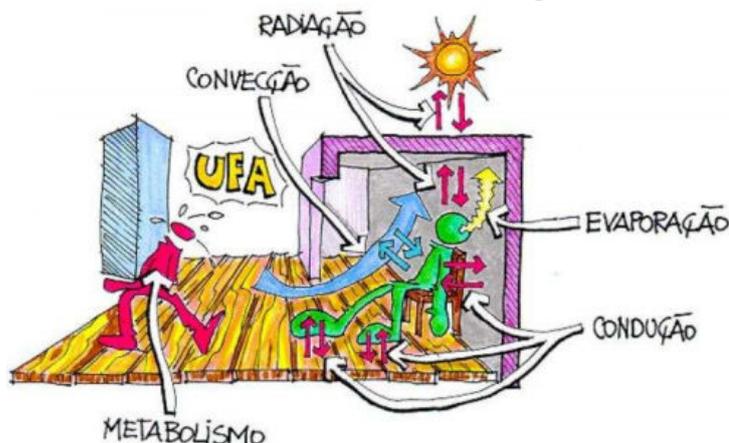


Figura 17 – Representação das trocas de calor entre o corpo humano e o meio ambiente (Adaptado de Dutra, 1997).

A quantidade de calor libertado pelo corpo humano ocorre em função da atividade desenvolvida pelo Homem. Este calor é dissipado através de mecanismos de trocas térmicas entre o corpo humano e o meio envolvente, nomeadamente:

- **Convecção:** troca de calor para o meio ambiente resultante da diferença de temperatura entre a pele/roupa e o ar ambiente;
- **Radiação:** troca de calor direta entre pele/roupa e as superfícies envolventes devido às respetivas diferenças de temperatura;
- **Respiração:** troca de calor com o ambiente devido à diferença de temperatura entre o ar que se inspira e o ar que se expira;
- **Evaporação:** calor dissipado para o ambiente pela evaporação de água à superfície da pele.

Os três primeiros mecanismos indicados resultam, em condições “normais”, da dissipação de calor. Contudo, existem situações que contribuem para o aquecimento do corpo humano, como as temperaturas do ar e de superfície muito altas. No entanto, a evaporação é sempre um mecanismo de dissipação de calor, em que a água ao evaporar absorve o calor do corpo humano, favorecendo o seu arrefecimento, independentemente das condições ambientais que nos rodeiam (Lamberts, 2002; Krause, 2005).

2.11.2. Condições de conforto térmico

Para que o corpo humano se encontre em condições de conforto térmico, o alcance da neutralidade térmica não é suficiente, tendo em conta o risco de este ser afetado pelo desconforto localizado, estando sujeito a uma assimetria de radiação significativa, a correntes de ar e ao piso frio ou quente (Lamberts, 2002).

Porém, um indivíduo quando atinge a neutralidade térmica e se encontre efetivamente em conforto térmico, verifica-se que a temperatura da pele e a taxa de secreção de suores estão dentro dos limites aceitáveis, de acordo com a sua atividade (Fanger, 1972; Lamberts, 2002). Na Figura 18 estão representadas as condições necessárias para o conforto térmico.

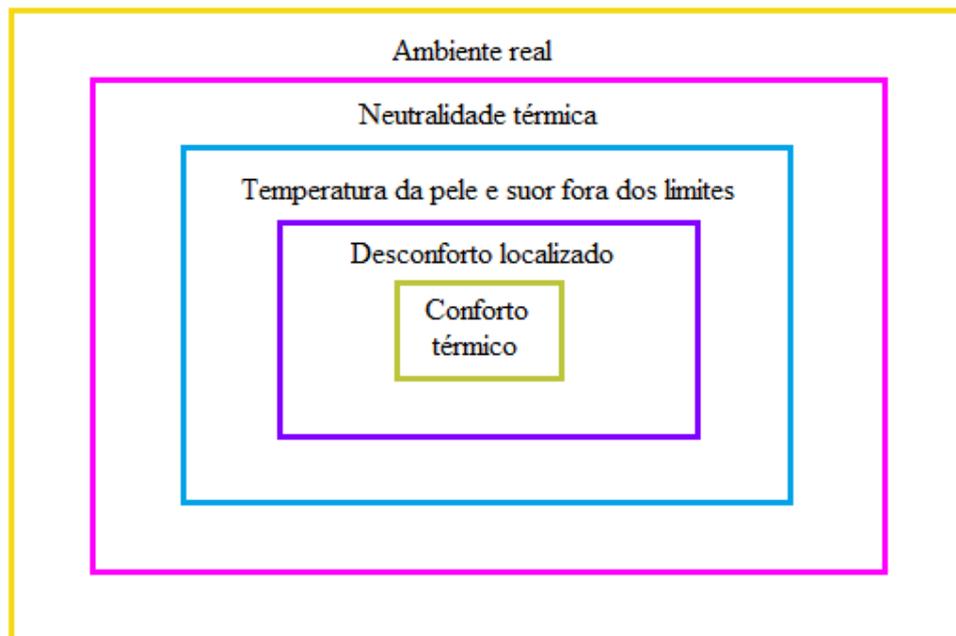


Figura 18 – Representação das condições necessárias para o conforto térmico (Adaptado de Lamberts, 2002).

2.11.3. Desconforto térmico local

Existem vários fatores térmicos que podem causar desconforto localizado a um indivíduo, independentemente da atividade a desempenhar. Estes fatores, não atingem o corpo humano como um todo, mas apenas uma parte, embora o indivíduo se sinta satisfeito com a temperatura do corpo como um todo, está desconfortável.

Entre os principais fatores que causam desconforto, destacam-se quatro:

- A **assimetria de radiação térmica** (ou radiação não uniforme), causada por janelas frias, superfícies não isoladas, bocas de fogões e calor provocado por equipamentos domésticos entre outros (ASHRAE55, 2010). O indivíduo de certa forma tem uma parte do corpo atingida por efeitos de radiação térmica diferenciáveis, ou seja, quanto maior for esse diferencial maior será o desconforto. Para a resolução deste desconforto térmico, houve a necessidade de manter uma certa neutralidade térmica, e desta forma minimizar o fenómeno de desconforto.
- As **correntes de ar**, causadoras pelo arrefecimento de uma parte do corpo humano causado pelo movimento do ar, problema bastante comum em ambientes ventilados. Quando ocorre grande movimento de ar, os indivíduos, reagindo de forma natural, aumentam a temperatura ambiente ou desligam o sistema de ventilação, o que por vezes implica um aumento do desconforto local.
- A **Diferença de temperatura do ar no sentido vertical**, na maioria dos ambientes interiores, verifica-se devido ao aumento da temperatura do ar à medida que a altura do edifício aumenta. Se o gradiente de temperatura entre a região da cabeça e o tornozelo for elevado, ocorre desconforto por calor ao nível da cabeça e por frio ao nível dos pés, estando o corpo humano como um todo em neutralidade térmica. Se a temperatura ao nível da cabeça for inferior à do tornozelo não haverá desconforto térmico, tendo em conta que os indivíduos são mais tolerantes quando a cabeça está mais fria (Erikson et al., 1997; ASHRAE55, 2010).

- **O Piso quente ou frio**, quando em contato direto com os pés, provoca desconforto local. A constituição do piso (i.e. existência de: isolamento térmico, material cerâmico e/ou madeira, materiais de construção etc.) é um fator que influencia o gradiente de temperatura. Quando os indivíduos estão em contato com um piso muito frio, há a necessidade de aumentar a temperatura no ambiente interior recorrendo a sistemas de aquecimento, possibilitando o aumento do desconforto térmico, o que contribui para o aumento do consumo de energia (Lamberts, 2002). Por outro lado, quando os indivíduos se encontram calçados, o revestimento do piso poderá não assumir uma importância significativa, contudo, quando se encontram descalços verifica-se o inverso.

Dos fatores mencionados, as correntes de ar são um dos grandes fatores de desconforto local e uma das maiores fontes de queixa. Este, pode quantificar-se através de um parâmetro designado por “taxa de corrente de ar”, DR (%), *Draught risk*, em que é estimada a percentagem de pessoas desconfortáveis pela corrente de ar. A taxa de corrente de ar calcula-se através da equação 28.

$$DR = (34 - T_{ar}) \times (\nu_{ar} - 0,05)^{0,62} (0,37 \nu_{ar} T_u + 3,14) \quad (28)$$

onde:

- T_{ar} : temperatura do ar [°C] ($20^{\circ}\text{C} < T_{ar} < 26^{\circ}\text{C}$);
- ν_{ar} : velocidade média do ar [m/s] ($\nu_{ar} < 0,5$ m/s);
- T_u : intensidade da turbulência local definida como sendo a razão entre o desvio padrão da velocidade e a velocidade média no local, em % ($10\% < T_u < 60\%$).

Para temperaturas elevadas (estação de arrefecimento: $T_{ar} > 26^{\circ}\text{C}$), a velocidade do ar pode ser favorável quando existe controlo pessoal da abertura de janelas ou de ventiladores existentes no teto, pois permite temperaturas de conforto.

No entanto, em atividade sedentária (1,2 met), a temperatura pode ser superior à temperatura de conforto no máximo de 3°C e a velocidade média deve ser no máximo de 0,82 m/s (ISO 7730, 2005).

Portanto, é de salientar que o desconforto local pode ser mais complexo do que o desconforto global uma vez que o estado térmico global do corpo é inadequado, logo a insatisfação aceitável é menor (i.e. diferenças de temperatura do ar na vertical ou assimetria de radiação (Viegas, 2000).

3. METODOLOGIA

3.1. Enquadramento

Para avaliar a taxa de renovação de ar (Rph) de edifícios de habitação foram estudados dois edifícios multifamiliares, (Edifício A e B, localizados em Vila Nova de Famalicão e Vila de Joane, respetivamente). No Edifício A, foram estudadas 6 habitações, três frações autónomas de tipologia T₄ e três de tipologia T₃ (2º ao 4º piso). No Edifício B, apenas foi estudada uma fração autónoma de tipologia T₃ (3º piso).

O método de ensaio para a determinação dos fluxos de ar, de acordo com os sistemas de ventilação, bem como da permeabilidade ao ar das componentes que integram a envolvente, designam-se pelo método de pressurização e despressurização.

Este ensaio que recorre à “Porta Ventiladora” foi o método usado na campanha experimental realizada, com o objetivo de caracterizar a permeabilidade ao ar de frações autónomas de acordo com a Figura 19. Essa caracterização é feita em conformidade com a norma EN 13829:2000 (EN 13829, 2000).

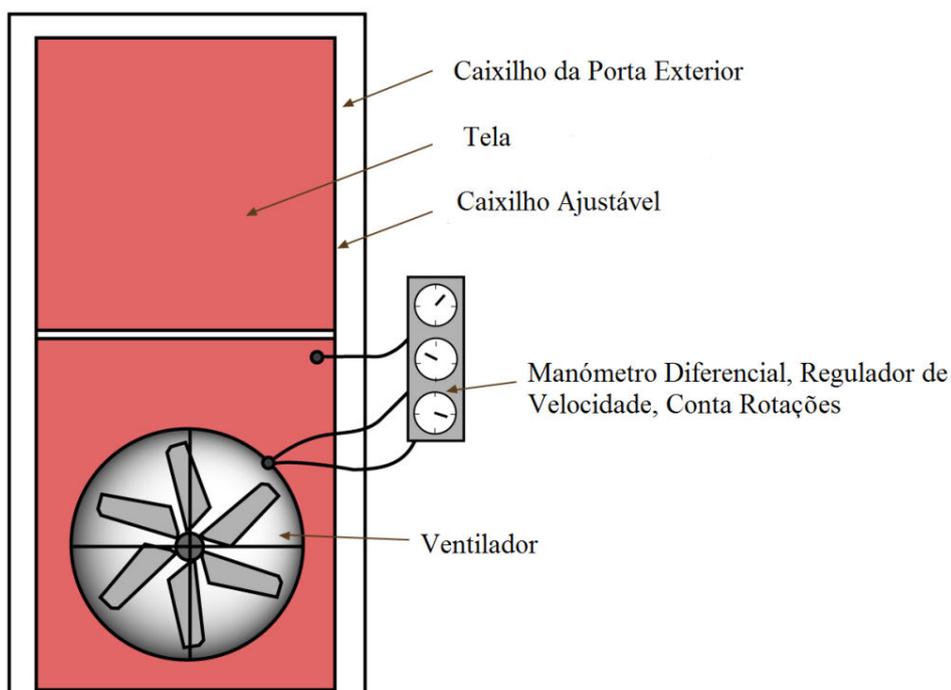


Figura 19 – Esquema do princípio do método da “Porta-Ventiladora” (Adaptado de EN 13829, 2000).

De modo a ser possível recolher dados para a realização dos ensaios das diversas frações autónomas dos edifícios estudados, foi efetuado o levantamento das áreas dos dispositivos de ventilação (janelas, grelhas de admissão e exaustão de ar e respetivas condutas). Para além disso, foram efetuadas as medições da velocidade do vento e da diferença de temperatura entre o interior e o ambiente exterior para cada fração autónoma A e B de tipologia T₄ e T₃, respetivamente, em diferentes pisos.

Na realização destes ensaios nas duas frações autónomas A e B foram efetuados um ensaio de pressurização e despressurização, exceto no 3º piso em que se procedeu à repetição dos ensaios tendo em conta o fluxo de pessoas no edifício.

3.2. Procedimento de ensaio

3.2.1. Montagem do equipamento

O procedimento consiste na montagem da porta ventiladora ajustando-a à caixilharia da porta de entrada de cada fração autónoma até a realização do ensaio, manual ou com o *software* TECTITE, para a obtenção dos valores, parâmetros e índices descritos no capítulo 2 da presente dissertação.

