

RELAÇÃO ENTRE A TAXA DE RENOVAÇÃO DE ÁREAS CARACTERÍSTICAS DA CONSTRUÇÃO PORTUGUESA

Isabel Torres¹

itorres@dec.uc.pt

Atefeh Salehi²

salehi.atefeh@student.dem.uc.pt

Ana Ramos³

ana_amos@ipcb.pt

ÁREA: REABILITAÇÃO

Resumo

A taxa de renovação de ar de um edifício desempenha um papel importante na eficiência energética e no conforto térmico interior dos edifícios. Diferentes características do edifício como idade, altura, localização e tipologia têm influência direta ou indireta sobre a taxa de renovação. Existem já diversos estudos desenvolvidos, neste campo, nos EUA e no norte da Europa, especialmente sob condições climáticas frias, mas os edifícios do Mediterrâneo não têm sido alvo de muita atenção.

Assim, este trabalho pretende apresentar uma investigação realizada sobre a correlação entre a taxa de renovação de ar de um edifício e a sua tipologia e altura, em Portugal. Blower Door Test (BDT) foi o método selecionado como metodologia de estudo. Com este objetivo foram efetuadas medições in-situ em edifícios residenciais no Centro Histórico da cidade de Coimbra, Portugal. Os resultados obtidos foram comparados com os valores permitidos na regulamentação Portuguesa.

Finalmente e com base nos resultados experimentais e da regulamentação algumas conclusões foram puderam ser retiradas:

- Existe uma relação linear entre a altura dos edifícios e a taxa de infiltração.
- A taxa de renovação de ar de um edifício multifamiliar é superior de um edifício unifamiliar.

Palavras-chave: Edifícios existentes

Reabilitação

Taxa de renovação de ar

¹ Departamento de Engenharia Civil da FCTUC/ADAI-LAETA/ITeCons, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal

² Departamento de Engenharia Civil da FCTUC, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal

³ Departamento de Engenharia Civil do Instituto Politécnico de Castelo Branco, Castelo Branco, Portugal



RELACIÓN ENTRE LA TASA DE RENOVACIÓN DEL AIRE Y LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN PORTUGUESA

Isabel Torres¹

itorres@dec.uc.pt

Atefeh Salehi²

salehi.atefeh@student.dem.uc.pt

Ana Ramos³

ana_ramos@ipcb.pt

AREA: REHABILITACIÓN

Resumen

La tasa de renovación de aire de un edificio desempeña un papel importante en la eficiencia energética y en el confort térmico interior de los edificios. Diferentes características del edificio como edad, altura, ubicación y tipología tienen influencia directa o indirecta sobre la tasa de renovación. Existen ya varios estudios desarrollados en este campo en los Estados Unidos y en el norte de Europa, especialmente bajo condiciones climáticas frías, pero los edificios del Mediterráneo no han sido objeto de mucha atención.

Este trabajo pretende presentar una investigación sobre la correlación entre la tasa de infiltración del edificio y su tipo y altura, en Portugal. Blower Door Test (BDT) fue el método seleccionado como metodología de estudio. Para este propósito se realizaron mediciones in situ en los edificios de viviendas en el centro histórico de la ciudad de Coimbra, Portugal. Los resultados se compararon con los valores permitidos en la reglamentación portuguesa.

Finalmente, y sobre la base de los resultados experimentales y de la reglamentación, algunas conclusiones pudieron ser retiradas:

- Existe una relación lineal entre la altura de los edificios y la tasa de infiltración.
- La tasa de renovación de aire de un edificio multifamiliar es superior a un edificio unifamiliar.

Palabras clave: Edificios existentes

Rehabilitación

Tasa de renovación de aire

Introdução

Em 2015, o setor da construção era responsável por 40% do consumo final de energia e 60% de consumo de eletricidade na União Europeia (1). A renovação do ar do edifício é um fator importante que afeta o consumo de energia (2,3), sendo também uma das formas de melhorar a qualidade do ar interior (IAQ) (4) e proporcionar um ar saudável através da diluição dos poluentes do edifício (5,6). A renovação do ar não controlada (isto é, as infiltrações) através da envolvente do edifício aumenta o consumo de energia e tem efeito sobre a taxa de ventilação.

