

## A IMPORTÂNCIA DA PERMEABILIDADE NA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE VENTILAÇÃO

Vitor E. M. Cardoso<sup>1\*</sup>, Nuno M.M. Ramos<sup>1</sup>, Ricardo M.S.F. Almeida<sup>1,2</sup> e Manuela Almeida<sup>3</sup>

1: CONSTRUCT-LFC  
Faculdade de Engenharia  
Universidade do Porto

e-mail: {v.cardoso, nuno.ramos}@fe.up.pt web: <https://paginas.fe.up.pt/~lfc-scc/>

2: Departamento de Engenharia Civil  
Escola de Tecnologia e Gestão  
Instituto Politécnico de Viseu

e-mail: [ralmeida@estv.ipv.pt](mailto:ralmeida@estv.ipv.pt) web: <http://www.estgv.ipv.pt/estgv/?v=94>

3: CTAC  
Departamento de Engenharia Civil  
Universidade do Minho

e-mail: [malmeida@civil.uminho.pt](mailto:malmeida@civil.uminho.pt) web: <http://ctac.uminho.pt/>

**Palavras-chave:** Ventilação, Estanquidade, REH

**Resumo.** *A permeabilidade da envolvente é um parâmetro fundamental na avaliação do desempenho energético dos edifícios, uma vez que permite avaliar as trocas de ar não controladas. O parâmetro mais utilizado para quantificar a permeabilidade é o número de renovações horárias para um diferencial de pressão de 50 Pa ( $n_{50}$ ), que pode ser determinado experimentalmente com recurso a uma porta ventiladora. No âmbito do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) desenvolveu uma folha de cálculo que permite avaliar o desempenho dos sistemas de ventilação, determinando, entre outros parâmetros, a taxa de renovação de ar da fração na estação de aquecimento e na de arrefecimento. Para o cálculo é necessário caracterizar a permeabilidade ao ar da envolvente, nomeadamente através da indicação do valor do  $n_{50}$ . Pretende-se com este artigo apresentar os resultados de uma análise de sensibilidade cujo objetivo é avaliar a importância da permeabilidade no desempenho dos sistemas de ventilação. Para tal, utilizou-se a ferramenta de cálculo desenvolvida pelo LNEC, estudando-se o impacto do clima exterior, da geometria do edifício e do sistema de ventilação. Alterações na estanquidade de uma dada envolvente podem ter uma influência relevante nos padrões de fluxo de ar e na taxa de renovação do ar interior. Dos cenários considerados, a maior variação da taxa de renovação de ar verificada foi de  $2.73 \text{ h}^{-1}$  entre um  $n_{50}$  medido de 0.6 e  $10 \text{ h}^{-1}$ . Esta variação representa cerca de 6.8 e 4.5 vezes os valores de referência para a estação de aquecimento,  $0.4 \text{ h}^{-1}$ , e a estação de arrefecimento,  $0.6 \text{ h}^{-1}$ , respetivamente. Para determinados cenários o aumento da permeabilidade da envolvente esteve associado à criação de fluxos de ar por ventilação cruzada. O efeito do vento e geometria da envolvente têm um impacto preponderante relativamente ao efeito da impulsão térmica em Portugal continental no referente à regulação das taxas de renovação de ar. Consequentemente as variações na estanquidade da envolvente implicam oscilações mais pronunciadas nas primeiras em sistemas predominantemente influenciados por diferenciais de pressão decorrentes do efeito do vento e geometria da edificação em estudo.*

## 1. INTRODUÇÃO

Os objetivos primários da renovação de ar interior de um dado edifício são a diluição da concentração de poluentes, quer orgânicos quer inorgânicos, para valores não prejudiciais à saúde dos ocupantes, e a admissão de ar fresco, essencial ao processo metabólico [1]. A renovação de ar num edifício ocorre através da ventilação e da permeabilidade ao ar. Enquanto a ventilação representa as trocas propositadas de ar pela envolvente, a permeabilidade, por seu lado, está associada a fendas, juntas e aberturas não intencionais e, por conseguinte, trocas acidentais [2]. Os dois processos dependem de diferenças de pressão que surgem entre o interior e o exterior da envolvente. Estas pressões são variáveis no tempo uma vez que dependem de forças naturais, como a impulsão térmica e a ação do vento, e artificiais, decorrentes da atividade de equipamentos mecânicos, em particular as associadas a equipamentos de ventilação [3].

