



Congresso Internacional da Habitação no Espaço Lusófono
2º CIHEL - LNEC - LISBOA - PORTUGAL - 13 A 15 MARÇO 2013

CONTRIBUIÇÃO DA CAIXILHARIA EXTERIOR PARA A VENTILAÇÃO NATURAL

Contribution of external windows to natural ventilation

João Carlos Viegas ¹ e Armando Pinto ²



Eng. João Viegas

LNEC

Lisboa - Portugal



Eng. Armando Pinto

LNEC

Lisboa - Portugal

¹ Eng.º Mecânico, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, jviegas@lnec.pt

² Eng.º Mecânico, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, apinto@lnec.pt

Palavras-chave: caixilharia exterior, ventilação natural

Resumo

A caixilharia exterior cumpre um conjunto de exigências diversas e, por vezes, aparentemente contraditórias. Ao constituir uma fronteira entre o exterior e o interior do edifício, as janelas, entre outras funções, devem resistir à intempérie, ser estanques à chuva, limitar o desconforto devido às correntes de ar, isolar acusticamente o interior do exterior e permitir a iluminação natural dos compartimentos. As janelas além de providenciarem a ventilação dos espaços quando abertas, também podem providenciar a ventilação através de dispositivos dedicados (que as janelas podem integrar).

Nesta comunicação mostra-se que a permeabilidade ao ar das janelas é normalmente insuficiente para satisfazer as necessidades de ventilação de uma habitação. Nesse sentido, as janelas podem integrar dispositivos adequados para satisfazer essas necessidades de ventilação natural sem prejudicar outros desempenhos, como, por exemplo, o desempenho acústico. Esta possibilidade é particularmente útil em processos de reabilitação, onde comumente, devido à utilização de caixilharia de desempenho melhorado, acaba por se prejudicar a ventilação das habitações (quando não é acautelada a implementação de meios dedicados de ventilação). As janelas podem resolver este problema, uma vez que podem constituir um módulo que integre já esses dispositivos, no limite sem necessitar de incluir meios de ventilação noutros elementos da envolvente.

Nesta comunicação refere-se ainda como a marcação CE das janelas pode constituir um instrumento relevante na especificação do desempenho da caixilharia.

1. INTRODUÇÃO

A envolvente do edifício providencia abrigo num ambiente exterior agressivo, assegurando as condições de segurança e conforto necessárias ao desenvolvimento das atividades humanas ou ao repouso. Entre as ações naturais relevantes no que respeita à exposição ao ambiente exterior destacam-se a temperatura, o vento e a chuva. Com o desenvolvimento da vivência em meio urbano e com o desenvolvimento tecnológico, as emissões de ruído passaram a ter em muitos locais intensidade significativa, pelo que se tem tornado cada vez mais relevante assegurar que a envolvente do edifício tem condições para a atenuação desta ação para níveis que garantam a inexistência de perturbação significativa das atividades que se desenvolvem no seu interior. O desempenho das paredes e da cobertura pode tecnologicamente assegurar com alguma facilidade a proteção relativamente a essas ações; todavia, é necessária a introdução de elementos de descontinuidade na envolvente, as portas e as janelas, para assegurar o acesso, a iluminação natural, a ventilação natural (em especial quando as folhas das janelas e das portas estão abertas) e o contacto visual com o exterior. A necessidade destes componentes assegurarem estas múltiplas funções e as limitações tecnológicas que foram existindo ao longo do tempo conduziram a que a caixilharia tinha por natureza uma permeabilidade ao ar significativa, que permitia só por si providenciar alguma ventilação e que dificultava a melhoria do seu desempenho acústico. Os desenvolvimentos tecnológicos ao longo do século XX permitiram a redução dessa permeabilidade ao ar para níveis baixos, reduzindo os níveis de desconforto térmico e acústico no interior dos edifícios. Nestas condições, em contrapartida, os níveis de ventilação podem ser inadequadamente baixos, obrigando à adoção de meios dedicados para a admissão de ar no edifício, para o escoamento desses caudais no seu interior e para o escoamento do ar contaminado com os efluentes resultantes das atividades humanas para o exterior. O escoamento dos efluentes para o exterior é assegurado por condutas, por meios naturais ou mecânicos e a admissão do ar para o edifício pode ser assegurada por aberturas dedicadas, que podem ser posicionadas de forma a minimizar o impacto do ar novo no conforto térmico no interior do edifício, que podem ter dispositivos de atenuação acústica e que podem ter dispositivos de limitação do caudal.