Na montagem do equipamento, há uma serie de tarefas que são necessárias ter em consideração. A primeira tarefa consiste na montagem da caixilharia de alumínio e ajustá-la às dimensões da porta a utilizar para a realização do ensaio de pressurização e/ou despressurização. Na Figura 9 ilustra-se a caixilharia em alumínio na porta de ensaio e a tela de *nylon* que é ajustada à caixilharia através de fitas adesivas nos cantos para aumentar a estanqueidade (este procedimento é necessário devido à configuração da porta de ensaio). Com esta tarefa realizada procede-se à colocação do ventilador na porta de ensaio numa posição segura e orientada de acordo com o ensaio pretendido.

Ligado ao APT *system* estão uma série de tubos que permitem obter o valor de varias pressões em diversos locais da habitação, Figura 9. Normalmente, um tubo é colocado

para o exterior da habitação e/ou fração autónoma a ser ensaiada e um outro (ou mais) para dentro da habitação.

3.2.2. Ensaio de pressurização/despressurização com *software* TECTITE

Depois de a porta ventiladora estar corretamente instalada e as tarefas de selar, fechar ou abrir para preparar o local para o ensaio estarem concluídas, pode dar-se início aos ensaios de pressurização/despressurização (de salientar que é necessário alterar a posição do ventilador bem como do operador, interior ou exterior, dependendo do tipo de ensaio que se pretende realizar).

Para tal existem dois métodos para a realização destes ensaios, o método automático e o método manual. Nos ensaios realizados utilizou-se o método automático. O software utilizado para a realização dos ensaios está de acordo com a norma EN 13829.

Para introduzirmos as variáveis é necessário iniciar um novo teste, no menu inicial, Figura 45. As variáveis a introduzir são:

- Volume, V (m^3)- Volume total da habitação e/ou fração autónoma. Se a cave for incluída deve-se executar o ensaio com a porta aberta entre a cave e a habitação;
- *Surface Area*, A_E (m^2)- Área da envolvente exterior da habitação;
- *Floor area*, A_F (m^2)- Área total de todos os elementos pertencentes ao volume interior;
- *Uncertainly of Building Dimensions* – Percentagem usada para calcular a incerteza;
- *Barometric pressure* (Pa) – Utilizado para correção de densidades. O valor utilizado foi de 101325 Pa (pressão atmosférica) de acordo com a norma EN13829;
- *Building Wind Exposure* – Deve ser selecionado o valor que mais se adequa à velocidade do vento durante a realização dos ensaios.

- *Test mode* – Permite seleccionar o ensaio de pressurização ou o ensaio de despressurização;
- *Indoor Temperature and Outdoor Temperature* (°C) - Temperatura no interior e exterior da habitação.

Após a introdução das variáveis torna-se possível iniciar os ensaios de forma automática seleccionando o botão *Start Test*, quer para o ensaio de pressurização ou despressurização. O software pedirá de seguida para cobrir o ventilador e como primeira tarefa é calculado o diferencial de pressão de fluxo nulo inicial.

De seguida e com o ventilador descoberto, inicia-se o registo dos caudais de infiltração para diferenciais de pressão entre 25 Pa e 60 Pa.

Durante o ensaio torna-se necessário alterar o anel utilizado sempre que surja uma indicação para tal, substituindo-o por um de menor dimensão.

4. CARATERIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS

Os edifícios estudados estão localizados no centro da cidade de Vila Nova de Famalicão, na rua Luís Barroso número 205, denominado Edifício Vera Cruz (Edifício A), e na Vila de Joane na Rua de Telhado, Bloco C, número 116, denominado Edifício Central 2 (Edifício B).

4.1. Caraterização do Edifício A

4.1.1. Localização e descrição do espaço envolvente

O Edifício A possui uma área de implantação de 277 m² e a fachada principal está orientada a Noroeste, tendo um edifício situado em frente e afastado 15 m com cerca de 26 m de altura. A Sudoeste e a Nordeste situam-se edifícios adjacentes confinados ao edifício estudado. Estes dois edifícios designam-se por blocos e foram construídos durante o mesmo período, com uma área de implantação igual ao edifício em análise e com uma altura aproximada de 26 m. A Sudeste, o edifício em estudo não está obstruído por outros edifícios, de acordo com as Figura 20 e 21.



Figura 20 – Localização do Edifício Vera Cruz (Imagem Adaptada de *Google Earth*TM: Satélite).



Figura 21 – Localização do Edifício Vera Cruz (Imagens Adaptadas de *Google Earth™*: Street View).

4.1.2. Caracterização geral das frações.

O Edifício A, construído em 2002, é um edifício misto, ou seja, de serviços e de habitação multifamiliar. O rés-do-chão é destinado a serviços e os restantes sete pisos são destinados a habitação. Cada piso de habitação é composto por duas frações autónomas de tipologia T₃ (B) e T₄ (A), com área útil de aproximadamente 135m² e 161m², com exceção do sétimo, uma vez que se trata de uma única fração de tipologia T₅ cuja área útil é de 222,80 m² (Figura 22 e 23).

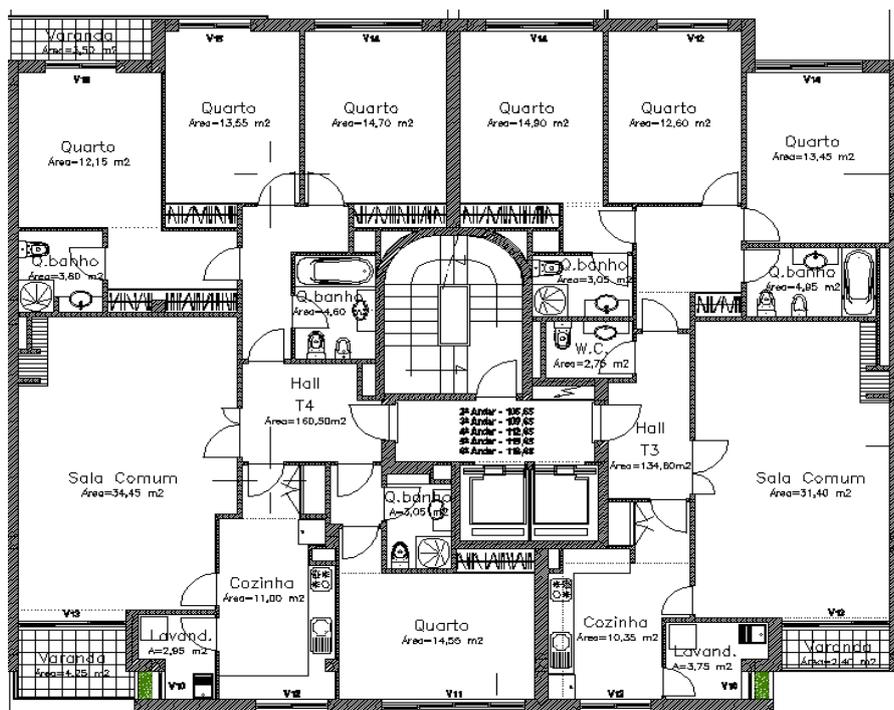


Figura 22 – Plantas das frações autónomas do 2º ao 6º piso do Edifício A.

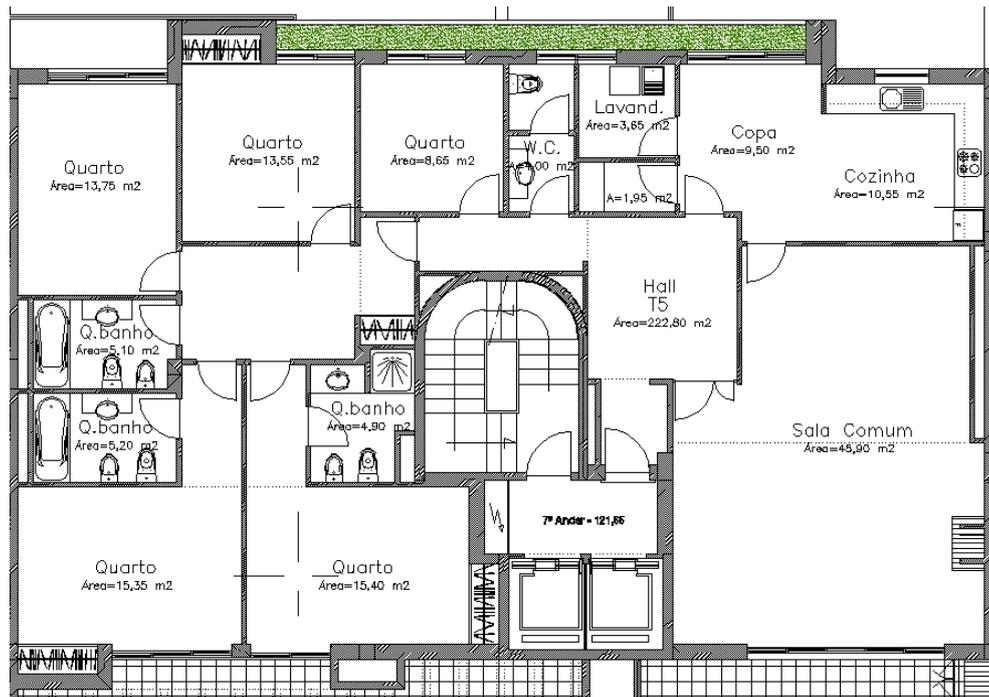


Figura 23 – Planta da fração autónoma do 7º piso do Edifício A.

A fachada principal e posterior são constituídas por paredes duplas em alvenaria de tijolo e revestimento em azulejo e são devidamente isoladas. As caixilharias da envolvente são consideradas caixilharias correntes, com vidro duplo, estrutura em alumínio com espessura de 35 mm e de correr. (Figura 24).



Figura 24 – Caixilharia em alumínio da fachada principal do Edifício A.

4.1.3. Caracterização das frações estudadas

Na presente dissertação, procedeu-se ao estudo das frações autónomas A, T₄, e B, T₃, do 2º ao 4º piso, ou seja, seis frações autónomas (três frações de tipologia T₃ e três frações de tipologia T₄).

Os pavimentos das referidas frações autónomas são em soalho flutuante, com exceção das zonas de serviço, que são revestidos a tijoleira, tal como os espaços comuns do edifício.

Relativamente aos sistemas de ventilação natural, verifica-se a existência de uma grelha fixa de exaustão e admissão de ar, localizada na padieira da janela da cozinha, orientada a Noroeste (Figura 25).



Figura 25 – Grelha de exaustão e admissão de ar no Edifício A.

Nas zonas de serviço (cozinha e WC), verifica-se a existência de sistemas mecânicos de extração, cujo funcionamento é pontual e descontínuo, (Figura 26). No que diz respeito ao diâmetro das condutas da cozinha e WC são de 150 mm e 100 mm respetivamente.



a)



b)

Figura 26 – Sistemas mecânicos no Edifício A . a) Exaustor da cozinha b) Extrator do WC.

O aquecimento de cada fração autónoma do edifício em estudo é levado a cabo por radiadores instalados nas paredes divisórias, devidamente ligados a uma caldeira. Contudo, existe um recuperador de calor da lareira instalado na sala comum, cujo diâmetro da conduta é de 150 mm (Figura 27).



Figura 27 – Recuperador de calor da lareira instalado na sala comum do Edifício A.

4.2. Caracterização do Edifício B

4.2.1. Localização e descrição do espaço envolvente

O Edifício B possui uma área de implantação de 248 m² e a fachada principal orientada a Sudeste, tendo um edifício situado em frente, constituído por três blocos, com cerca de 13 m de altura e afastado 14 m, com características idênticas ao edifício estudado. A Sudoeste encontra-se um edifício adjacente confinado ao edifício estudado. Este foi construído durante o mesmo período, com uma área de implantação igual ao edifício em análise e com uma altura aproximada de 13m. A Noroeste e a Nordeste, encontra-se uma área considerável de vegetação. Desta forma, este edifício encontra-se inserido numa zona mista (Figura 28).

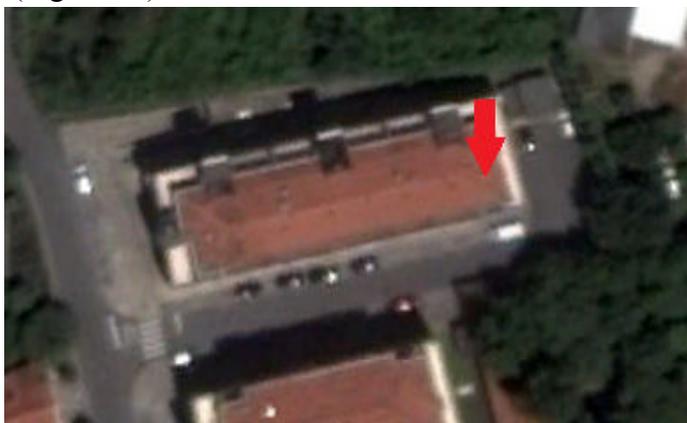


Figura 28 - Localização do Edifício B (Imagens Adaptadas de *Google Earth*TM: Satélite).

4.2.2. Caraterização geral

O Edifício B, é um edifício construído em 2001 de habitação multifamiliar, constituído por rés-do-chão e quatro pisos. Cada piso de habitação é composto por duas frações autónomas (tipologia T₂ e T₃), com área útil de aproximadamente 80 m² e 99 m² (Figura 29) com exceção do piso 4.