A ventilação e a permeabilidade ao ar estão, obviamente, relacionadas. Quanto maior a permeabilidade ao ar de um edifício, menor será o controlo sobre os volumes e padrões de movimento do ar que é admitido e extraído pelo sistema de ventilação. Para sistemas de ventilação natural a problemática centra-se essencialmente no correto posicionamento das aberturas intencionais, de modo a reduzir ao máximo a variabilidade dos fluxos de ar [4]. No caso dos sistemas de ventilação mecânica, para além da problemática associada aos sistemas naturais, o controlo sobre a contínua pressurização ou despressurização da envolvente poderá ficar comprometido, resultando em consequências negativas para os ocupantes, principalmente ao nível do conforto térmico e da qualidade do ar interior [5]. Relativamente aos edifícios, uma permeabilidade demasiado elevada, pode condicionar os cenários admitidos para o dimensionamento dos equipamentos de aquecimento, ventilação e ar condicionado, e, conseqüentemente, aumentar o consumo energético [6]. O efeito do movimento do ar nos materiais é uma problemática mais complexa, com eventuais consequências ao nível da sua durabilidade.

Em Portugal, para efeitos de avaliação do comportamento térmico, a permeabilidade ao ar é tida em conta na quantificação dos requisitos de ventilação dos espaços. A legislação existente impõe valores mínimos de cálculo para a taxa de renovação horária nominal de ar, mas não estabelece limites máximos a essa renovação e à permeabilidade global da envolvente. Para efeitos de cálculo da taxa de renovação do ar uma das alternativas apresentadas é a utilização da ferramenta de cálculo desenvolvida pelo LNEC [7]. Nesta metodologia existe a possibilidade de considerar a permeabilidade de vãos e caixas de estore de forma independente ou a introdução do valor resultante de um ensaio de pressurização com porta estanque realizado de acordo com a norma EN 13829 [8]. Esta abordagem experimental estima com maior precisão o comportamento real, quando comparada com o método de consideração dos valores teóricos de permeabilidade para vãos.

Desta forma, os objetivos do presente trabalho prendem-se com a:

- Quantificação da variação da taxa de renovação de ar com a permeabilidade da envolvente para cenários tipificados em diferentes regiões de Portugal.
- Avaliação da sensibilidade dos fatores geometria, impulsão térmica e ação do vento, reguladores da taxa de renovação de ar, face à variação da permeabilidade da envolvente.

## 2. METODOLOGIA

O caso de estudo para simulação baseou-se numa habitação de dois quartos e uma casa de banho com um total de 62 m<sup>2</sup> de área útil e pé direito de 2,50 m. As aberturas de admissão de ar na envolvente foram consideradas fixas e a perfazerem um total de 120 cm<sup>2</sup> de área livre. Para exaustão, foram consideradas duas condutas de ventilação natural, uma para a casa de banho e outra para a cozinha, com presença de exaustores não obturadores do escoamento de ar e de regulação pelo utilizador para valores de pico. Foi adotada uma cobertura em terraço, com inclinação inferior a 10°, e a perda de carga nas condutas foi considerada alta, com uma razão entre a área livre e a área de conduta inferior a 70%.

Para avaliar o efeito do clima, foram selecionados 3 municípios, representativos de zonas climáticas

distintas. A Tabela 1 apresenta os concelhos selecionados, as respetivas regiões NUTS III e os valores de referência de altitude, graus-dia na base de 18 °C correspondente à estação de aquecimento e temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento.

Por forma a avaliar o impacto do padrão do fluxo do ar, o efeito do vento e da impulsão térmica nas renovações por hora (Rph) e sua relação com a variação da estanquidade da envolvente ( $n_{50}$ ), foram considerados 12 cenários na análise de sensibilidade. Tencionou-se aferir vários diferenciais de temperatura exterior média mensal do mês mais frio com temperatura interior de referência na estação de aquecimento e avaliar diferentes alturas de fração em edifícios multifamiliares tendo em vista estudar o efeito da impulsão térmica. Avaliar a ação do vento pelas alterações de região, rugosidade do terreno e proteção do edifício. Ter uma melhor perceção do efeito da geometria da envolvente pela utilização de cenários de habitação unifamiliar e multifamiliar e variando o número de fachadas expostas ao exterior. A Tabela 2 compila as opções relativas a cada cenário.