Em trabalho precedente [1] estimou-se que o caudal mínimo de ar novo necessário para assegurar a qualidade do ar interior é de 5 l/s/p em quartos e 6 l/s/p nas salas, de forma a limitar a concentração máxima de CO₂ ao valor de 800 ppm acima da concentração exterior e a humidade relativa interior a 70%. Neste cálculo foi considerado que o mesmo espaço não se encontra ocupado em permanência 24 horas por dia, tirando partido do regime dinâmico para permitir um caudal de ar menor do que o correspondente à condição de regime estacionário equivalente a uma ocupação permanente.

Admite-se, no contexto da análise subsequente, como hipótese de trabalho que os compartimentos de uma habitação têm uma ocupação, em situação de utilização normal, de um ocupante para 7 m², correspondendo assim uma taxa de ocupação de cerca de 0,14 ocupante/m². Admitindo que o pé-direito da habitação é o mínimo regulamentar [2] de 2,4 m, verifica-se que à taxa de ventilação de 1 h⁻¹ (1 renovação por hora) corresponde um caudal de ventilação de cerca de 4,7 ls⁻¹ e que à taxa de ventilação de 0,4 h⁻¹ corresponde um caudal de 1,9 ls⁻¹.

Considerando a expressão $PD = 395 \cdot \exp(-1,83 \cdot q^{0,25})$, indicada no documento normativo CR 1752:1998 [3] que permite estimar a percentagem de insatisfeitos PD relativamente à perceção da qualidade do ar em função do caudal de ventilação q, estima-se que para a taxa de ventilação de 1 h⁻¹ se obtém aproximadamente 27% de insatisfeitos e que para a taxa de ventilação de 0,4 h⁻¹ se obtém aproximadamente 47% de insatisfeitos. Assim, a taxa de ventilação de 1 h⁻¹ permite obter uma qualidade de ar interior ligeiramente melhor que a categoria C estabelecida no documento normativo CR 1752:1998 [3].

Tendo em conta que a produção de CO₂, devido ao metabolismo humano M (expresso em W), pode ser expresso por $q_{CO_2} = 0,00004M$ e que para ocupantes em repouso o metabolismo assume aproximadamente o valor de 100 W (norma BS 5925:1991 [4]), a concentração assintótica de equilíbrio de CO₂ é de 860 ppm para a taxa de ventilação de 1 h⁻¹ e de 2140 ppm para a taxa de ventilação de 0,4 h⁻¹, acima do teor de CO₂ no ambiente exterior. Sendo elevada a insatisfação que ocorre para a taxa de ventilação de 0,4 h⁻¹, deve ser evitado que este valor ou valores inferiores ocorram durante uma parte significativa do tempo.

No que respeita à humidade no ar interior, nas condições referidas e tendo em conta que uma pessoa em repouso liberta cerca de $0,040 \text{ kg h}^{-1}$ de vapor de água [4], verifica-se que o acréscimo da massa de vapor de água no caso da taxa de ventilação de 1 h^{-1} é de $0,002 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ar seco}}$ e no caso da taxa de ventilação de $0,4 \text{ h}^{-1}$ é de $0,005 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ar seco}}$. A contribuição desta fonte pode ser apreciada se se analisar o incremento que provoca na temperatura de saturação (temperatura de orvalho). Considerando estados psicrométricos do ar interior correspondendo sucessivamente a temperaturas de orvalho de 1°C , 10°C e de 15°C , a presença humana em repouso (nas condições anteriormente referidas) num ambiente ventilado à taxa de 1 h^{-1} conduz a temperaturas de orvalho respetivamente de $6,5^\circ\text{C}$, $14,0^\circ\text{C}$ e 18°C . Se o ambiente for ventilado à taxa de $0,4 \text{ h}^{-1}$ as novas temperaturas de orvalho serão, respetivamente, $12,5^\circ\text{C}$, $18,0^\circ\text{C}$ e 21°C . No caso da taxa de ventilação de $0,4 \text{ h}^{-1}$ o acréscimo à temperatura de orvalho é muito significativo e incrementa muito a possibilidade de condensação nas superfícies interiores da envolvente (paredes, tetos, caixilharia), pelo que não é razoável que esta taxa de ventilação ocorra com continuidade.