De acordo com Eskola (2007) (7), a renovação de ar do edifício está relacionada com a estanqueidade da envolvente e também com diferença de pressão sobre a mesma. Portanto, é necessário e importante estabelecer um equilíbrio entre a taxa de ventilação e a taxa de estanqueidade do edifício.

Os parâmetros que maior influência têm na renovação de ar das envolventes dos edifícios são as características da construção (8,9), a tipologia de construção (10,11), a idade dos prédios (12), o número de pisos (13,14), e a interação entre a construção e o meio ambiente (15).

Geralmente, a estanquidade ao ar reflete a resistência da envolvente do edifício ao fluxo de ar e é influenciada pelas trajetórias do fluxo de ar no edifício (16).

A maioria dos edifícios existentes/históricos possui uma tecnologia de ventilação natural interessante e as infiltrações são uma das fontes fundamentais de ventilação nos mesmos (17). Existe um vasto domínio de pesquisa sobre a estanquidade ao ar das construções e as suas técnicas de medição. No entanto, a maioria incide em condições de clima frio como o Canadá (18), os Estados Unidos da América (19,20,21) e a Europa (especialmente no norte da Europa) (22,23,24).

Como a previsão da taxa de renovação de um edifício é difícil, existem diferentes taxas de acordo com os diferentes regulamentos e países. A maioria dos edifícios existentes são excessivamente ventilados, especialmente por infiltrações (25), a sua taxa aceitável para edifícios foi determinada como sendo de 0,35 renovações por hora, com base nos padrões ASHRAE (26). Em Portugal, de acordo com a REH (Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação) (27), a taxa de renovação de ar por hora é de 0,4 no período de inverno e 0,6 no período de verão.

Materiais e metodologia

Metodologia

Geralmente, existem duas abordagens diferentes para estudar/analisar problemas de ventilação e infiltração de ar, nomeadamente a simulação e a medição. Devido aos elevados custos envolvidos nos métodos experimentais, a maioria dos investigadores recorre à simulação para desenvolver sua pesquisa, embora os resultados dos métodos experimentais sejam mais realistas e fiáveis.

A medição das infiltrações através da envolvente é feita, principalmente, através do método do gás traçador ou do método de pressurização, BDT. O primeiro é um método que mede diretamente as infiltrações num edifício, ou fração e embora seja mais preciso tem menos repetibilidade e é mais dispendioso. O método de pressurização, BDT, é a técnica mais comum para medir as infiltrações de ar na envolvente dos edifícios e foi usado pela primeira vez na Suécia cerca de 1977. Hoje, os procedimentos para a realização do BDT

são descritos na Norma Europeia EN-13829 (28), que está implementada na maioria dos países europeus, e também foi utilizada nesta pesquisa. O BDT está também associado à EN-ISO-13790 (29), EN-ISO-13829 e ISO-9972 (30).

O BDT é um método indireto, que mede a permeabilidade ao ar de um edifício sujeitando-o a uma determinada pressão. Monitoriza o caudal necessário para manter essa pressão. Realiza medições a diferentes pressões. O ventilador escolhido deve ter capacidade para induzir variações específicas de pressão, positivas ou negativas, através da envolvente do edifício ou fração em estudo. O equipamento deve ainda ser capaz de providenciar um fluxo de ar constante, em cada patamar de pressão. Podemos obter o valor da taxa de renovação de ar horária para a pressão de 50Pa.

O equipamento utilizado é apresentado na Figura 1, onde podemos ver o desenrolar do ensaio BDT num dos casos de estudo.