Município	NUTS III	Zonas climáticas	Z ref [m]	GD ref [°C]	$\Theta_{ext,i}$ ref [°C]
Porto	Grande Porto	I2 – V1	94	1250	9.9
Faro	Algarve	I1 – V2	145	987	11.3
Mirandela	Alto Trás-os-Montes	I3 – V1	680	2015	5.5

Tabela 1. Municípios considerados para análise.

Referência	Fachadas expostas	Região	Rugosidade	Altura fração/ altura edifício	Proteção
A	1	A	I	3/3	Protegido
B	1	B	III	3/3	Desprotegido
C	2	A	I	3/3	Protegido
D	2	B	III	3/3	Desprotegido
E	1	A	I	18/21	Protegido
F	1	A	I	3/21	Protegido
G	1	B	III	3/21	Desprotegido
H	1	B	III	18/21	Desprotegido
I	2	A	I	18/21	Protegido
J	2	A	I	3/21	Protegido
K	2	B	III	3/21	Desprotegido
L	2	B	III	18/21	Desprotegido

Tabela 2. Cenários considerados para análise.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra uma matriz com os resultados das renovações horárias em função do valor  $n_{50}$  para os 12 cenários escolhidos e para os 3 municípios selecionados. A escala no eixo das renovações horárias (Rph) está ajustada para cada cenário por forma a possibilitar uma maior perceção da evolução das mesmas.

A variação das renovações, entre municípios e em valor absoluto, apenas assume relevância para cenários onde a ventilação cruzada não ocorre, em envolventes com apenas uma fachada exposta ao exterior. Para todos os outros cenários a evolução é muito similar nos diferentes municípios considerados. É claro o impacto da impulsão térmica no referente às variações de temperatura nos cenários F e G. A maior amplitude surge no cenário F com uma diferença de  $0.1 \text{ h}^{-1}$  constante nas renovações entre os municípios de Faro e Mirandela com o aumento da permeabilidade da envolvente. O impacto da permeabilidade nestes cenários não excede os  $0.2 \text{ h}^{-1}$  de Rph quando se varia o  $n_{50}$  de  $0.6 \text{ h}^{-1}$  a  $10 \text{ h}^{-1}$ . Este facto contrasta com a maior variação de Rph observada para um mesmo município

corresponde ao cenário L para o Porto com  $2.73 \text{ h}^{-1}$ , um cenário de habitação multifamiliar numa zona média de fachada, não protegida por obstáculos em região B e rugosidade do terreno III. Esta variação representa cerca de 6.8 e 4.5 vezes os valores de referência para a estação de aquecimento,  $0.4 \text{ h}^{-1}$ , e a estação de arrefecimento,  $0.6 \text{ h}^{-1}$ , respetivamente. Por contraste, a menor variação é observada no cenário F para Faro com o valor de  $0.03 \text{ h}^{-1}$ . Este é um cenário com fatores de baixo impacto da ação do vento (edifício protegido, região A e rugosidade III) e geometria de apenas uma fachada exposta numa fração térrea de um edifício multifamiliar de 6 andares. É evidente o maior impacto do efeito do vento relativamente à impulsão térmica nas renovações de ar. Adicionalmente, todos os cenários com apenas uma fachada exposta ao exterior evidenciaram variações de Rph com a evolução do  $n_{50}$  inferiores a frações com duas ou mais fachadas expostas ao exterior. O impacto do fator geometria mostra-se assim mais significativo que os efeitos da proteção do edifício, rugosidade do terreno e região em Portugal continental.

Como referido anteriormente, a relação  $n_{50} - Rph$  é constante entre municípios para um mesmo cenário. Por essa razão as futuras análises serão feitas apenas para o município do Porto, visto as variações serem representativas das variações para os restantes municípios tipo estudados.