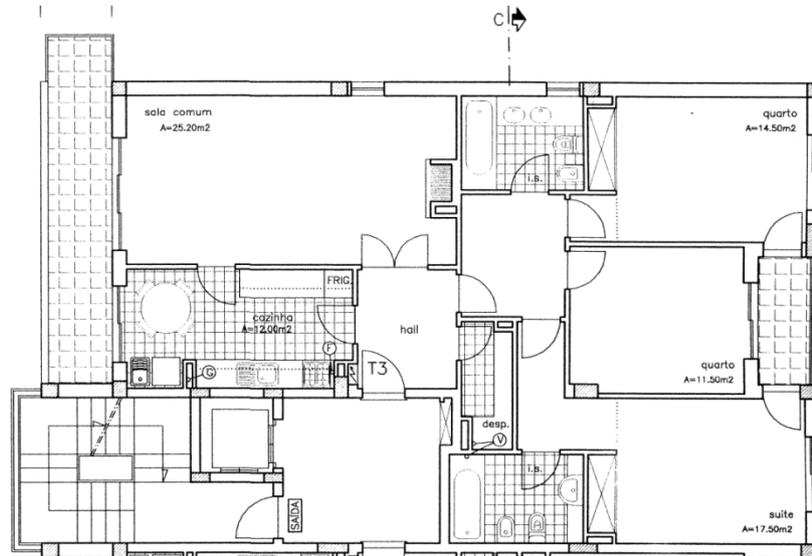


Figura 29 – Planta da fração autónoma T₃do 3º piso do Edifício Central 2.

A fachada principal e posterior são constituídas por paredes duplas isoladas, em alvenaria de tijolo e revestimento em alvenaria de blocos. As caixilharias da envolvente são consideradas caixilharias correntes, com vidro duplo e estrutura em alumínio com espessura de 28 mm. O tipo de abertura das mesmas são de correr e basculantes (Figura 30).



Figura 30 – Caixilharia basculante em alumínio da fachada orientada a Nordeste do Edifício B.

4.2.3. Caraterização da fração estudada

No Edifício B efetuou-se apenas a análise da fração B, de tipologia T₃, no 3º piso do Bloco C, ou seja, uma fração autónoma.

Os pavimentos da fração autónoma estudada são em parquet, com exceção das zonas de serviço, que são revestidos a tijoleira, tal como os espaços comuns do edifício.

Relativamente aos sistemas de ventilação natural, verifica-se a existência de uma grelha fixa de exaustão e admissão de ar, localizada na padieira da janela de sacada da cozinha, orientada a Noroeste (Figura 31).

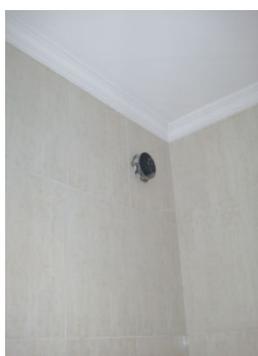


Figura 31 – Grelha de exaustão e admissão de ar no Edifício B.

Nas zonas de serviço, verifica-se a existência de um exaustor na cozinha cujo funcionamento é pontual e descontínuo. No WC, orientado a Sudoeste, existe uma conduta aberta, para uma eventual instalação do extrator de ar. O WC orientado a Nordeste, é ventilado através de uma janela basculante (Figura 32). No que diz respeito ao diâmetro das condutas da cozinha e WC são de 130 mm enquanto que a secção da janela é de $610 \times 850 \text{ mm}^2$.



a)



b)



c)

Figura 32 – Sistemas mecânicos no Edifício B . a) Exaustor da cozinha b) Conduta de ventilação do WC e c) Ventilação pela janela.

O aquecimento da fração autónoma é efetuado através de uma lareira situada na sala comum, uma vez que os radiadores e respetivo sistema de aquecimento não se encontram ligados/instalados. A referida lareira possui uma chaminé com secção de $190 \times 60 \text{ mm}^2$ (Figura 33).



Figura 33 – Lareira da sala comum Edifício B.

5. RESULTADOS DA AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA PERMEABILIDADE AO AR DA ENVOLVENTE

A presente dissertação tem como objetivo a avaliação da taxa de renovação do ar das diversas frações autónomas estudadas, identificar os locais por onde ocorrem as infiltrações e os principais problemas existentes nos edifícios associados à ventilação. Sendo assim, avaliou-se:

- A permeabilidade ao ar das diversas frações autónomas, nomeadamente a renovação horária global ($R_{ph_{50}}$), utilizando o ensaio da “Porta Ventiladora”.
- Os dispositivos de ventilação nas diversas frações autónomas, nomeadamente as grelhas de admissão, grelhas de extração e eventualmente sistemas de ventilação mecânica.

5.1. Resultados dos Ensaios

5.1.1. Resultados dos ensaios das frações no Edifício A

No edifício localizado em Vila Nova de Famalicão, denominado Edifício A, efetuaram-se ensaios de pressurização e despressurização, no dia 1 de Junho pelas 10h (ver Anexo A.4.1. e A.4.2. – Quadro 24 a 27), do 2º ao 4º piso de todas as frações, A e B, de tipologia T_4 e T_3 , cujos resultados estão apresentados nos Quadros 13, 14, 15, 16 e 17, para diferenciais de pressão entre 25Pa e 60 Pa, com incrementos de 5 Pa. Nos referidos quadros, são apresentados os valores do caudal de ar (Q_{50}), o indicador n_{50} , os valores de permeabilidade por unidade de área de pavimento (w_{50}) e de permeabilidade por unidade de área de envolvente (q_{50}) a 50 Pa.

Os valores de referência dos coeficientes C e expoente n foram determinados de acordo com as curvas de pressurização e despressurização, após o ajuste efetuado dos resultados obtidos nos diferentes ensaios de acordo com a equação 19.

Na Figura 34, representa-se o gráfico do ensaio de pressurização realizado na fração autónoma A do 3º Piso.

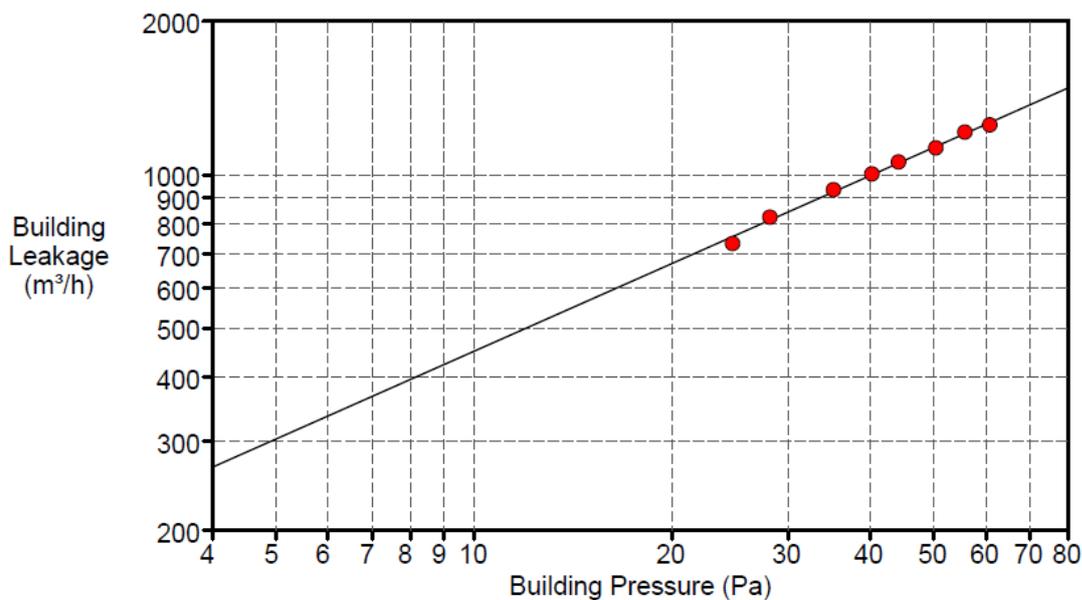


Figura 34 – Representação do caudal de ar em função do diferencial de pressão na fração autónoma A do Edifício A.

A exatidão dos valores apresentados encontram-se de acordo com a norma EN 13829:2000 e foram registados no software TECTITE, utilizado no ensaio da “Porta Ventiladora”.

Quadro 13 - Resultados de carácter experimental de ensaio de pressurização no piso 2.

Parâmetros	T ₃		Média	T ₄		Média
	Pressurização	Despressurização		Pressurização	Despressurização	
Q_{50} (m ³ .h ⁻¹)	1095	1041	1068	1167	1113	1140
±	0,1%	0,3%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
n_{50} (h ⁻¹)	3,07	2,92	3,00	2,74	2,62	2,68
w_{50} (m ³ .h ⁻¹ .m ⁻²)	8,14	7,74	7,94	7,27	6,93	7,10
q_{50} (m ³ .h ⁻¹ .m ⁻²)	25,72	24,45	25,09	20,21	19,26	19,74
C	101,3	87,8	94,6	113,3	112,2	112,8
±	2,0%	3,5%	2,8%	2,2%	2,8%	2,5%
N	0,609	0,632	0,621	0,596	0,586	0,591
±	0,5%	0,9%	0,7%	0,6%	0,7%	0,7%
R	0,99977	0,99938	0,99958	0,99971	0,99954	0,99963

Quadro 14 - Resultados de carácter experimental de ensaio de pressurização no piso 3.

Parâmetros	T ₃		Média	T ₄		Média
	Pressurização	Despressurização		Pressurização	Despressurização	
Q_{50} (m ³ .h ⁻¹)	1097	1028	1063	1132	1128	1130
±	0,2%	0,2%	0,2%	0,5%	0,3%	0,4%
n_{50} (h ⁻¹)	3,08	2,88	2,98	2,66	2,65	2,66
w_{50} (m ³ .h ⁻¹ .m ⁻²)	8,15	7,64	7,9	7,05	7,03	7,04
q_{50} (m ³ .h ⁻¹ .m ⁻²)	25,76	24,13	24,95	19,59	19,53	19,56
C	104,9	95,6	100,3	120,5	104,4	112,5
±	2,7%	3,2%	3,0%	6,4%	4,6%	5,5%
N	0,600	0,607	0,604	0,573	0,608	0,591
±	0,7%	0,8%	0,8%	1,7%	1,2%	1,5%
R	0,99957	0,99942	0,99950	0,99746	0,99884	0,99815

Quadro 15 - Resultados de carácter experimental de ensaio de pressurização no piso 4.

Parâmetros	T ₃		Média	T ₄		Média
	Pressurização	Despressurização		Pressurização	Despressurização	
Q_{50} (m ³ .h ⁻¹)	1094	1016	1055	1176	1128	1152
±	0,1%	0,2%	0,2%	0,3%	0,3%	0,3%
n_{50} (h ⁻¹)	3,07	2,85	2,96	2,77	2,65	2,71
w_{50} (m ³ .h ⁻¹ .m ⁻²)	8,13	7,54	7,84	7,33	7,03	7,18
q_{50} (m ³ .h ⁻¹ .m ⁻²)	25,69	23,84	24,77	20,37	19,53	19,95
C	104,6	89,4	97,0	116,4	112,3	114,4
±	1,7%	2,3%	2,0%	3,4%	3,5%	3,5%
N	0,600	0,621	0,611	0,591	0,590	0,591
±	0,4%	0,6%	0,5%	0,9%	0,9%	0,9%
R	0,99984	0,99972	0,99978	0,99930	0,99927	0,99929

No Quadro 16 e 17, apresenta-se uma síntese dos resultados obtidos nos ensaios experimentais, nomeadamente o n_{50} e os valores médios do coeficiente C e n , obtidos nos ensaios de pressurização nas frações A e B dos 3 pisos estudados.

Quadro 16 - Síntese dos resultados obtidos nos ensaios de pressurização na fração autónoma A-T₄

PISO	P2	P3	P4
n_{50} (h ⁻¹)	2,74	2,66	2,77
$Q=C.\Delta p^n$	113,3 $\Delta p^{0,596}$	120,5 $\Delta p^{0,573}$	116,4 $\Delta p^{0,591}$
R	0,99971	0,99746	0,99930

Quadro 17 - Síntese dos resultados obtidos nos ensaios de pressurização na fração autónoma B-T₃.

PISO	P2	P3	P4
$n_{50} (h^{-1})$	3,07	3,08	3,07
$Q=C.\Delta p^n$	$101,3\Delta p^{0,609}$	$104,9\Delta p^{0,600}$	$104,6\Delta p^{0,600}$
R	0,99977	0,99957	0,99984

5.1.2. Resultados dos ensaios da fração do Edifício B

No edifício localizado na Vila de Joane, denominado Edifício B, efetuaram-se ensaios de pressurização e despressurização no 3º Piso, fração B, de tipologia T₃. Foram realizados dois tipos de ensaios, um deles com a conduta do WC e da chaminé selada e outra aberta (Figura 35), para diferenciais de pressão entre 25Pa e 60 Pa, com incrementos de 5 Pa, cujos resultados estão apresentados no Quadro 18 e 19.



a) Chaminé selada e aberta

b) Conduta selada e aberta

Figura 35 – Preparação da chaminé e da conduta do WC para o ensaio de pressurização e despressurização.

No Quadro 18 e 19, são apresentados os valores de caudal de ar a 50 Pa (Q_{50}), o indicador n_{50} , os valores de permeabilidade por unidade de área de pavimento (w_{50}) e de permeabilidade por unidade de área de envolvente (q_{50}) a 50 Pa.

Os valores de referência dos coeficientes C e expoente n foram determinados de acordo com as curvas de pressurização e despressurização, após o ajuste efetuado dos resultados obtidos nos diferentes ensaios de acordo com a equação 19.

Na Figura 36, representa-se o gráfico do ensaio de pressurização realizado na fração autónoma B do 3º Piso com a chaminé e conduta do WC aberta no Edifício B.