Figura 1: Ensaio BDT

O equipamento utilizado nesta investigação foi o *Retrotec Model 1000 Blower Door*, cujas características estão de acordo com a norma aplicável (EN 13829: 2000), e é constituído por:

- Ventilador com 0,75 cv de potência e com um caudal máximo, em ensaios a 50Pa, de 9514m³;
- Estrutura de alumínio e um pano impermeabilizante para substituição da porta;
- Manómetro digital *Retrotec DM-2 Series dual Channel*, que comanda o ventilador;
- Computador com o *software FanTestic* que permite comandar todo o processo e controlar o ventilador.

Os resultados obtidos no ensaio combinados com as formulas de cálculo fornecidas na norma de referência permitem o cálculo dos valores da taxa de renovação de ar, n_{50} , da permeabilidade ao ar, q_{50} e da taxa de fugas, w_{50} , que são o objetivo do ensaio. Dividindo o caudal das fugas de ar pelo volume interno, pela área específica e pela área útil, obtemos as grandezas referidas, através das formulas:

$$n_{50} = \frac{v_{50}}{v} \quad (1)$$

$$q_{50} = \frac{v_{50}}{A.E} \quad (2)$$

$$w_{50} = \frac{v_{50}}{A.u} \quad (3)$$

Em que:

n_{50} - taxa de renovação de ar,

v_{50} – caudal de fugas de ar

v – volume interno [m³]

q_{50} – permeabilidade ao ar a 50 Pa

$A.E$ – área específica [m²]

w_{50} – taxa de fugas específica

$A.u$ – área útil [m²]

Depois de determinar as taxas de infiltração e de renovação de ar dos edifícios, através do BDT, tentou-se encontrar uma correlação entre as características da construção mencionadas anteriormente e os resultados do BDT.

Caso de estudo

A investigação foi desenvolvida no centro histórico da cidade de Coimbra. Os casos de estudo estão todos localizados na Rua Fernandes Thomas. A entrada desta rua tem uma perspetiva do "Rio Mondego" e é influenciada por sopros de ventos vindos do rio. A rua está ligada à Rua da Couraca Lisboa a sul e à "Rua Quebra Costas" e "Torres da Almedina" a norte. A Figura 2 apresenta a sua localização.



Figura 2 – Localização da Rua Fernandes Tomás

O estudo foi desenvolvido em quatro edifícios residenciais com diversas tipologias, unifamiliares e multifamiliares estando uns reabilitados e outros não reabilitados. A Tabela 1 mostra as características dos edifícios selecionados.

Tabela 1: The general properties of the selected cases studies.

Caso de estudo	Tipologia	Orientação	Localização	Área (m ²)	Estado de conservação
Caso de estudo 1	Multifamiliar	Este-Oeste	3º andar	45.8	Não reabilitado
Caso de estudo 2	Multifamiliar	Este-Oeste	4º andar	50.5	Não reabilitado
Caso de estudo 3	Multifamiliar	Este-Oeste	1º andar	25.4	Reabilitado
Caso de estudo 4	Unifamiliar	Este-Oeste	Edifício com 5 andares	139.1	Reabilitado há alguns anos

Resultados e discussão

Nas figuras 3, 4 e 5 apresentam-se os resultados obtidos através do BDT, respetivamente para a taxa de infiltração de ar, permeabilidade ao ar e taxa de renovação de ar, e que irão servir de base para a obtenção de uma correlação entre os estes parâmetros e as características dos edifícios/frações. Observando os referidos gráficos podemos ver que os edifícios multifamiliares são, genericamente, mais permeáveis ao ar, com maior taxa de renovação horária, maior taxa de infiltração e maior caudal de fugas de ar. Isto poderá dever-se à circulação interna do ar dentro das frações, que se faz de uma forma diversa conforme temos uma fração num só piso ou em diversos pisos pertencentes à mesma fração.

O 4º caso de estudo, que é um edifício unifamiliar tem uma envolvente pouco permeável ao ar, que se deve também ao facto de ter sido reabilitado há alguns anos.

Verifica-se ainda que nos três primeiros casos de estudo, que são os multifamiliares, a idade do edifício e a qualidade da construção têm também influência nas infiltrações das frações. Nomeadamente no 3º caso de estudo que é uma fração recentemente reabilitada. Estes são os principais fatores que vão influenciar a permeabilidade destas três frações.