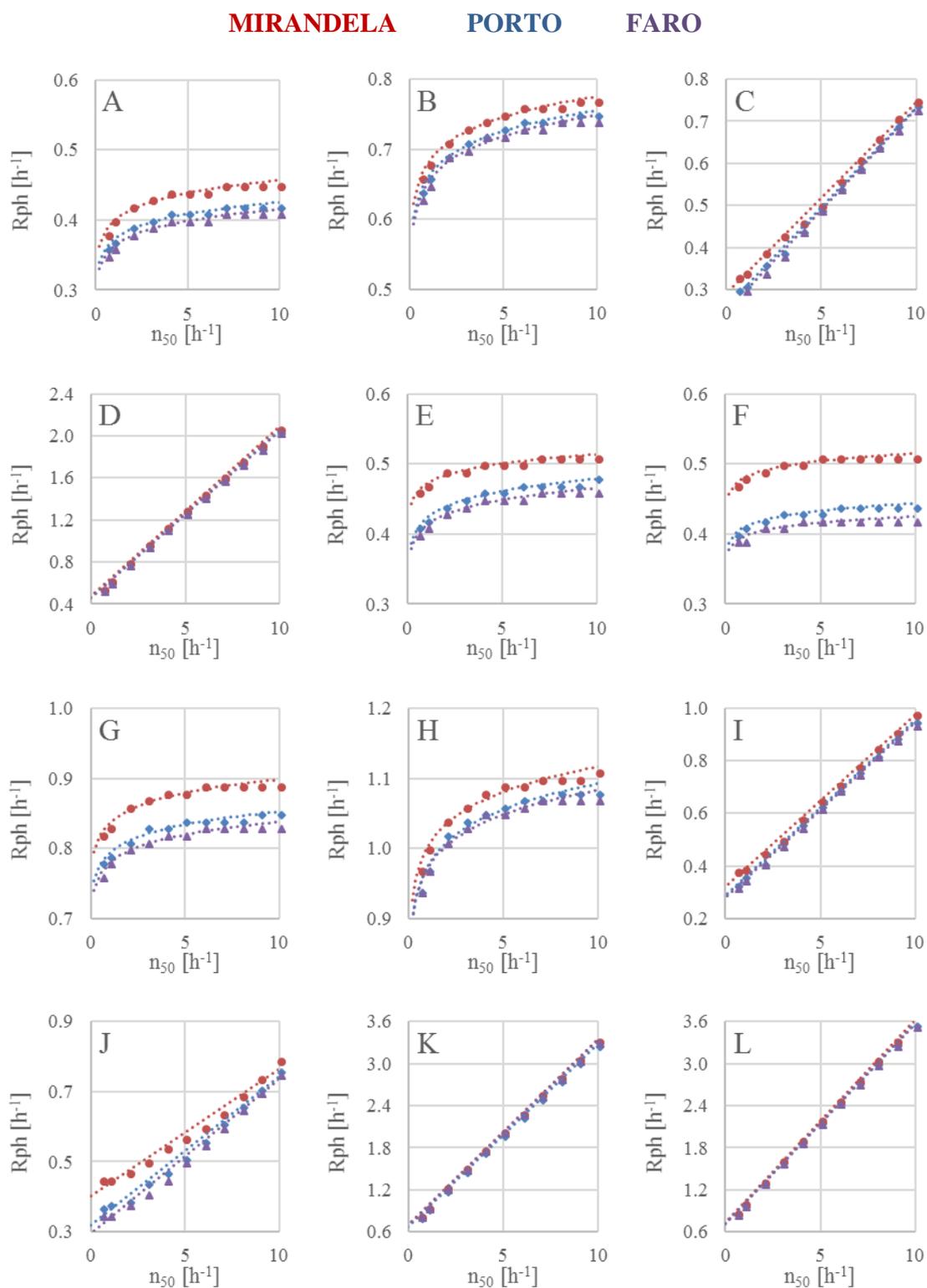


Figura 1. Evolução das renovações por hora (Rph) de ar com a estanquidade da envolvente para 12 cenários em análise nos 3 municípios considerados

A Figura 2 apresenta a evolução de Rph com a variação da estanquidade da envolvente, pela análise do efeito do número de fachadas expostas ao exterior, decorrente dos diferenciais de Rph para diferentes cenários considerados. A mesma lógica para análise do efeito da altura e exposição da habitação é mostrada nas Figura 3 e 4, respetivamente.