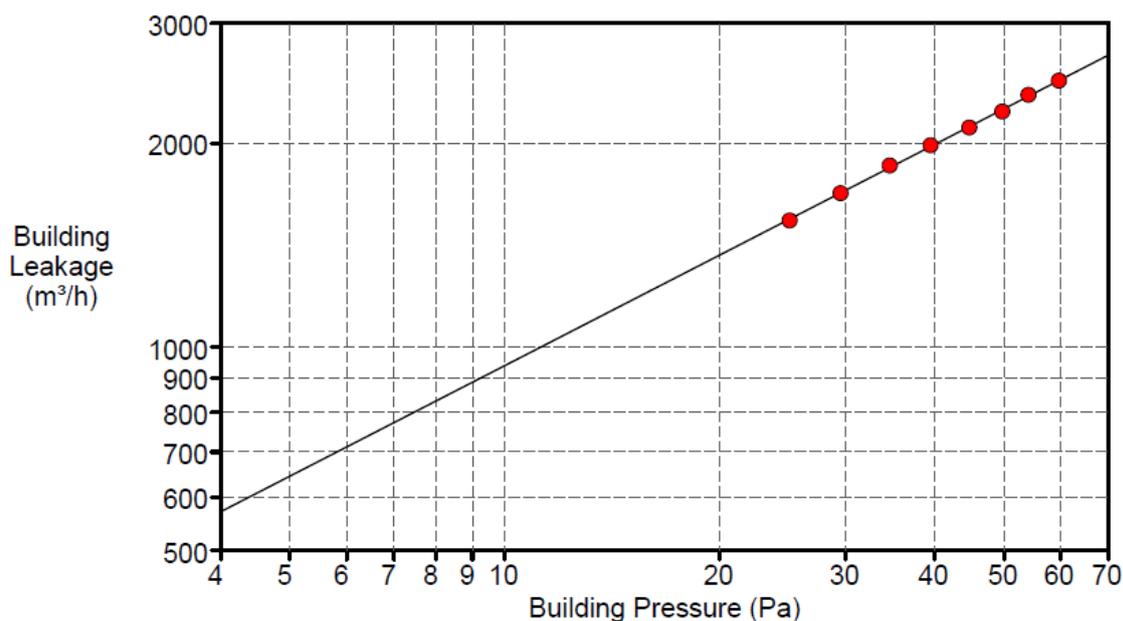


Figura 36 - Representação do caudal de ar em função do diferencial de pressão na fração autónoma B do Edifício B, com a chaminé e conduta do WC aberta.

A exatidão dos valores apresentados encontram-se de acordo com a norma EN 13829:2000 e foram registados no software TECTITE, utilizado no ensaio da “Porta Ventiladora”.

Quadro 18 - Resultado de carácter experimental do ensaio de pressurização com a chaminé e a conduta selada no piso 3.

Parâmetros	T ₃		Média
	Pressurização	Despressurização	
Q_{50} (m ³ ·h ⁻¹)	1671	1803	1737
±	0,4%	0,3%	0,4%
n_{50} (h ⁻¹)	6,63	7,16	6,90
w_{50} (m ³ ·h ⁻¹ ·m ⁻²)	16,85	18,18	17,52
q_{50} (m ³ ·h ⁻¹ ·m ⁻²)	21,95	23,69	22,82
C	203,7	207,0	205,4
±	5,1%	3,6%	4,4%
N	0,538	0,553	0,546
±	1,3%	1,0%	1,2%
R	0,99814	0,99911	0,99863

Quadro 19 - Resultado de caráter experimental do ensaio de pressurização com a chaminé e a conduta aberta no piso 3.

Parâmetros	T ₃		Média
	Pressurização	Despressurização	
Q_{50} (m ³ .h ⁻¹)	2247	2257	2252
±	0,2%	0,2%	0,2%
n_{50} (h ⁻¹)	8,92	8,96	8,94
w_{50} (m ³ .h ⁻¹ .m ⁻²)	22,66	22,76	22,71
q_{50} (m ³ .h ⁻¹ .m ⁻²)	29,52	29,65	29,585
C	269,4	241,3	255,4
±	2,6%	2,3%	2,5%
N	0,542	0,571	0,557
±	0,7%	0,6%	0,7%
R	0,99953	0,99968	0,99961

No Quadro 20, apresenta-se uma síntese dos resultados obtidos nos ensaios experimentais, nomeadamente o n_{50} e os valores médios do coeficiente C e n , obtidos no ensaio de pressurização na fração B do piso 3 do Edifício B.

Quadro 20 - Síntese dos resultados obtidos nos ensaios de pressurização na fração autónoma B, em diferentes condições de ensaio C1 e C2.

	C1	C2
n_{50} (h ⁻¹)	8,92	6,63
$Q=C. \Delta p^n$	$269,4\Delta p^{0,542}$	$203,7\Delta p^{0,538}$
R	0,99953	0,99814

Nota:

C1 – Chaminé e Conduta Aberta

C2 – Chaminé e Conduta Selada

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1. Avaliação dos Resultados dos ensaios das frações autónomas do Edifício A

6.1.1. Permeabilidade e Caudal de ar

Através da análise dos resultados nas frações T₄, do Edifício A, verificou-se que a permeabilidade ao ar é elevada em todas as frações de acordo com o Quadro 16.

Quanto às frações T₃ do mesmo edifício, verifica-se uma uniformidade nos valores obtidos para a permeabilidade (Quadro 17), tendo em conta que os ensaios nas referidas frações foram realizados em momentos de baixo fluxo de pessoas no edifício o que poderá explicar-se pela não abertura de forma sistemática da porta da entrada principal e das portas das frações em frente, as T₄, excetuando no 3º piso que houve a necessidade de realizar dois ensaios devido ao fluxo de pessoas que se encontravam durante a realização deste ensaio.

Sendo assim, verifica-se uma elevada permeabilidade ao ar em todo o edifício (ver Anexo A.6.1. - Quadro 33 e 34) o que está relacionado com os componentes da envolvente, como janelas, portas e sistemas de ventilação utilizados (Ver Anexo A.7.1. Quadro 36, 37 e 38).

O caudal de ar a escoado para diferentes diferenciais de pressão, de acordo com as Figuras 37 e 38, nas diferentes frações autónoma T₄ e T₃ dos diferentes pisos, corroboram os valores obtidos para a permeabilidade ao ar, ou seja, quando aumenta a permeabilidade consequentemente aumenta o caudal de ar.

Tendo em conta que foram realizados ensaios com diferenciais de pressão de 25 a 60Pa, apresentam-se nas Figuras 37 e 38, as curvas da permeabilidade ao ar.

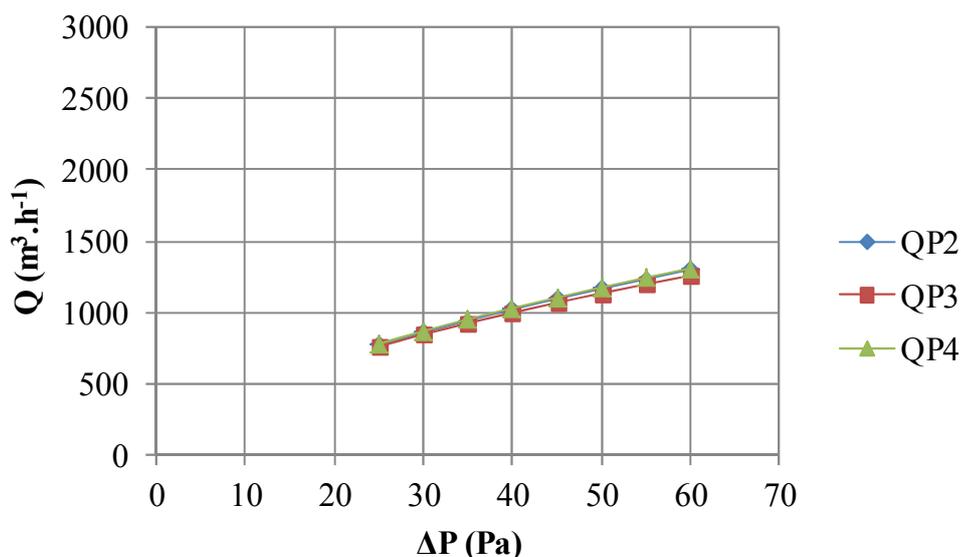


Figura 37 – Permeabilidade ao ar das frações autónomas A – T₄

Nos ensaios realizados para as frações autónomas A, verifica-se um aumento do caudal de ar à medida que aumenta o diferencial de pressão. No entanto os valores dos caudais do 2º, 3º e 4º piso são muito próximos com valores compreendidos entre $771 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ e $1289 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, indicando que as frações autónomas dos diferentes pisos são de elevada permeabilidade ao ar.

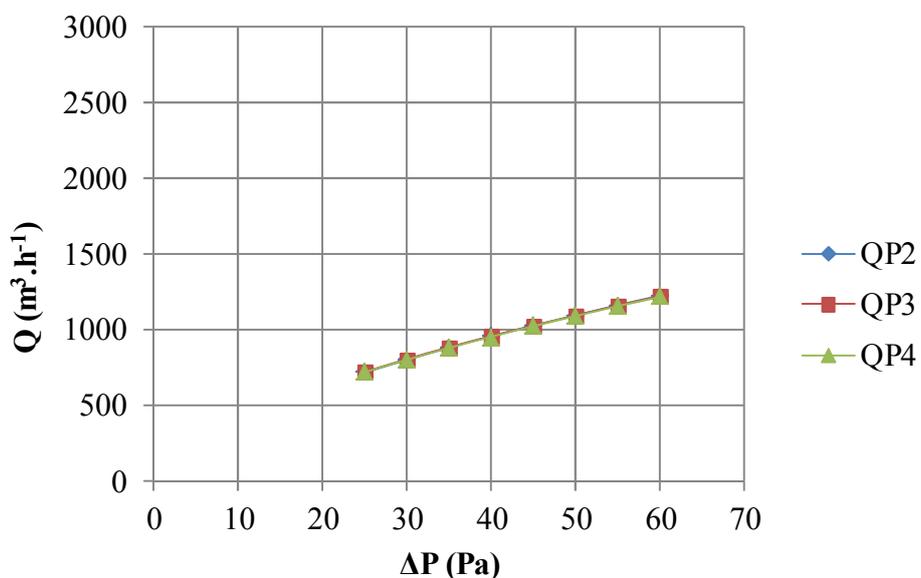


Figura 38 – Permeabilidade ao ar das frações autónomas B – T₃.

Quanto à permeabilidade ao ar das frações autónomas B, T₃, verifica-se apenas o aumento esperado do caudal à medida que aumenta o diferencial de pressão, sendo os valores de todos os ensaios muito próximos. Para um diferencial de pressão de 25 a 60 Pa, os valores de caudais de ar escoado estão compreendidos entre 722 m³.h⁻¹ e 1223 m³.h⁻¹. Estes resultados indicam que as frações autónomas B, de tipologia T₃, são de elevada permeabilidade ao ar.

6.1.2. Taxa de Renovação Horária (Rph)

Na determinação da taxa de renovação de ar para os diferentes pisos (2º ao 4º pisos), e de acordo com a norma EN 13829:2000, é calculada para um diferencial de pressão de 50 Pa entre o quociente do caudal escoado de ar de 50 Pa e o volume total de cada fracção autónoma, obtendo assim os seguintes valores de Rph (Quadro 21 e 22):

Quadro 21 - Renovações horárias a 50 Pa (Rph₅₀) na fracção autónoma A – T₄.

	QP2 (m ³ .h ⁻¹)	QP3 (m ³ .h ⁻¹)	QP4 (m ³ .h ⁻¹)
Q ₅₀ (m ³ .h ⁻¹)	1166	1134	1175
V _{total} (m ³)	425	425	425
Rph ₅₀ (h ⁻¹)	2,74	2,67	2,76

Legenda: QP2-caudal do piso 2, QP3-caudal do piso 3, QP4-caudal do piso 4

Quadro 22 - Renovações horárias a 50 Pa (Rph₅₀) na fracção autónoma B - T₃.

	QP2 (m ³ .h ⁻¹)	QP3 (m ³ .h ⁻¹)	QP4 (m ³ .h ⁻¹)
Q ₅₀ (m ³ .h ⁻¹)	1097	1097	1094
V _{total} (m ³)	357	357	357
Rph ₅₀ (h ⁻¹)	3,07	3,07	3,06

Legenda: QP2-caudal do piso 2, QP3-caudal do piso 3, QP4-caudal do piso 4.

Verifica-se, que estes valores de Rph, para caudais de ar de 50 Pa, são valores superiores ao requisito mínimo regulamentado de 0,6 h⁻¹, cumpre o RCCTE, no entanto as trocas de ar entre o interior e o exterior são elevadas o que conduzem a maiores consumos energéticos e consequentemente desconforto térmico.

Na Figura 39 são apresentados os valores da taxa de renovação horária (Rph) em função do número de pisos para as frações autónomas A (T_4) e B (T_3) do Edifício A.

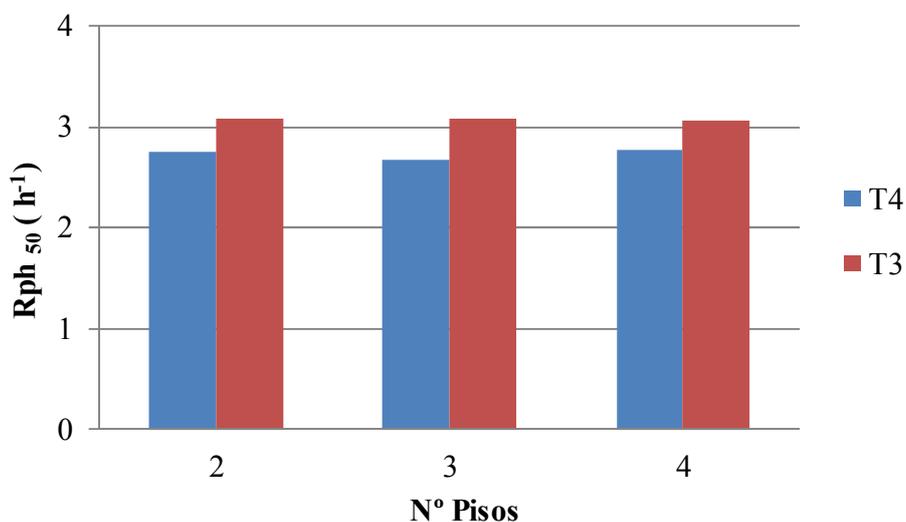


Figura 39 – Taxa de renovação de ar em função do nº de pisos das frações autónomas A e B do Edifício A.