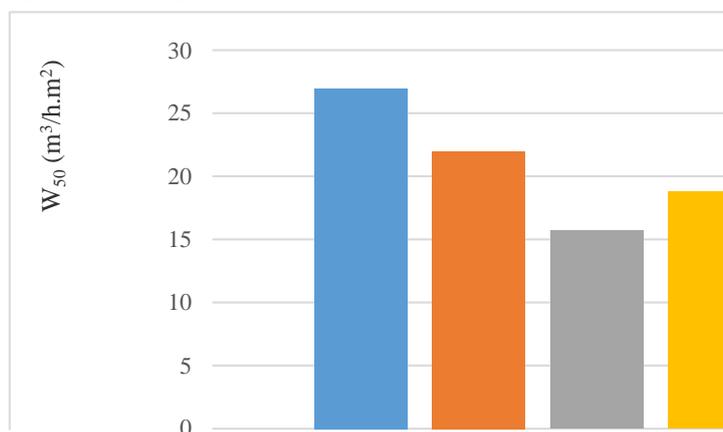


Figura 3 – Taxa de infiltração de ar

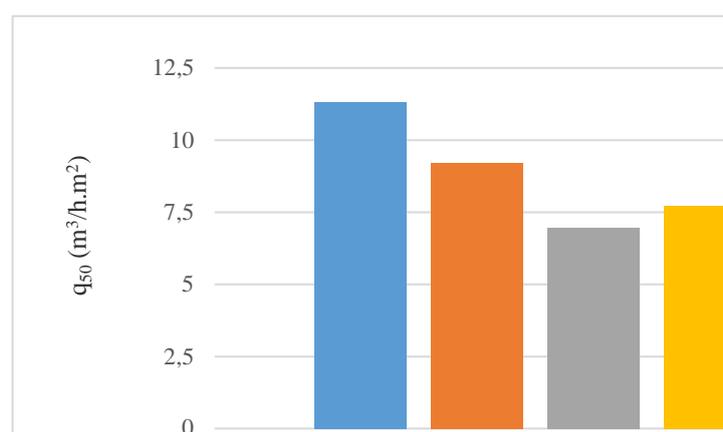


Figura 4 – Permeabilidade ao ar

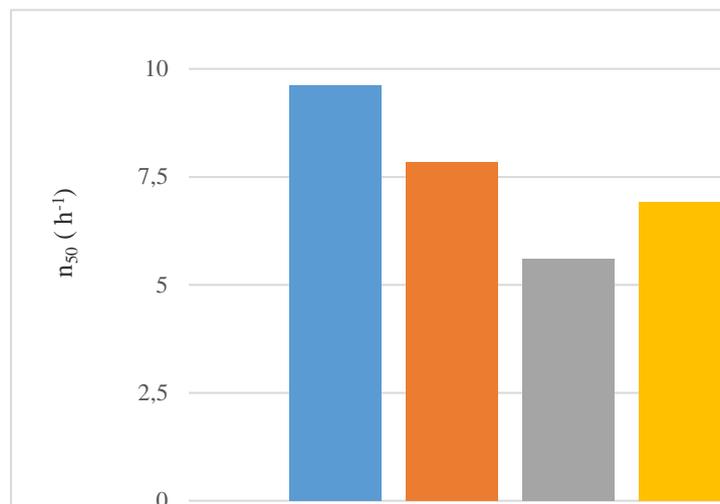


Figura 5 – Caudal de fugas de ar

Com o objetivo de considerar o efeito da altura do edifício (altura média do apartamento em causa), apresenta-se na Figura 6 a relação entre a taxa de renovação de ar e a altura da fração. Pela observação do referido gráfico pode concluir-se que quanto mais elevada é a altura da fração maior a permeabilidade ao ar da envolvente.