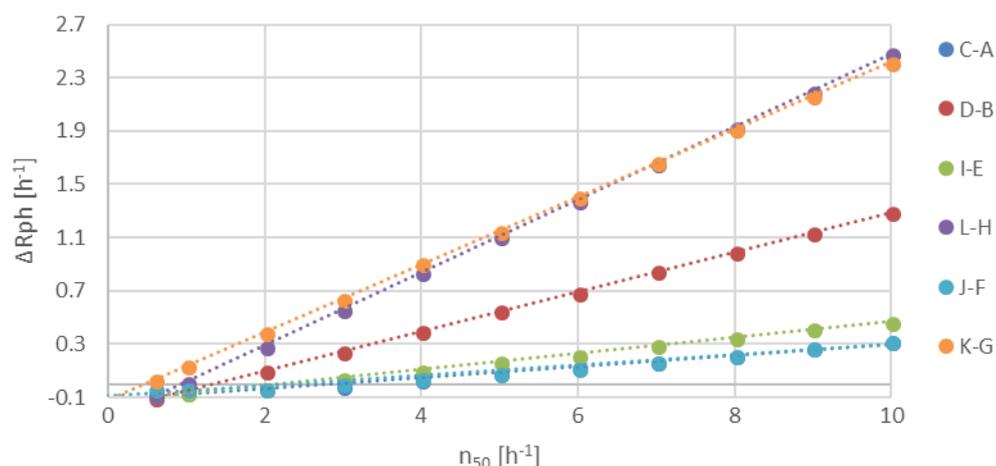


Figura 2. Análise do efeito do número de fachadas expostas ao exterior em Rph com a variação de  $n_{50}$  para o município do Porto. Valores decorrentes dos diferenciais de Rph para diferentes cenários considerados

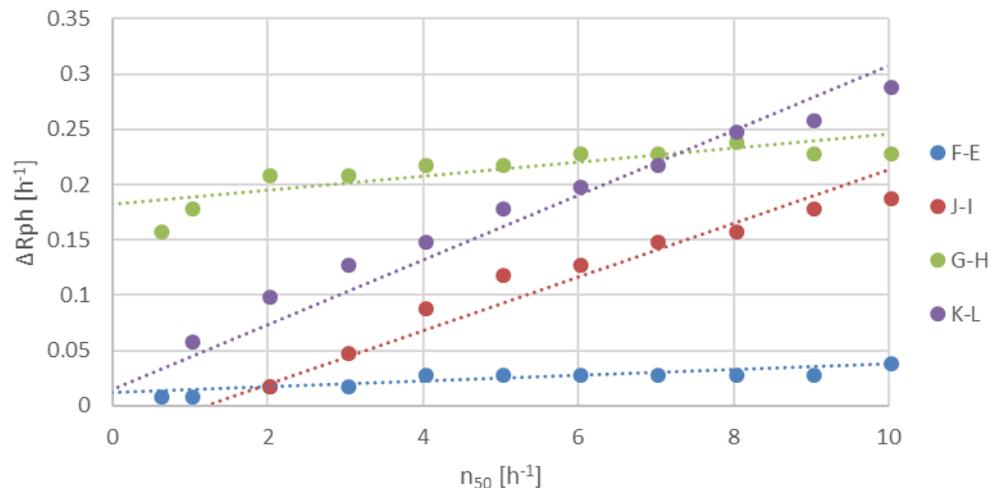


Figura 3. Análise do efeito da altura da fração nas renovações por hora (Rph) de ar com a variação da estanquidade da envolvente ( $n_{50}$ ) para o município do Porto. Valores decorrentes dos diferenciais de Rph para diferentes cenários considerados

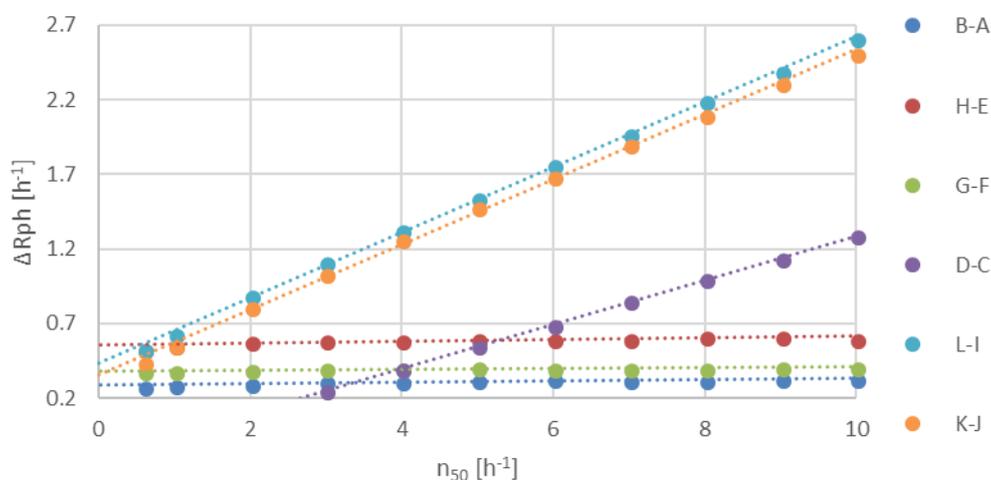


Figura 4. Análise do efeito da exposição da envolvente nas renovações por hora (Rph) de ar com a variação da estagnidade da envolvente ( $n_{50}$ ) para o município do Porto. Valores decorrentes dos diferenciais de Rph para diferentes cenários considerados