Neste trabalho pretende-se evidenciar que a permeabilidade ao ar das janelas é normalmente insuficiente para assegurar os caudais mínimos de ventilação pretendidos [1], bem como se reflete com base numa ferramenta simplificada sobre o tipo de dispositivos dedicados de admissão de ar a instalar nas janelas para assegurar as taxas mínimas de renovação de ar. Efetivamente na norma NP 1037-1 [5] são recomendadas aberturas de admissão de ar dimensionadas para a diferença de admissão de ar de 10 Pa, enquanto Pinto [6 e 7], recomenda a utilização de aberturas de admissão de ar autorreguláveis a 2 Pa

2. METODOLOGIA

No âmbito deste estudo toma-se como referência a norma NP 1037-1 [5], relativa ao dimensionamento da ventilação natural em edifícios de habitação. Admite-se que o interior da fração do edifício em causa pode ser considerado como um espaço único com o seu ar interior em condições uniformes de pressão e temperatura. Esta aproximação é adequada para o estudo dos caudais de ventilação desde que as portas interiores estejam abertas e que a temperatura considerada seja a temperatura média das condutas de exaustão. Nestas condições, pode ser utilizado um modelo nodal que relaciona as pressões e caudais entre as fachadas de barlavento, de sotavento, o ventilador estático situado no coroamento da conduta de exaustão e o interior.

O modelo nodal baseia-se na hipótese que consiste em admitir que cada compartimento (ou conjunto de compartimentos) pode ser caracterizado pelos valores médios das várias grandezas. Se se admitir a hipótese de escoamento estacionário pode obter-se o seguinte conjunto de equações no qual a primeira (1) exprime o princípio da continuidade aplicado a cada compartimento i e a segunda (2) uma condição de equilíbrio da quantidade de movimento aplicada a cada abertura k (equação de Bernoulli), combinada com a equação (1). Este tipo de formulação simplificada foi apresentado em [8], é compatível com métodos de cálculo expressos na norma EN 13465 [9] e pode ser aplicado a espaços individualizados ou a todo o conjunto de um apartamento. O modelo pode ser estabelecido tendo em conta as variáveis expressas na figura 1.

Admitindo que $\rho_\infty \approx \rho_i$ (excetuando para a consideração do efeito de chaminé), a equação da continuidade pode escrever-se em termos dos caudais volúmicos representados na figura 1:

$$\dot{V}_{i1} - \dot{V}_{i2} = \dot{V}_c \quad (1)$$

A partir desta equação de equilíbrio pode obter-se a seguinte expressão [8]:

$$\dot{V}_{i1} = \left[\frac{\frac{1}{2} \rho_{\infty} v_{\text{vento}}^2 (C_{p1} - C_{pc}) - C_1 \dot{V}_{i1} |\dot{V}_{i1}| + \frac{ghP_{\infty}}{R} \left[\frac{1}{T_{\infty}} - \frac{1}{T_i} \right]}{C_c} \right]^{1/2} + \left[\frac{\frac{1}{2} \rho_{\infty} v_{\text{vento}}^2 (C_{p1} - C_{p2}) - C_1 \dot{V}_{i1} |\dot{V}_{i1}|}{C_2} \right]^{1/2} \quad (2)$$