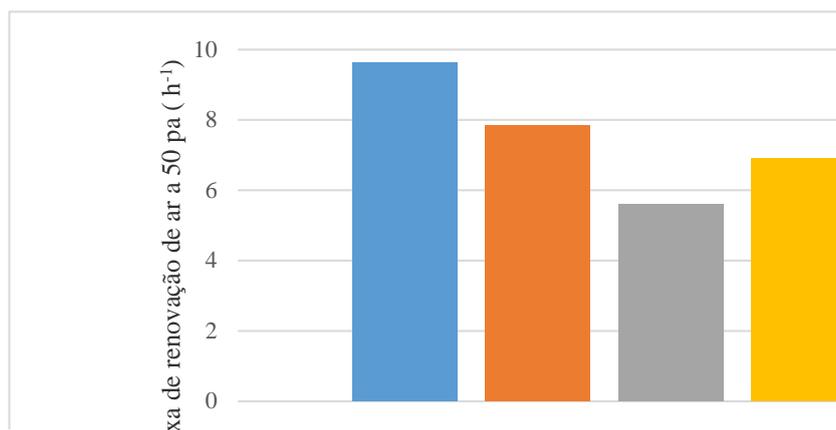


Figura 6 – Relação entre a altura da fração e a taxa de renovação de ar

O outro parâmetro que foi analisado foi a localização/exposição das frações no interior da própria Rua Fernandes Tomás. A rua Fernandes Tomás é uma rua bastante estreita e com prédios em banda, em ambos os lados, com uma altura significativa, criando uma espécie de “canal urbano”, em que a circulação do ar exterior/sucção exercida sobre as fachadas dos edifícios vai ser bastante influenciada pela relação entre a largura da via e a altura dos edifícios. Para analisar de que forma este parâmetro influencia a permeabilidade das frações calculou-se o que se designou por “canal urbano” e que não é mais do que o quociente entre a altura do edifício e a largura da via, este parâmetro varia entre 1,87 na parte mais larga em frente dos dois primeiros casos estudo e 7,2 na parte mais estreita da rua na frente do último caso.

Na Figura 7 apresenta-se a relação entre a altura do edifício, o “canal urbano” e a taxa de renovação de ar, onde se pode observar que para os dois primeiros casos de estudo que pertencem ao mesmo edifício e que, portanto, têm idêntica tipologia de construção e “canal urbano” aquele que está situado a uma cota mais elevada tem maior taxa de renovação de

ar. Ou seja, o aumento da altura do edifício faz com que a taxa renovação de ar do mesmo aumente, o que se relaciona com o aumento da pressão de ar com a altura.

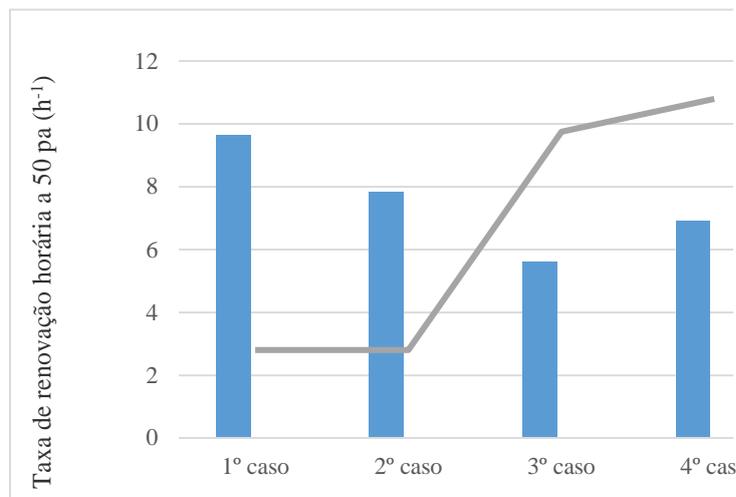


Figura 7 – Relação entre a altura do edifício, o “canal urbano” e a taxa e ventilação

CONCLUSÕES

A taxa de renovação de ar de um edifício é um parâmetro bastante importante no comportamento energético do mesmo. Esta taxa de renovação de ar é influenciada por diversos parâmetros relacionados com o próprio edifício e com toda a zona envolvente. Analisar de que forma alguns destes parâmetros influenciam a taxa de renovação de ar de uma fração foi o grande objetivo desta investigação.