Relativamente à taxa de ventilação da fração autónoma B (T_3), verifica-se que não há variação dos valores de Rph em todos os pisos.

Dos resultados obtidos nas frações autónomas B, de tipologia T_3 , verifica-se que na sua configuração atual, apresenta valores de Rph muito elevados com valor médio de Rph igual a 3,07, superior ao valor de requisito mínimo regulamentado de $0,60 h^{-1}$. Estes valores encontram-se em conformidade com o regulamento, no entanto, as trocas de ar são elevadas o que conduzem a maiores consumos energéticos e à existência de desconforto térmico (RCCTE, 2006; NP 1037-1, 2002).

Este fato deve-se à má conceção da caixa de estore no interior da padieira janela da cozinha com uma abertura para o exterior provocando infiltrações de ar que atravessam a envolvente, contendo uma grelha de admissão do ar fixa, e à má vedação das caixilharias das janelas e ao comportamento das juntas móveis (correr e/ou oscilobatente), de acordo com o Anexo A.7.1. Quadro 36, 37 e 38, que provoca elevadas taxas de infiltração (Rph).

As frações autónomas A (T_4), apresentam valores de Rph (2º, 3º e 4º pisos) próximos, cuja a média é de $2,72 h^{-1}$, que resulta dos mesmos fatores apontados para os resultados verificados para as frações B (T_3).

6.2. Avaliação Resultados dos ensaios da fração autónoma do Edifício B

6.2.1. Permeabilidade e Caudal de ar

Os ensaios de pressurização foram realizados no Edifício B no dia 15 de Julho. Quanto à sua permeabilidade ao ar verifica-se que é mais elevada comparativamente as frações autónomas do Edifício A (Quadro 22). Na realização destes ensaios verificou-se que os valores do caudal de ar escoado através da abertura (Q_{50}) para condições de ensaio C1 e C2 são elevados, logo, a fração T3 possui uma elevada permeabilidade ao ar. É notório que com a chaminé e conduta do WC selada (C2), o valor de Rph é mais baixo do que com a chaminé e conduta do WC aberta (C1). Contudo, estes valores são bastante elevados, tendo em conta o requisito mínimo implementado pelo regulamento RCCTE.

Quadro 23 - Renovações horárias a 50 Pa (Rph_{50}) no Edifício B, Fração autónoma B - T3

	$QC1 (m^3 \cdot h^{-1})$	$QC2 (m^3 \cdot h^{-1})$
$Q_{50} (m^3 \cdot h^{-1})$	2245	1671
$V_{total} (m^3)$	252	252
$Rph_{50} (h^{-1})$	8,91	6,63

Nota:

C1 – Chaminé e Conduta Aberta

C2 – Chaminé e Conduta Selada

Os resultados obtidos devem-se à má vedação das caixilharias, à má conceção das aberturas das condutas para o exterior e ao tipo de grelha de admissão de ar fixa existente na padieira da porta envidraçada da cozinha. A porta envidraçada com duas folhas de abrir, existente na cozinha, teve influência nos valores da taxa de infiltração (Rph) uma vez que a secção é de grande dimensão. No entanto, as janelas basculantes orientadas a Noroeste, existentes na sala comum e WC, com a mesma área de envidraçado, têm o fecho danificado o que possibilita infiltrações excessivas.

O caudal de ar escoado a 50 Pa, de acordo com o Quadro 23, nas condições de ensaio C1 e C2, corroboram os valores obtidos para a permeabilidade ao ar, isto é, quando aumenta a permeabilidade ao ar consequentemente aumenta o caudal de ar escoado através da abertura.

Para os ensaios realizados com diferentes condições, ou seja, com vedação de componentes de ventilação (chaminé e conduta), são aplicados diferenciais de pressão entre e os 25 a 60 Pa. Na Figura 40, apresentam-se as curvas da permeabilidade ao ar da fração autónoma B do Edifício B.

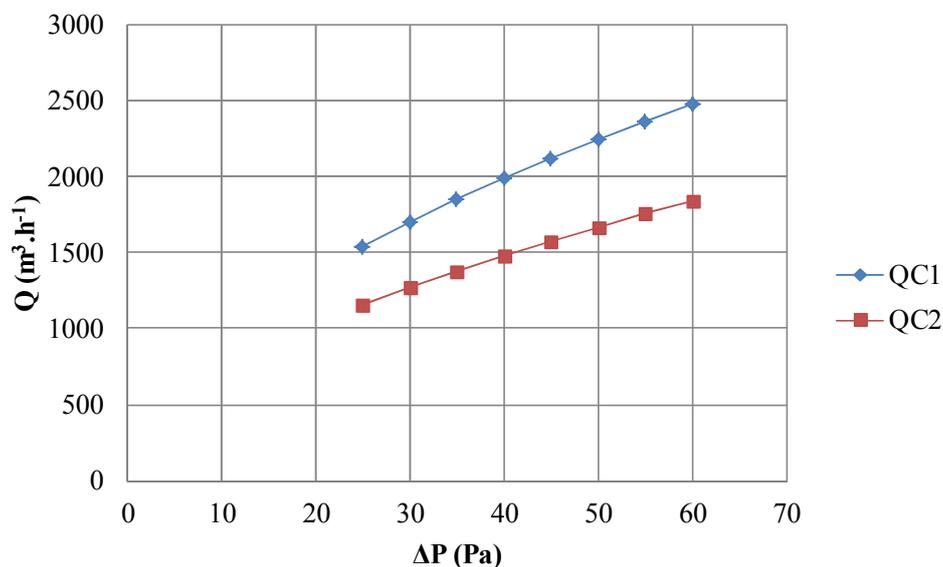


Figura 40 – Permeabilidade ao ar do Edifício B, Fração autónoma B - T₃.

Pela análise da Figura 40, verifica-se como esperado um aumento do caudal de ar à medida que aumenta o diferencial de pressão para as diferentes condições de ensaio.

Relativamente ao caudal do ar escoado a 50 Pa, para as condições de medição C1 ($Q_{50}=2245 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$), constata-se que é aproximadamente 1,34 vezes superior ao caudal do ar escoado para as condições C2 ($Q_{50}= 1671 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$), o que seria esperado, tendo em conta as condições a que os ensaios foram realizados, ou seja, com a chaminé e conduta do WC abertos e selados.

Os resultados obtidos para os caudais de ar são muito superiores quando comparados com os das frações estudadas do Edifício A, sendo a o valor de Rph do Edifício B mais do dobro do que seria esperado, logo a sua permeabilidade ao ar muito elevada, devido às juntas das componentes de ventilação (janelas e portas) e das condutas de ar com uma grande área livre em contacto com o exterior. Para evitar as elevadas taxas de infiltração seria necessário a substituição e reparação das mesmas.

6.2.2. Taxa de Renovação Horária (Rph)

Relativamente à taxa de renovação horária a 50 Pa da fração autónoma estudada, verifica-se que cumpre com o regulamento RCCTE, no entanto as trocas de ar são bastante elevadas o que conduzem a maiores consumos energéticos e à existência desconforto térmico. Os valores de Rph estão mencionados no Quadro 23 para diferentes condições. A diferença dos valores da taxa de renovação de ar (Rph) para as diferentes condições do ensaio, apresentam uma diferença de 25,6%. Estes resultados evidenciam a elevada permeabilidade ao ar da fração e evidenciam a má estanquidade ao ar da chaminé e da conduta (situação aberta), o que influencia os valores de Rph(h⁻¹).

Na Figura 41 são apresentados os valores da taxa de renovação horária (Rph) em função das diferentes condições de ensaio (C1 e C2) da fração autónoma B, T₃.

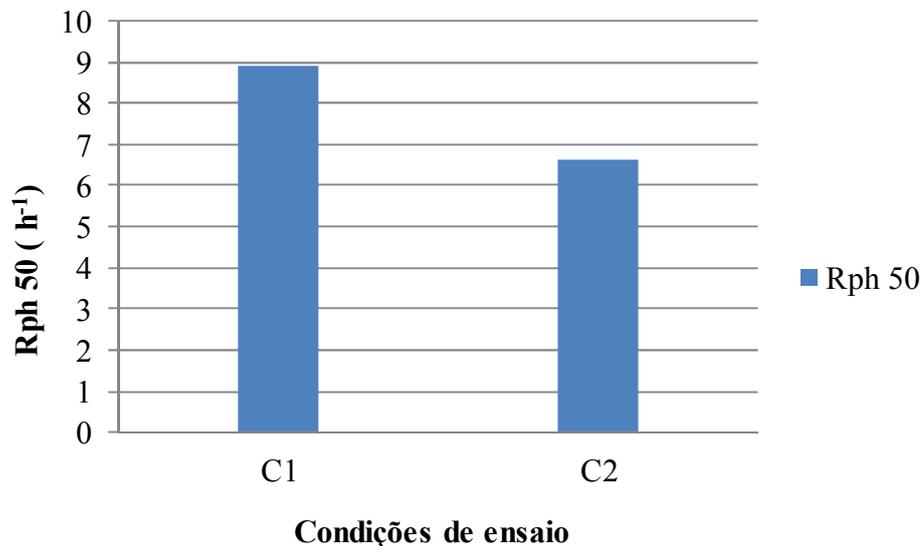


Figura 41 – Taxas de renovação horária em diferentes condições de ensaio.

7. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

7.1. Conclusão

A presente dissertação teve como objetivo avaliar a taxa de renovação de ar de edifícios de habitação. Sendo assim, foram estudadas as frações autónomas do 2º ao 4º piso de um Edifício em Vila Nova de Famalicão, construído em 2002, e uma fração autónoma situada no 3º piso de um Edifício, construído em 2001, na Vila de Joane. Nas referidas frações, foram avaliadas as taxas de infiltração recorrendo ao método de pressurização.

Para a realização dos ensaios foi necessário analisar os Edifícios A e B, fazendo o levantamento e identificação de todas as características de cada fração autónoma, procedendo-se assim ao ensaio da “porta ventiladora” de forma a serem medidas as taxas de renovação de ar (Rph).

Após a recolha dos dados necessários, procedeu-se à análise dos resultados obtendo-se valores para a permeabilidade, caudais de ar e taxa de renovações horárias para as frações estudadas de diferentes volumes do Edifício A e B. No edifício A, as frações autónomas A e B, são de tipologias diferentes, T₄ e T₃, e volumes de 425 m³ e 357 m³, respetivamente. No edifício B, o volume da fração autónoma B, de tipologia T₃ é de 252 m³. Estes foram apresentados por edifício estudado, uma vez que a construção e localização eram diferentes.

Sendo assim, para o Edifício A, detetaram-se problemas quer nas frações A (T₄) quer para as frações B (T₃) que contribuem para as elevadas taxas de infiltração existentes, logo, permeabilidades e caudais de ar elevados. Desta forma, seria importante alterar as caixilharias e instalar grelhas de admissão e extração de ar mais eficientes para a obtenção de resultados em conformidade com o regulamento RCCTE.

No que diz respeito à fração estudada no Edifício B, aplicaram-se duas condições de ensaio, ou seja, com a chaminé e conduta do WC existentes aberta e selada. Em ambas situações, obtiveram-se resultados para a permeabilidade, caudais de ar e Rph muito elevados, o que ocasiona consumos energéticos elevados e desconforto aos ocupantes.

Estes resultados, estão diretamente relacionados com as caixilharias das janelas e fechos das janelas basculantes bem como das grelhas de admissão e exaustão de ar.

Seria prudente e necessário remodelar as caixilharias uma vez que é um dos dispositivos de ventilação por onde ocorrem as trocas de ar entre o interior e o ambiente exterior resultando as infiltrações através das frinchas e juntas devido à má vedação das mesmas.

As grelhas de admissão de ar que estão localizadas na padieira das janelas da cozinha devem ser auto-reguláveis, pois a má conceção no interior da padieira onde se encontra a caixa de estore tem uma abertura para o exterior. Por isso, o dimensionamento das grelhas de admissão e exaustão do ar deve ter em consideração a correta integração com a restante envolvente, quer ao nível de exposição do vento e o caudal de ar necessário de modo a satisfazer a qualidade do ar interior (QAI).

Para além da permeabilidade ao ar avaliada nas diversas frações autónomas, com recurso à “Porta Ventiladora” e ao *software* TECTITE, procedeu-se à avaliação das componentes de ventilação com recurso ao anemómetro para detetar as infiltrações através das frinchas e juntas.

Não se efetuou a selagem dos sistemas de ventilação (janelas, portas e grelhas) tendo em consideração o estado bem conservado e ausência de degradação dos elementos da envolvente em que se encontravam as frações do Edifício. Os sistemas mecânicos existentes de funcionamento pontual não foram selados pois não tinham impacto nos resultados para a determinação dos valores de Rph.

Para todas as frações estudadas, nos dois edifícios, seria importante procederem à remodelação ou correção dos diferentes componentes mencionados para o aumento da eficiência energética e respetivo conforto dos ocupantes.