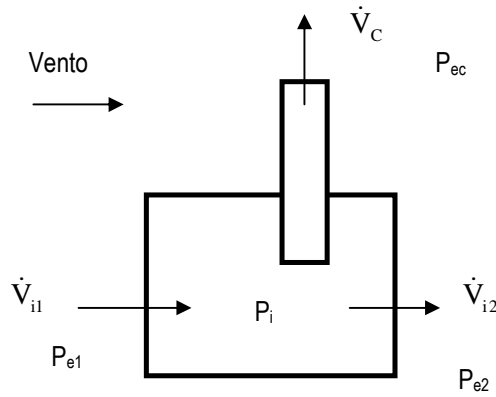


Figura 1: Variáveis do modelo

A expressão (2) pode ser posta em termos da contribuição de \dot{V}_{i1} para a taxa de ventilação considerando que:

$$\dot{V} = V_i N_i \quad (3)$$

obtendo-se então a expressão (4):

$$N = \left[\frac{\frac{1}{2} \rho_{\infty} v_{\text{vento}}^2 (C_{p1} - C_{pc}) - C_1 (VN)^2 + \frac{ghp_{\infty}}{R} \left[\frac{1}{T_{\infty}} - \frac{1}{T_i} \right]}{C_c V^2} \right]^{1/2} + \left[\frac{\frac{1}{2} \rho_{\infty} v_{\text{vento}}^2 (C_{p1} - C_{p2}) - C_1 (VN)^2}{C_2 V^2} \right]^{1/2} \quad (4)$$

Note-se que esta expressão depende ainda de N, pelo que este valor deve ser obtido iterativamente, atualizando em cada ciclo o valor de N como variável independente. A taxa de ventilação dos compartimentos principais é obtida tendo em conta a contribuição de todos os escoamentos relevantes através da envolvente. Para estimar a exposição ao vento do compartimento utilizam-se as classes especificadas na norma NP 1037-1.

A norma NP 1037-1 [5] especifica que os caudais tipo de ventilação devem corresponder a 1 renovação por hora para os compartimentos principais (quartos, salas de estar e de jantar, etc.) e 4 renovações por hora para os compartimentos de serviço (cozinha e instalações sanitárias). Tendo em conta as exigências normativas, os

dispositivos do sistema de ventilação são, nas simulações seguintes, dimensionados para o caudal tipo de acordo com os seguintes critérios:

1. Abertura de admissão de ar. Perda de carga de 10 Pa para o caudal tipo, em classes de exposição diferentes da classe Exp 1 (a menos exigente) é obrigatório o uso de aberturas com possibilidade de regulação, nomeadamente aberturas autorreguláveis.
2. As aberturas que asseguram a passagem do ar admitido nos compartimentos principais para os compartimentos de serviço são suficientemente amplas para se poder não considerar a respetiva perda de carga normativa.
3. As aberturas de exaustão de ar que servem as condutas de exaustão têm a perda de carga de 3 Pa para os últimos 5 pisos do edifício e de 10 Pa para os restantes pisos. Para efeitos deste cálculo adotou-se o valor de 3 Pa, que maximiza a taxa de ventilação.
4. As condutas coletoras de exaustão têm uma perda de carga de 0,15 Pa/m e as condutas individuais ou os ramais das condutas coletivas têm uma perda de carga de 0,30 Pa/m, para os respetivos caudais tipo. Neste caso, adotou-se a solução de reter apenas a menor perda de carga e de não considerar perdas de carga localizadas nas singularidades das condutas.

Foram ainda adotadas as seguinte hipóteses de cálculo:

5. O ventilador estático deve constituir uma perda de carga não superior a 4 Pa e o seu coeficiente de depressão não deve exceder (em valor algébrico) $-0,5$. Neste caso considerou-se que o coeficiente de pressão pode ser análogo ao que ocorre na cobertura, tendo sido adotado o valor de $-0,55$.
6. Tendo em conta os coeficientes de pressão referidos no Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA) [10], foram adotados neste estudo os valores de 0,7 para o coeficiente de pressão médio na fachada situada a barlavento e $-0,2$ para o coeficiente de pressão médio na fachada situada a sotavento.
7. Considerou-se ainda que a área da caixilharia corresponde a 15% da área do piso e considerou-se que o pé-direito é o mínimo regulamentar de 2,4 m (Artº65º do Regulamento Geral das Edificações Urbanas - RGEU [2]).

Admitiu-se que as necessidades de ventilação dos compartimentos principais são superiores às dos compartimentos de serviço. Assim, as taxas de ventilação a seguir referidas correspondem à ventilação do volume constituído pelos compartimentos principais, que corresponde em geral a uma parcela de cerca de 0,6 a 0,8 do volume total da habitação.