Para isso foram estudados quatro edifícios residenciais localizados no Centro Histórico de Coimbra, com características diversas, quer em termos de ocupação (unifamiliares e multifamiliares, quer em termos de altura, quer em termos do estado de conservação (reabilitados e não reabilitados). Foi determinada a sua permeabilidade ao ar, taxa de renovação horária e caudal de infiltração, experimentalmente, através do Blower Door Test.

Os resultados obtidos foram relacionados com as características dos edifícios, nomeadamente, estado de conservação, tipologia, inserção na rua e altura.

Da análise executada pode-se concluir que existe uma correlação entre a altura do edifício e a taxa de renovação de ar. Conclui-se também que as frações multifamiliares possuem maior taxa de renovação de ar devido à circulação interna dentro da própria fração. Conclui-se ainda que as frações renovadas possuem menor permeabilidade ao ar na sua envolvente.

As características da construção e a qualidade da intervenção de reabilitação são parâmetros com maior influência na taxa de renovação de ar do que a tipologia e a inserção dos edifícios na rua.

Referimos como limitações ao estudo realizado:

- O numero reduzido de frações analisadas. Isto ficou a dever-se ao facto de estarmos perante uma zona em que maior parte das frações estão ocupadas por particulares e ser difícil ter acesso às mesmas para proceder às medições com o BDT.



- Falta de informação sobre a taxa de renovação, antes da intervenção, dos edifícios que sofreram obras de reabilitação. Esta lacuna impediu que pudéssemos comparar a taxa de renovação de ar antes e após a reabilitação.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem a colaboração do ITeCons (Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade) na realização de toda a campanha experimental.

BIBLIOGRAFIA

- (1) B. LAPILLONNE, K. POLLIER e N. SAMCI, **Energy Efficiency Trends for households in the EU**, no. Maio, pp. 1--51, 2015.
- (2) Ü. ALEV, L. ESKOLA, E. ARUMÄGI, J. JOKISALO, A. DONARELLI, K. SIREN, T. BROSTRÖM e T. KALAMEES, **Renovation alternatives to improve energy performance of historic rural houses in the Baltic Sea region** Energy Build., vol. 77, pp. 58–66, 2014.
- (3) A. JANSSENS e H. HENS, **Journal of Thermal Envelope and Building Science Interstitial Condensation Due to Air**, vol. 27, no. 1, 2003.
- (4) L. C. NG, A. K. PERSILY, e S. J. EMMERICH, **IAQ and energy impacts of ventilation strategies and building envelope airtightness in a big box retail building**, Build. Environ., vol. 92, pp. 627–634, 2015.
- (5) F. PACHECO-TORGAL, **Indoor radon: An overview on a perennial problem**, Build. Environ., vol. 58, pp. 270–277, 2012.
- (6) M. J. SORGATO, A. P. MELO, e R. LAMBERTS, **The effect of window opening ventilation control on residential building energy consumption**, Energy Build., vol. 133, pp. 1–13, 2016.
- (7) L. ESKOLA, J. KURNITSKI, J. JOKISALO, K. JOKIRANTA, J. PALONEN, J. VINHA, e T. KALAMEES, **Air pressure conditions in Finnish residences**, Measurement, vol. 2, pp. 6–13, 2007.
- (8) ASHRAE, **Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Ansi/Ashrae Standard 62.1-2007**, Atlanta, USA, 2007.
- (9) O. A. B. HASSAN, **An alternative method for evaluating the air tightness of building components**, Build. Environ., vol. 67, pp. 82–86, 2013.
- (10) W. PAN, **Relationships between air-tightness and its influencing factors of post-2006 new-build dwellings in the UK**, Build. Environ., vol. 45, no. 11, pp. 2387–2399, 2010.
- (11) A. SFAKIANAKI, K. PAVLOU, M. SANTAMOURIS, I. LIVADA, M. N. ASSIMAKOPOULOS, P. MANTAS, e A. CHRISTAKOPOULOS, **Air tightness measurements of residential houses in Athens, Greece**, Build. Environ., vol. 43, no. 4, pp. 398–405, 2008.
- (12) M. I. MONTOYA, E. PASTOR, F. R. CARRIÉ, G. GUYOT, e E. PLANAS, **Air leakage in Catalan dwellings: Developing an airtightness model and leakage airflow predictions**, Build. Environ., vol. 45, no. 6, pp. 1458–1469, 2010.
- (13) T. KALAMEES, **Air tightness and air leakages of new lightweight single-family detached houses in Estonia**, Build. Environ., vol. 42, no. 6, pp. 2369–2377, 2007.