7.2. Trabalhos Futuros

Para corroborar todas as conclusões da presente dissertação, seria interessante realizar ensaios através do método de pressurização em todos os compartimentos de cada fração autónoma dos Edifícios A e B.

Seria também interessante, efetuar um estudo económico dos ganhos relacionados com o aumento da eficiência energética em comparação com o investimento efetuado em medidas corretivas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fennell, H.; Haehnel, J. - Setting airtightness standards. ASHRAE journal, Vol. 47, 2005.
- Fernández, J. et al. - Protocols for measuring the airtightness of multi-dwelling units in Southern Europe. Procedia Engineering. Vol. 21, 2011.
- Green Building Advisor – The Complete Source for Building, Designing and Remodeling Green Homes, 2013. Acedido em: 15/06/2013, disponível em: www.greenbuildingadvisor.com/air-leaks-waste-energy-and-rot-houses
- Fanger, O. Thermal Comfort -Analysis and Application in Environmental Engineering. Copenhagen, 1970.
- Dear, R.; Brager, G. - Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference, in “Field Studies of Thermal Comfort and Adptation”. ASHRAE Technical Data Bulletin, Vol. 14, 1998.
- Matias, L., Conforto Térmico em Ambientes Interiores, Seminário Ambiente em Edifícios Urbanos, Lisboa, 2000.
- ASHRAE 55:2010 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Ansi/Ashrae Standard 55-2010, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA, 2010.
- Lamberts, R., PhD- Conforto e Stress Térmico, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Junho, 2012.
- EN ISO 7730:2005- Ergonomics of the Thermal Environment. Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the *PMV* and *PPD* Indices and Local Thermal Comfort Criteria, ISO 7730, International Organization for Standardization, Geneva, 2005.
- EN 13829:2000. Thermal performance of buildings – Determination o fair permeability of buildings – Fan pressurized method. Brussels: CEN, November 2000.
- Dear, R.; Brager, G., Thermal Comfort in Naturally Ventilated Buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55, Energy and Buidings, Vol. 34, 2002.

Viegas, J., Contribuição da Ventilação para a Qualidade do Ambiente Interior em Edifícios, Seminário Ambiente em Edifícios Urbanos, LNEC, Lisboa, 2000.

APA – Qualidade do Ar em Espaços Interiores, Amadora, 2009. Acedido em: 6/05/2013, disponível em:

http://www.apambiente.pt/_zdata/Divulgacao/Publicacoes/Guias%20e%20Manuais/manual%20QArInt_standard.pdf

EPBD - UE. *Directiva 2002/91/CE do parlamento europeu e do conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios*, 2002

Decreto-Lei n.º 80/2006, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), 4 de Abril, Diário da República, I Série-A, Lisboa, 2006

Decreto-Lei n.º 79/2006. Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização (RSECE). Lisboa : [s.n.], v. I série-A, 4 de Abril.

Afonso C., Uma metodologia para a caracterização de fluxos de ar multizona em edifícios, Tese de Doutoramento Submetida à FEUP, 1989.

Roulet, C.; Vandaele, L., Air Flow Patterns Within Buildings. Measurement Techniques, Technical Note 34, Annex 5-AIVC, IEA-ECBCS, 1991.

Stymne, H.; Sandberg, M.; Boman, C., Tracer Gas Techniques for Measurements of Ventilation in Multi-zone Buildings. A Review, 9th Indoor Air Conference, Monterey, USA, 2002.

Afonso, C., Modelização do Movimento do Ar no Interior de Edifícios Através do Recurso ao Método do Gás Traçador, Tese de Mestrado Submetida à FEUP, 1986.

Etheridge, D.; Sandberg, M., Building Ventilation. Theory and Measurement, John Wiley & Sons, 1996.

ISO/DIS 16000-8:2006 - Indoor air. Determination of Local Mean Ages of Air in Buildings for Characterizing Ventilation Conditions, Draft International Standard ISO/DIS 16000-8, International Organization for Standardization, Geneva, 2006.

ASTM E741-00:2000 - Standard Test Method for Determining Air Change in a Single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution, E 741-00, American Society for Testing Materials, West Conshohocken, USA, 2000.

ASTM E779-03:2003 - Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization, E 779-03, American Society for Testing Materials, West Conshohocken, USA, 2003.

EN 12207:1999 - windows and doors – Air permeability – Classification. Brussels: CEN, 1999.

NP 1037-1: 2002 - ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás. Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural, Monte da Caparica: IPQ, 2002.

Innova, 1312 Photoacoustic Multi-gas Monitor. Instruction Manual, Innova, Denmark, 1997.

Silva, F., Ventilação Natural de Edifícios. Turbulência Atmosférica, Tese de Doutoramento Submetida ao IST, Lisboa, 2003.

Toledo, E.- Ventilação Natural dos Edifícios, Lisboa: LNEC, 1967

Feustel, H. *et al*, Fundamentals of the Multizone Airflow Model. COMIS, Technical Note 29, Annex 5-AIVC, IEA-ECBCS, 1990.

Freitas, V., Silva F., Pinto M., Modelos Preditivos para Ventilação Natural, 32-38 Sustentabilidade, 2005. Acedido em: 03/04/2013, disponível em:
[http://repositorio.ipv.pt/bitstream/10400.19/548/1/modelos%20preditivos%20ventilacao FINAL.pdf](http://repositorio.ipv.pt/bitstream/10400.19/548/1/modelos%20preditivos%20ventilacao%20FINAL.pdf)

Amaral, M., Sistemas de Ventilação Natural e Mistos em Edifícios de Habitação, Tese de Doutoramento Submetida à FEUP, Porto, 2008.

Lucas, P., Ventilação Natural em Edifícios, Instituto Politécnico da Guarda, Guarda, 2011. Acedido em: 20/4/2013, disponível em http://bdigital.ipg.pt/dspace/bitstream/10314/930/1/Paula%20Lucas_%201008893.pdf

ECA, Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations, Report N° 19, European Collaborative Action “Indoor Air Quality and its Impact on Man”, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1997.

Orme, M.; Leksmono, N., Ventilation Modelling Data Guide, AIVC Guide 5, Annex 5-AIVC, IEA-ECBCS, 2002.

Teshome, E.; Haghghat, F., Zonal Models for Indoor Air Flow. A Critical Review, International Journal of Ventilation, Vol. 3, 2004, p. 119-129.

Megri, A.; Snyder, M.; Musy, M., Building Zonal Thermal and Airflow Modelling. A Review, International Journal of Ventilation, Vol. 4, 2005, p. 177-188.

Orme, M.; Leksmono, N., Ventilation Modelling Data Guide, AIVC Guide 5, Annex 5-AIVC, IEA-ECBCS, 2002.

Feustel, H. *et al*, Fundamentals of the Multizone Airflow Model. COMIS, Technical Note 29, Annex 5-AIVC, IEA-ECBCS, 1990.

Allard, F., Natural Ventilation in Buildings. A Design Handbook, James & James, 1998.

Awbi, H., Ventilation of Buildings, 2nd Edition, E & FN Spon, 2003.

ASTM E779-03:2003 - Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization, E 779-03, American Society for Testing Materials, West Conshohocken, USA, 2003.

CEN EN 13 829:2000 - Thermal Performance of Buildings. Determination of Air Permeability of Buildings. Fan Pressurization Method, EN 13 829, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2000.

Fanger, P. O., Thermal Comfort. New York, McGraw-Hill Book Company, 1972.

Gallo, E.A.; Ribeiro, F.N. (2007), Índice de Conforto Térmico ISSO 7730 em Automação Predial, Universidade de Brasília, 2007. Acedido em : 3/04/2013, disponível em:

<http://www.lara.unb.br/~bauchspiess/tg/TG07%20Eduardo%20A.%20Gallo%20e%20Fernando%20N.%20Ribeiro.pdf>

ANEXOS

A. GENERALIDADES

A.1. Objetivos do ensaio

O ensaio permite determinar os coeficientes das curvas (C e n) de vários componentes (ex: janelas, portas, paredes, pavimentos, tetos, juntas entre elementos construtivos e chaminés). Na Figura 42, ilustram-se os equipamentos utilizados no ensaio de pressurização.

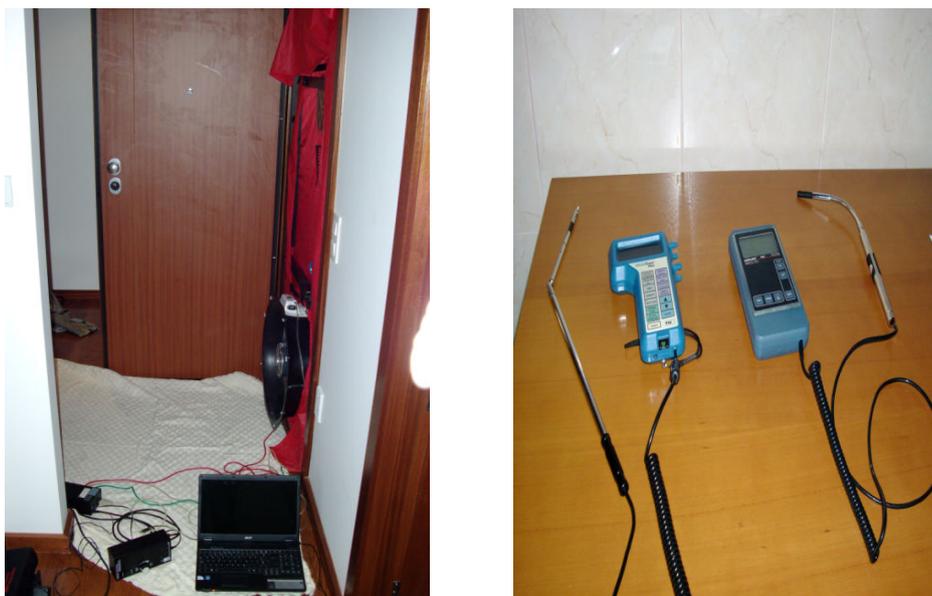


Figura 42 – Imagem geral dos equipamentos utilizado no ensaio de pressurização.

O ensaio de pressurização e despressurização na fração autónoma gera um caudal de ar variável permitindo deste modo, alcançar uma determinada gama de diferenciais de pressão (Δp) entre 25 a 60 Pa definido assim vários pontos de correlação. No entanto, esta gama de diferenciais é superior às pressões geradas naturalmente de forma a minimizar a influencia dos mecanismos de ventilação (vento e temperatura) sobre os resultados dos ensaios.

A.1.2. Normalização Internacional para a realização dos ensaios experimentais



EN 13829:2000 - Thermal performance of buildings – Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization method (ISO 9972:1996, modified), November 2000.



Operation Manual for Model 3 and 4 Systems, Minneapolis Blower Door™ - The ENERGY CONSERVATORY

(<http://www.energyconservatory.com/download/bdmanual.pdf>)

A.1.3. Equipamento

- Equipamento *Minneapolis Blower Door*™ (constituído por ventilador, anéis, APT (Automated Performance Testing System™), controlador de velocidade do ventilador, moldura da porta ajustável, capa de nylon e três tubos de plásticos coloridos);
- Termo-Anemómetro, para a medição da velocidade do vento e temperatura.
- Termo-Higrómetro, para a medição da humidade relativa do ar e temperatura.
- Computador portátil com o *software* TECTITE, para registo das leituras e determinação dos parâmetros essenciais para alcançar o objetivo da dissertação.

A.2. PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO

A.2.1. Preparação da fração autónoma para a realização do ensaio

Para a realização do ensaio de pressurização é necessário selecionar um dos dois métodos, A e B, dependendo da sua finalidade. O método A permite determinar a permeabilidade ao ar de um edifício ou compartimento em plena utilização. O método B permite a avaliação da permeabilidade ao ar da envolvente encerrando todas as aberturas exteriores intencionais.

O método B, pressupõe que todos os elementos do edifício com aberturas para o exterior (janelas, portas, etc.) estejam encerrados. Os elementos interiores que constituem a envolvente e/ou fração autónoma, à exceção de armários, e outros, devem estar abertos permitindo uma pressão uniforme em todas as áreas de ensaio e os sistemas AVAC (aquecimento, ventilação mecânica ou ar-condicionado) dos edifícios devem estar desligados. As grandes aberturas em edifícios que permitem a comunicação direta entre o espaço interior e o ambiente exterior devem estar seladas. São exemplos, a chaminé aberta (ausência do recuperador de calor) e conduta do WC aberta (ausência do extrator de ar).

A.2.2. Montagem do Equipamento

A.2.2.1. Moldura ajustável

A montagem da moldura ajustável em altura e largura deve ser feita numa porta do edifício e/ou fração autónoma com ligação para o exterior, normalmente porta principal, e situada num espaço interior aberto e amplo.

O processo de instalação deve ser realizado no interior da área a ensaiar com as seguintes condições:

- ajustar a moldura ao aro da porta (i.e. em altura e largura);
- remover a moldura e colocar a capa de *nylon*. As fitas de *velcro* permitem a fixação da capa não devendo apresentar folgas;

- fixar a moldura e capa no aro da porta e colocar as travessas da moldura, fixando firmemente todos os elementos ao aro da porta. Não devem existir quaisquer folgas entre a capa e o aro da porta.

Na figura 43, ilustra-se a montagem com vista do espaço interior e exterior de uma das frações autónomas ensaiada.



a) Moldura ajustável pelo interior b) Moldura ajustável pelo exterior

Figura 43 – Exemplo da montagem da porta ventiladora.

A.2.2.2. Aparelhos e tubos

Os equipamentos de ensaio são normalmente instalados e controlados no interior da habitação pelo operador, para a realização do ensaio de pressurização e despressurização. O aparelho *APT* (ver Figura 44), ligado ao computador, permite a leitura das várias pressões (exterior, interior) bem como da velocidade do ventilador, sendo estes dados transmitidos para o *software* TECTITE. Através da ligação dos tubos coloridos é possível determinar os valores de pressões envolvidos no ensaio e devem ser conectados conforme é descrito no manual *Minneapolis Blower Door*TM.