Relativamente ao efeito do número de fachadas expostas ao exterior, existem variações crescentes para todos os cenários, mas muito mais acentuadas para as frações com maior exposição. No cenário com maior amplitude, L-I, a variação é 7 vezes superior à do cenário com menor amplitude, B-A. As amplitudes são respetivamente  $2.56$  e  $0.35 h^{-1}$ .

O efeito da altura é muito mais acentuado quando existem duas ou mais fachadas expostas ao exterior. Para os outros cenários, mesmo quando se consideram condições de elevada exposição, as variações de Rph sofrem apenas um ligeiro aumento com o incremento da permeabilidade da envolvente. A amplitude de Rph para a diferença de cenários K-L,  $0.34 h^{-1}$ , é cerca de 11 vezes superior à amplitude do cenário F-E,  $0.03 h^{-1}$ .

O efeito da exposição na permeabilidade ao ar da envolvente é nulo quando apenas uma fachada está exposta ao exterior. Quando existem duas ou mais fachadas expostas, o efeito da exposição é realmente pronunciado. Para o cenário mais gravoso, L-I, verifica-se uma amplitude de Rph de  $2.08 h^{-1}$ .

#### 4. CONCLUSÕES

A análise de sensibilidade feita avaliou a influência de diversos fatores considerados no cálculo das taxas de renovação de ar tendo em conta diferentes permeabilidades da envolvente exterior. Várias conclusões relevantes foram tiradas relativas a esta relação:

- Para os cenários considerados, à maior variação do  $n_{50}$  de  $0.6$  para  $10 h^{-1}$  corresponde uma variação da taxa de renovação de ar de  $2.73 h^{-1}$ .
- Em determinados cenários e localizações, a solução de ventilação apresentada tem um comportamento adequado aos requisitos da legislação para todos os valores de permeabilidade ao ar da envolvente considerados. Noutros cenários acontece o exatamente oposto.
- O padrão de fluxo de ar, associado ao número de fachadas expostas ao exterior, é o parâmetro mais importante na relação estagnidade-taxa de renovação de ar. O efeito do

vento é preponderante relativamente ao efeito da impulsão térmica nesta relação.

## 5. AGRADECIMENTOS

O primeiro autor gostaria de agradecer o apoio da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no financiamento da Bolsa de Doutoramento PD/BD/135162/2017, através do Programa Doutoral EcoCoRe.

Este trabalho foi suportado financeiramente pelo: Projecto POCI-01-0145-FEDER-007457 - CONSTRUCT - Institute of R&D In Structures and Construction com apoio financeiro do FEDER através do COMPETE2020 - Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) – e por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] P. A. and J. L., “Carbon dioxide generation rates for building occupants,” *Indoor Air*, vol. 27, no. 5, pp. 868–879, Mar. 2017.
- [2] M. H. Sherman and R. Chan, “Building Airtightness: Research and Practice,” *Lawrence Berkeley Natl. Lab.*, no. February, pp. 1–46, 2004.
- [3] ASHRAE, “Chap. 24: Airflow around buildings,” *ASHRAE Handb. Fundam.*, p. 24.1--24.15, 2013.
- [4] ASHRAE, “Chap. 16: Ventilation and infiltration,” *ASHRAE Handb. Fundam.*, p. 16.1--16.37, 2013.
- [5] Y. Al horr, M. Arif, M. Katafygiotou, A. Mazroei, A. Kaushik, and E. Elsarrag, “Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: A review of the literature,” *Int. J. Sustain. Built Environ.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–11, 2016.
- [6] S. J. Emmerich, T. P. McDowell, and W. Anis, “Investigation of the Impact of Commercial Building Envelope Airtightness on HVAC Energy Use (NISTIR 7238),” p. 48, 2005.
- [7] A. Pinto, “Aplicação LNEC para Ventilação no âmbito do REH e RECS. Lisboa, LNEC, 2014. v2.0a, 2014-02-12.” [Online]. Available: <http://www.lnec.pt/pt/servicos/ferramentas/aplicacoes-informaticas/eficiencia-energetica/>.
- [8] CEN, *Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method, EN 13829-2000*. 2000.