- (14) G. HONG e B. S. KIM, **Field measurements of infiltration rate in high rise residential buildings using the constant concentration method**, Build. Environ., vol. 97, pp. 48–54, 2016.
- (15) NCFI, **Moisture in the Building Envelope**, North Carolina, 1994.
- (16) Z. MAGYAR, **Typical ventilation design concepts and strategies**, Nanjing Seminar, 2011.
- (17) C. BALOCCO e G. GRAZZINI, **Numerical simulation of ancient natural ventilation systems of historical buildings. A case study in Palermo**, J. Cult. Herit., vol. 10, no. 2, pp. 313–318, 2009.
- (18) A. KAYELLO, H. GE, A. ATHIENITIS, e J. RAO, **Experimental study of thermal and airtightness performance of structural insulated panel joints in cold climates**, Build. Environ., vol. 115, pp. 345–357, 2017.
- (19) W. R. CHAN, W. W. NAZAROFF, P. N. PRICE, e A. J. GADGIL, **Analyzing a database of residential air leakage in the United States**, Atmos. Environ., vol. 39, no. 19, pp. 3445–3455, 2005.
- (20) E. L. HULT, M. H. SHERMAN, and L. WARKER, **Blower Door techniques for measuring interzonal leakage**, in proceeding of building XII in California., 2014.
- (21) W. R. CHAN, J. JOH, and M. H. SHERMAN, **Analysis of air leakage measurements of US houses**, Energy Build., vol. 66, pp. 616–625, 2013.
- (22) T. KALAMEES, **Air tightness and air leakages of new lightweight single-family detached houses in Estonia**, Build. Environ., vol. 42, no. 6, pp. 2369–77, 2007.
- (23) Energy Saving Trust, **Improving Airtightness in Dwellings. Good Practice Guide 224 (GPG 224)**, London, England, 2005.
- (24) R. STEPHEN, **Airtightness in UK dwellings**, 2000.
- (25) M. H. SHERMAN and D. J. DICKERHOFF, **Airtightness of U.S. dwellings**, ASHRAE Trans., vol. 104, no. 2, pp. 1359–1367, 1994.
- (26) R. American Society of Heating and I. and Air-Conditioning Engineers, **ASHRAE ADDENDA ASHRAE ADDENDA: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**, Atlanta, GA, 2004.
- (27) “Decreto-Lei Nº. 118/2013 (2013) **Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)**, Portugal.”
- (28) European Committee for Standardization, “EN 13829. Hellenic Standard. **Thermal performance of buildings— determination of air permeability of buildings—fan pressurization method.**” 2000.
- (29) “EN ISO 13790 (former 832). Thermal performance of buildings— calculation of energy use for heating.”
- (30) L. BUNING e I. S. O. STORE, **Thermal performance of buildings — Determination of air permeability of buildings — Fan pressurization method**, Internaional Standard ISO 9972, 2nd ed. Switzerland: ISO Central Secretaria, 2006.
- (31) A. PINTO, **Aplicação LNEC para ventilação no ambiente do REH e RECS**, LNEC, Lisboa, Portugal, p. 1, 2014.