Figura 44 – Sistema APT com controlador de velocidade do equipamento “Porta Ventiladora”.

A.2.2.3. Introdução prévia de dados – *Software* “TECTITE”

O controlo do ensaio e registo de dados é efectuado através do *software* TECTITE. Todos os campos devem ser preenchidos corretamente, entre as quais: data de ensaio, identificação do operador e do edifício em estudo, temperatura interior e exterior e dimensões do edifício.

O separador do comentário deve conter informações necessárias para o auxílio na interpretação dos dados do ensaio. Os ensaios podem ser de um só ponto ou de múltiplos pontos, como no presente trabalho, para vários níveis de pressão. O procedimento utilizado no ensaio encontra-se em conformidade com a norma EN 13829:2000, sendo as pressões recomendadas por esta (60 Pa, 50 Pa, 40 Pa, 35 Pa, 25Pa, 20 Pa e 15 Pa). O processo de ensaio é automático, tendo como parâmetros o número de amostras (100), taxa de ajuste do ventilador (0,5), tolerância (deve ser ajustado consoante o desenvolvimento do ensaio) e limite superior de pressão do edifício (90). Na Figura 45, ilustram-se os diferentes campos para inserção dos dados necessários ao ensaio.

The screenshot shows a software interface for a building depressurization test. It is divided into several sections:

- Customer Information:** Test Date: 15-07-2013; Technician: Andreia Araújo; Customer Name: Particular; Name Line 2: ; Address: Rua Telhado; Address Line 2: ; City: V.N.Famalicão; State/Province: Joane; ZIP/Postal Code: 4770-260; Phone: ; Fax: ;
- Building Information:** Building: Edificio Central 2; Building Address: Fração A - 3º Piso; Address Line 2: ; City: V.N.Famalicão; State/Province: Joane; ZIP/Postal Code: 4770-260; Year of Construction: 2000;
- Building Dimensions:** Volume: 251.8 m³; Floor Area: 99.15 m²; Surface Area: 76.12 m²; Uncertainty of Building Dimensions: 3 %;
- Temperatures:** Indoor Temperature (°C): 26; Outdoor Temperature (°C): 28.7;
- Comments:** Piso 3. Fração Autónoma A - T3. Ensaio de Despressurização. Janelas Fechadas, Chaminé Aberta, Portas Interiores Abertas.
- Test Settings:** Standard: CGSB (unchecked), EN 13829 (checked); Test Mode: Pressurize (unchecked), Depressurize (checked); Method: Manual (unchecked), Auto (checked); Test Pressures: Default (unchecked), EN 13829 (checked); Zonal Pressures: Active (unchecked); Auto Test Parameters: Samples per Station: 100; Fan Adjust Rate: 0.5; Target Tolerance: 2.0; Building High Pressure Limit: 90; Fan Start %: 0.0;
- EN 13829 Data Entry:** Type of Test Method: A; Regulation complied with: ; Wind Class: 1 Light Air; Building Wind Exposure: Partly Exposed Building; Type of Heating: ; Type of Air Conditioning: ; Type of Ventilation: None (checked); Barometric Pressure: Standard (checked), 101325 Pa; Barometric Pressure: ; Altitude: ;

Figura 45 – Exemplos dos dados inseridos num ensaio de despressurização.

A.2.3. Início do ensaio

O ensaio experimental inicia-se ligando os equipamentos (ventilador e controlador de velocidade) e o software de aquisição de dados para reconhecimentos dos mesmos (*DATA BOX (APT system)*). No decorrer do ensaio, e de forma automática tendo em conta o diferencial de pressão, é solicitado ao operador a colocação e/ou remoção da cobertura e dos anéis no ventilador.

A colocação do anel depende da necessidade do fluxo de ar, ou seja, para edifícios com elevada estanquidade ao ar recomendam-se anéis menores. Caso não se alcancem os valores de pressão necessários (de 60 Pa a 15 Pa) é recomendada a colocação de anéis com maior abertura.

Um edifício com elevada permeabilidade ao ar não necessita da colocação de anéis, quando não é atingida a pressão mais elevada (60 Pa), pelo que deve ser realizado apenas com pressões abaixo do máximo alcançado anteriormente.

A.3. TRATAMENTO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A.3.1. Valores de referência

Os dados necessários para a realização do ensaio, são:

- O volume interior, V e caracteriza-se como sendo o volume de ar interior do edifício ou fração autónoma. Este é calculado pela multiplicação da área útil pelo pé-direito.
- A área da envolvente, A_E da habitação, é a área de toda a superfície de pavimento, paredes e tetos que fazem fronteira entre o exterior e o espaço interior.
- A área útil, A_F , caracteriza-se como a área da soma das áreas de todos os compartimentos da habitação, incluindo vestíbulos, circulações interiores, instalações sanitárias, arrumos, outros compartimentos da habitação de função similar e armários nas paredes, e mede-se pelo perímetro interior das paredes que limitam o fogo, descontando encaixos até 30 cm, paredes interiores, divisórias e condutas.

A.3.2. Parâmetros das equações de permeabilidade

A obtenção dos resultados dos ensaios experimentais é expressa através de gráficos bi-logarítmicos, indicando o respetivo valor dos dois coeficientes, n e C , que traduzem as características de permeabilidade ao ar da envolvente, equação 19.

$$Q = C \cdot (\Delta p)^n \quad (28)$$

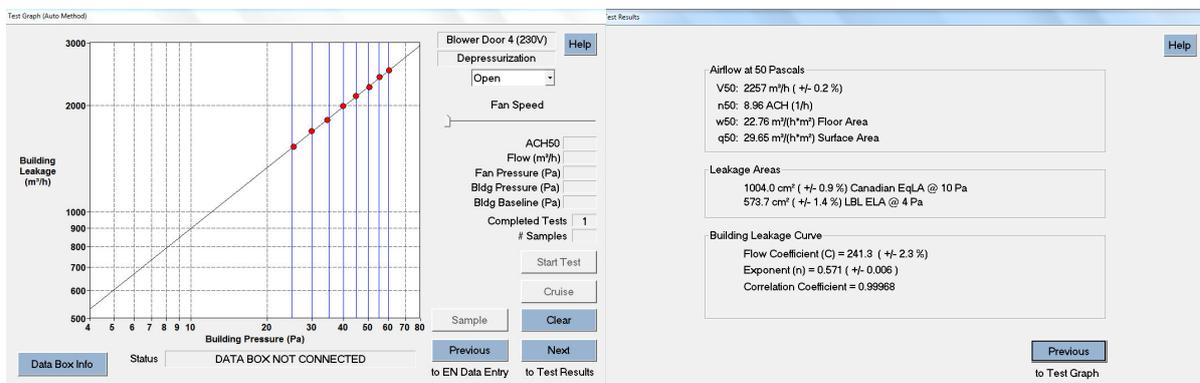


Figura 46- Exemplo do gráfico bi-logarítmico e dos resultados de ensaio.

O expoente n toma valores compreendidos entre 0,5 para escoamento turbulento (frinchas de pequena dimensão) e 1,0 para escoamento laminar (aberturas de grande dimensão), podendo ter valores fora desta gama quando existe variação da dimensão das frinchas.

Os resultados obtidos experimentalmente já se encontram convertidas apropriadamente e associadas à densidade do ar exterior e interior devido à temperatura (inserido previamente no *software* TECTITE).

A.4. PROCEDIMENTO – ENSAIO DE PRESSURIZAÇÃO

A.4.1. Ensaio de Pressurização no Edifício A para as frações autónomas A-T₄

Quadro 24 – Ensaio de pressurização das frações autónomas A.

1. PRESSURIZAÇÃO

Conformidade do ensaio	EN 13829:2000			Comentários:
Método	Automático			
Pressões de ensaio :	EN 13829:2000			
Condições de ensaio	P2	P3	P4	Foi realizado um ensaio de pressurização para cada fração autónoma, exceptuando no 3º piso com dois ensaios devido as condições inoportunas dos ocupantes. A condição de ensaio, 4 no total.
Data e Hora :	1.06.2013 (10h30)	1.06.2013 (14h)	1.06.2013 (16h45)	
Pressão barométrica (Pa) :	101325 Pa	101325 Pa	101325 Pa	
Temperatura exterior (°C) :	20	27	27	
Temperatura interior (°C) :	19	23	24	
Anel :	A e B	A e B	A e B	
Baseline pré-ensaio (Pa):	-0,1	-	0,0	
Baseline pós-ensaio (Pa):	0,3	-	0,7	
Resultados				
Coefficiente C :	113,3	120,5 / 120,6	116,4	
Expoente n :	0,596 / 0,602	0,573 / 0,590	0,591 / 0,600	
Coef. correlação :	0,99971	0,99746	0,99930	
Q ₅₀ (m ³ .h ⁻¹) :	1167	1132	1176	
n ₅₀ (h ⁻¹) :	2,74	2,66	2,77	
w ₅₀ (m ³ /h.m ²) :	7,27	7,05	7,33	
q ₅₀ (m ³ /h.m ²) :	20,21	19,59	20,37	
Ficheiro de registo (.bld) :	F.A.A-T ₄	F.A.A-T ₄	F.A.A-T ₄	

Quadro 25 – Ensaio de despressurização das frações autónomas A.

2. DESPRESSURIZAÇÃO

Conformidade do ensaio	EN 13829:2000			Comentários:
Método	Automático			
Pressões de ensaio :	EN 13829:2000			
Condições de ensaio	P2	P3	P4	Foi realizado um ensaio de pressurização para cada fração autónoma, exceptuando no 3º piso com dois ensaios devido as condições inoportunas dos ocupantes. A condição de ensaio, 4 no total.
Data e Hora :	1.06.2013 (10h)	1.06.2013 (13h30)	1.06.2013 (16h30)	
Pressão barométrica (Pa) :	101325 Pa	101325 Pa	101325 Pa	
Temperatura exterior (°C) :	20	27	27	
Temperatura interior (°C) :	19	23	24	
Anel :	A e B	A e B	A e B	
Baseline pré-ensaio (Pa):	-0,2	-0,2	-0,0	
Baseline pós-ensaio (Pa):	0,0	0,2	0,3	
Resultados				
Coefficiente C :	112,2	104,4	112,3	
Expoente n :	0,586 / 0,593	0,608 / 0,620	0,590 / 0,599	
Coef. correlação :	0,99954	0,99884	0,99927	
Q ₅₀ (m ³ .h ⁻¹) :	1113	1128	1128	
n ₅₀ (h ⁻¹) :	2,62	2,65	2,65	
w ₅₀ (m ³ /h.m ²) :	6,93	7,03	7,03	
q ₅₀ (m ³ /h.m ²) :	19,26	19,53	19,53	
Ficheiro de registo (.bld) :	F.A.A - T ₄	F.A.A - T ₄	F.A.A - T ₄	

A.4.2. Ensaio de Pressurização no Edifício A para as frações autónomas B-T₃

Quadro 26 – Ensaio de pressurização das frações autónomas B

1. PRESSURIZAÇÃO

Conformidade do ensaio	EN 13829:2000			Comentários: Foi realizado um ensaio de pressurização para cada fração autónoma, exceptuando no 3º piso com dois ensaios devido as condições inoportunas dos ocupantes. A condição de ensaio, 4 no total.
Método	Automático			
Pressões de ensaio :	EN 13829:2000			
Condições de ensaio	P2	P3	P4	Valores Médios
Data e Hora :	1.06.2013 (11h30)	1.06.2013 (15h30)	1.06.2013 (17h45)	
Pressão barométrica (Pa) :	101325 Pa	101325 Pa	101325 Pa	
Temperatura exterior (°C) :	23	23	26	
Temperatura interior (°C) :	19	20	24	
Anel :	A e B	A e B	A e B	
Baseline pré-ensaio (Pa):	-0,3	-0,2	-0,3	
Baseline pós-ensaio (Pa):	0,0	0,2	0,0	
Resultados				
Coeficiente C :	101,3	104,9	104,6	
Expoente n :	0,609 / 0,614	0,600 / 0,607	0,600 / 0,604	
Coef. correlação :	0,99977	0,99957	0,99984	
Q ₅₀ (m ³ .h ⁻¹) :	1095	1097	1094	
n ₅₀ (h ⁻¹) :	3,07	3,08	3,07	
w ₅₀ (m ³ /h.m ²) :	8,14	8,15	8,13	
q ₅₀ (m ³ /h.m ²) :	25,72	25,76	25,69	
Ficheiro de registo (.bld) :	F.A.B - T ₃	F.A.B - T ₃	F.A.B - T ₃	

Quadro 27 – Ensaio de despressurização das frações autónomas B

2. DESPRESSURIZAÇÃO

Conformidade do ensaio	EN 13829:2000			Comentários: Foi realizado um ensaio de pressurização para cada fração autónoma, exceptuando no 3º piso com dois ensaios devido as condições inoportunas dos ocupantes. A condição de ensaio, 4 no total.
Método	Automático			
Pressões de ensaio :	EN 13829:2000			
Condições de ensaio	P2	P3	P4	Valores Médios
Data e Hora :	1.06.2013 (12h)	1.06.2013 (15h)	1.06.2013 (17h30)	
Pressão barométrica (Pa) :	101325 Pa	101325 Pa	101325 Pa	
Temperatura exterior (°C) :	23	23	26	
Temperatura interior (°C) :	19	20	24	
Anel :	A e B	A e B	A e B	
Baseline pré-ensaio (Pa):	-0,2	-0,5	-0,3	
Baseline pós-ensaio (Pa):	0,0	0,0	0,0	
Resultados				
Coeficiente C :	87,8	95,6	89,4	
Expoente n :	0,632 / 0,641	0,607 / 0,615	0,621 / 0,627	
Coef. correlação :	0,99938	0,99942	0,99972	
Q ₅₀ (m ³ .h ⁻¹) :	1041	1028	1016	
n ₅₀ (h ⁻¹) :	2,92	2,88	2,85	
w ₅₀ (m ³ /h.m ²) :	7,74	7,64	7,54	
q ₅₀ (m ³ /h.m ²) :	24,45	24,13	23,84	
Ficheiro de registo (.bld) :	F.A.B - T ₃	F.A.B - T ₃	F.A.B - T ₃	

A.4.3. Ensaio de Pressurização no Edifício B para a fração autónoma B-T₃

Quadro 28 – Ensaio de pressurização das frações autónomas B

1. PRESSURIZAÇÃO

Conformidade do ensaio	EN 13829:2000		Comentários: Foi realizado um ensaio de pressurização para a fração autónoma do 3º piso com dois ensaios para cada situação devido as condições inoportunas dos ocupantes. A condição de ensaio, 4 no total.
Método	Automático		
Pressões de ensaio :	EN 13829:2000		
Condições de ensaio	C1	C2	Valores Médios
Data e Hora :	15.07.2013 (17h30)	15.07.2013 (15h30)	
Pressão barométrica (Pa) :	101325 Pa	101325 Pa	
Temperatura exterior (°C) :	29	29	
Temperatura interior (°C) :	26	26	
Anel :	A	A e B	
Baseline pré-ensaio (Pa):	-1,0	-0,0	
Baseline pós-ensaio (Pa):	0,0	0,0	
Resultados			
Coefficiente C :	269,4	203,7	
Expoente n :	0,542/ 0,549	0,538 / 0,551	
Coef. correlação :	0,99953	0,99814	
Q ₅₀ (m ³ .h ⁻¹) :	2247	1671	
n ₅₀ (h ⁻¹) :	8,92	6,63	
w ₅₀ (m ³ /h.m ²) :	22,66	16,85	
q ₅₀ (m ³ /h.m ²) :	29,52	21,95	
Ficheiro de registo (.bld) :	F.A.B - T ₃	F.A.B - T ₃	

C1- Chaminé Aberta

C2- Chaminé Selada

Quadro 29 – Ensaio de depressurização das frações autónomas B

2. DESPRESSURIZAÇÃO

Conformidade do ensaio	EN 13829:2000		Comentários: Foi realizado um ensaio de pressurização para a fração autónoma do 3º piso com dois ensaios para cada situação devido as condições inoportunas dos ocupantes. A condição de ensaio, 4 no total.
Método	Automático		
Pressões de ensaio :	EN		
Condições de ensaio	C1	C2	Valores Médios
Data e Hora :	1.06.2013 (16h30)	1.06.2013 (18h30)	
Pressão barométrica (Pa) :	101325 Pa	101325 Pa	
Temperatura exterior (°C) :	29	29	
Temperatura interior (°C) :	26	26	
Anel :	A	A e B	
Baseline pré-ensaio (Pa):	-0,0	-0,0	
Baseline pós-ensaio (Pa):	0,1	0,3	
Resultados			
Coefficiente C :	241,3	207	
Expoente n :	0,571 / 0,577	0,553 / 0,563	
Coef. correlação :	0,99968	0,99911	
Q ₅₀ (m ³ .h ⁻¹) :	2257	1803	
n ₅₀ (h ⁻¹) :	8,96	7,16	
w ₅₀ (m ³ /h.m ²) :	22,76	18,18	
q ₅₀ (m ³ /h.m ²) :	29,65	23,69	
Ficheiro de registo (.bld) :	F.A.B - T ₃	F.A.B - T ₃	

C1 - Chaminé Aberta

C2- Chaminé Selada

A.5. DETERMINAÇÃO DOS CAUDAIS DE AR ESCOADO ATRAVÉS DE ABERTURAS

A.5.1. Caudal de ar escoado para uma gama de diferenciais de pressão do Edifício A

Quadro 30 - Determinação dos caudais de ar escoado na fração autónoma A – T₄ para uma gama de diferenciais de pressão (Δp) utilizada nos ensaios realizados

		QP2 (m ³ .h ⁻¹)	QP3 (m ³ .h ⁻¹)	QP4 (m ³ .h ⁻¹)
Q=C. Δp^n		113,3 $\Delta p^{0,596}$	120,5 $\Delta p^{0,573}$	116,4 $\Delta p^{0,591}$
Δp (Pa)	25	771,62	762,09	780,07
	30	860,19	846,01	868,82
	35	942,96	924,14	951,69
	40	1021,08	997,63	1029,84
	45	1095,33	1067,28	1104,08
	50	1166,32	1133,70	1175,02
	55	1234,49	1197,33	1243,10
	60	1300,19	1258,54	1308,70

Quadro 31- Determinação dos caudais de ar escoado na fração autónoma B – T₃ para uma gama de diferenciais de pressão (Δp) utilizada nos ensaios realizados.

		QP2 (m ³ .h ⁻¹)	QP3 (m ³ .h ⁻¹)	QP4 (m ³ .h ⁻¹)
Q=C. Δp^n		101,3 $\Delta p^{0,609}$	104,9 $\Delta p^{0,600}$	104,6 $\Delta p^{0,600}$
Δp (Pa)	25	719,37	723,67	721,60
	30	803,85	807,32	805,02
	35	882,97	885,56	883,02
	40	957,78	959,43	956,68
	45	1029,00	1029,68	1026,74
	50	1097,19	1096,88	1093,74
	55	1162,76	1161,43	1158,11
	60	1226,04	1223,68	1220,18

A.5.2. Caudal de ar escoado para uma gama de diferenciais de pressão do Edifício B

Quadro 32 - Determinação dos caudais de ar escoado na fração autónoma B – T₃ para uma gama de diferenciais de pressão (Δp) utilizada nos ensaios realizados

		QC1 (m ³ .h ⁻¹)	QC2 (m ³ .h ⁻¹)
$Q=C. \Delta p^n$		$269,4\Delta p^{0,542}$	$203,7\Delta p^{0,538}$
Δp (Pa)	25	1542	1151
	30	1702	1270
	35	1850	1379
	40	1989	1482
	45	2121	1579
	50	2245	1671
	55	2364	1759
	60	2478	1843

A.6. DETERMINAÇÃO DAS RENOVAÇÕES HORÁRIAS A 50 Pa

A.6.1. Renovações horárias a 50 Pa do Edifício A

Quadro 33 - Determinação das renovações horárias a 50 Pa ($R_{ph_{50}}$) na fração autónoma A – T₄

	$QP2 (m^3 \cdot h^{-1})$	$QP3 (m^3 \cdot h^{-1})$	$QP4 (m^3 \cdot h^{-1})$
$Q_{50} (m^3 \cdot h^{-1})$	1166	1134	1175
$V_{total} (m^3)$	425	425	425
$R_{ph_{50}} (h^{-1})$	2,74	2,67	2,76

Quadro 34 - Determinação das renovações horárias a 50 Pa ($R_{ph_{50}}$) na fração autónoma B – T₃

	$QP2 (m^3 \cdot h^{-1})$	$QP3 (m^3 \cdot h^{-1})$	$QP4 (m^3 \cdot h^{-1})$
$Q_{50} (m^3 \cdot h^{-1})$	1097	1097	1094
$V_{total} (m^3)$	357	357	357
$R_{ph_{50}} (h^{-1})$	3,07	3,07	3,06

A.6.2. Renovações horárias a 50 Pa do Edifício B

Quadro 35 - Determinação das renovações horárias a 50 Pa ($R_{ph_{50}}$) na fração autónoma B

	$QC1 (m^3 \cdot h^{-1})$	$QC2 (m^3 \cdot h^{-1})$
$Q_{50} (m^3 \cdot h^{-1})$	2245	1671
$V_{total} (m^3)$	252	252
$R_{ph_{50}} (h^{-1})$	8,91	6,63

Nota:

C1 – Chaminé e Conduta Aberta

C2 – Chaminé e Conduta Selada

A.7. CARATERIZAÇÃO DE CADA FRAÇÃO AUTÓNOMA

A.7.1. Caraterização das frações autónomas do Edifício A

Quadro 36 – Caraterização das frações autónomas A e B

Nº Piso	Fração Autónoma	Tipologia (T _n +1)	Área da envolvente (m ²)	Volume (m ³)	Janelas		
					Descrição	Área (m ²)	Comprimento das juntas móveis (m)
2	A	T ₄	161	425	3 JP; 3 JS; 1 JOB	20,33	52,82
	B	T ₃	135	357	4 JP; 1 JS; 1 JOB	14,76	51,62
3	A	T ₄	161	425	3 JP; 3 JS; 1 JOB	20,33	52,82
	B	T ₃	135	357	4 JP; 1 JS; 1 JOB	14,76	51,62
4	A	T ₄	161	425	3 JP; 3 JS; 1 JOB	20,33	52,82
	B	T ₃	135	357	4 JP; 1 JS; 1 JOB	14,76	51,62

Legenda: JP - Janela de Peito; JS - Janela de Sacada; JOB - Janela Oscilo-Batente

Quadro 37 – Caraterização das frações autónomas A, T₄.

<p>Pavimento (m²): 160,50</p> <p>Pé-direito (m): 2,65</p> <p>Volume (m³): 425,33</p> <p>Área da envolvente (m²): 56,76</p> <p>Área de vãos envidraçados (m²): 20,33</p> <p>Exposição ao vento: Protegido (NO, NE, SO) Desprotegido (SE)</p>	<p>As janelas que se encontram na fachada principal (orientadas a NO) são de correr com duas, três e quatro folhas móveis, a NE a janela da lavandaria é oscilo-batente e com uma folha. As janelas na fachada SE, são de sacada de correr com duas folhas e janela de peito de correr com três folhas móveis. Caixilharia em alumínio de cor branca e vidro duplo comum. Sistema de estore elétrico de rolo acopolado no interior da padieira com duas grelhas de ventilação fixas no vão e réguas em PVC.</p>
---	---

Quadro 38 – Caraterização das frações autónomas B, T₃.

<p>Pavimento (m²): 134,60</p> <p>Pé-direito (m): 2,65</p> <p>Volume (m³): 356,7</p> <p>Área da envolvente (m²): 42,6</p> <p>Área de vãos envidraçados (m²): 14,76</p> <p>Exposição ao vento: Protegido (NO, NE, SO) Desprotegido (SE)</p>	<p>As janelas que se encontram na fachada principal (orientadas a NO) são de correr com duas e três folhas móveis, a SO a janela da lavandaria é oscilo-batente e com uma folha. As janelas na fachada SE, são de peito de correr com duas e três folhas móveis. Caixilharia em alumínio de cor branca e vidro duplo comum. Sistema de estore elétrico de rolo acopolado no interior da padieira com duas grelhas de ventilação fixas no vão e réguas em PVC.</p>
---	---

A.7.2. Caraterização das frações autónomas do Edifício B

Quadro 39 – Caraterização da fração autónoma B, T₃.

Nº Piso	Fração Autónoma	Tipologia (T _n +1)	Área da envolvente (m ²)	Volume (m ³)	Janelas		
					Descrição	Área (m ²)	Comprimento das juntas móveis (m)
3	A	T ₃	99	252	5JS; 2JB; 2JP	16,43	56,5

Legenda: JP - Janela de Peito; JS - Janela de Sacada; JB - Janela Basculante

Quadro 40 – Caraterização da fração autónoma B, T₃.

<p>Pavimento (m²): 99,2</p> <p>Pé-direito (m): 2,54</p> <p>Volume (m³): 251,8</p> <p>Área da envolvente (m²): 76,12</p> <p>Área de vãos envidraçados (m²): 16,43</p> <p>Exposição ao vento: Protegido (SE, NE,) Desprotegido (SO e NO)</p>	<p>As janelas que se encontram na fachada principal (orientadas a SE) são de correr com duas folhas móveis de correr (2 JP; 1JS) e duas portas envidraçadas com uma folha movel de varrer (2 PV) com orientações distintas (uma orientada a SO e a outra a NE). A janela na fachada NO de sacada contém duas folhas móveis de correr e uma porta envidraçada com duas folhas de varrer. As duas janelas de peito que se encontram orientadas a NE sao basculantes com uma folha móvel. Caixilharia em alumínio de cor amarela e vidro duplo comum. Sistema de estore manual de rolo acopolodo no interior da padieira com uma grelha de ventilação fixa no vão e réguas em PVC.</p>
---	--

A.8. CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO E ORIENTAÇÃO DO EDIFÍCIO MULTIFAMILIAR

A.8.1. Condições ambientais na realização do ensaio e respetiva orientação do Edifício A

Quadro 41 – Condições ambientais e orientações das frações autónomas A, T₄.

NºPisos	Temperatura (°C)		Vento	
	Exterior	Interior	Vel. (m.s ⁻¹)	Orientação
2	20	19	0,2	NE
3	27	23	1,5	NE
4	27	24	1,6	NE

Quadro 42 – Condições ambientais e orientações das frações autónomas B, T₃.

NºPisos	Temperatura (°C)		Vento	
	Exterior	Interior	Vel. (m.s ⁻¹)	Orientação
2	23	19	0,3	NE
3	23	20	1,2	NE
4	26	24	1,3	NE

A.8.2. Condições ambientais na realização do ensaio e respetiva orientação do Edifício B

Quadro 43 – Condições ambientais e orientações das frações autónomas B, T₃.

Condições de ensaio	Temperatura (°C)		Vento	
	Exterior	Interior	Vel. (m.s ⁻¹)	Orientação
C1 e C2	26	29	0,5	SO