Neste estudo foi considerado um modelo nodal com apenas uma zona interior, ligada aos nós exteriores através de frinchas, da chaminé e das aberturas de ventilação. Os valores C_1 e C_2 , que incluem as características das aberturas de admissão de ar e da permeabilidade ao ar das janelas, e C_c , que reflete todas as perdas de carga do circuito de exaustão, são obtidos com base nas condições referidas atrás. Os valores de C_1 e C_2 variam com o caudal de ar escoado para se ter em conta a lei de potência aplicável às janelas [8 e 11]

3. PERMEABILIDADE AO AR DA CAIXILHARIA

Tendo em vista a necessidade de evitar interferências significativas da permeabilidade ao ar da caixilharia com a ventilação das habitações, a norma NP 1037-1 [5] limita a utilização das classes de permeabilidade ao ar das janelas. No quadro 1 indicam-se os valores limite para cada exposição, referidos às classes de permeabilidade ao ar especificadas na norma EN 12207 [11].

A velocidade do vento que é excedida em 50% do tempo, obtida para as classes de exposição especificadas na norma NP 1037-1 [5], está apresentada no quadro 2.

Num primeiro conjunto de exemplos, o modelo nodal foi utilizado para a determinação das taxas de ventilação dos compartimentos principais admitindo que a envolvente exterior não dispõe de aberturas dedicadas para a

ventilação da habitação. Foram consideradas diversas possibilidades de permeabilidade ao ar das janelas da envolvente. Como referência foram utilizados os valores intermédios das classes de permeabilidade ao ar definidas na norma europeia EN 12207 [11]. Na figura 2 apresenta-se a taxa de ventilação dos compartimentos principais em função da diferença entre a temperatura interior e a temperatura exterior e na figura 3 apresenta-se essa taxa em função da velocidade do vento.

Quadro 1: Classes de permeabilidade ao ar de janelas em função da exposição

Altura acima do solo	Fachadas não abrigadas					
	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
10	1	2	2	1	2	2
15	1	2	2	1	2	2
18	1	2	2	1	2	3
28	1	2	2	2	2	3
40	2	2	3	2	2	3
50	2	2	3	2	2	3
60	2	2	3	2	3	3

Quadro 2: Estimativa da velocidade média do vento excedida em 50% do tempo (todos os rumos)

Altura acima do solo	Fachadas não abrigadas					
	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
10	3.5	4.9	6.3	3.8	5.3	6.9
15	3.9	5.3	6.7	4.3	5.8	7.3
18	4.1	5.5	6.8	4.5	6.0	7.5
28	4.7	6.0	7.3	5.1	6.6	8.0
40	5.2	6.4	7.6	5.7	7.1	8.4
50	5.5	6.7	7.9	6.0	7.4	8.7
60	5.8	7.0	8.1	6.4	7.7	8.9

As infiltrações de ar pelas janelas devido à diferença de temperatura (figura 2) são sempre inferiores a $0,30 \text{ h}^{-1}$, na gama de temperatura estudada, e, portanto, inferiores ao valor de 1 h^{-1} pretendido. Na presença de vento, devido à combinação de coeficientes de pressão, o ar é admitido por ambas as fachadas e escoado pela conduta vertical. Embora o coeficiente de pressão na fachada de sotavento seja negativo ($C_p = -0,2$), é superior ao coeficiente de pressão no ventilador estático ($C_p = -0,55$), pelo que não ocorre o escoamento entre as fachadas de barlavento e sotavento. Verifica-se que as taxas de ventilação asseguradas pela permeabilidade ao ar das janelas são muito baixas, como seria de esperar, nunca ultrapassando em média $0,5 \text{ h}^{-1}$ se a classe de permeabilidade ao ar das janelas em função da exposição estiver de acordo com o quadro 1. Verifica-se assim

que a ventilação assegurada por este modo, sem aberturas dedicadas, é insuficiente. Por outro lado verifica-se que as recomendações de seleção da permeabilidade ao ar de janelas corporizadas pelo quadro 1 permitem limitar as infiltrações de ar.

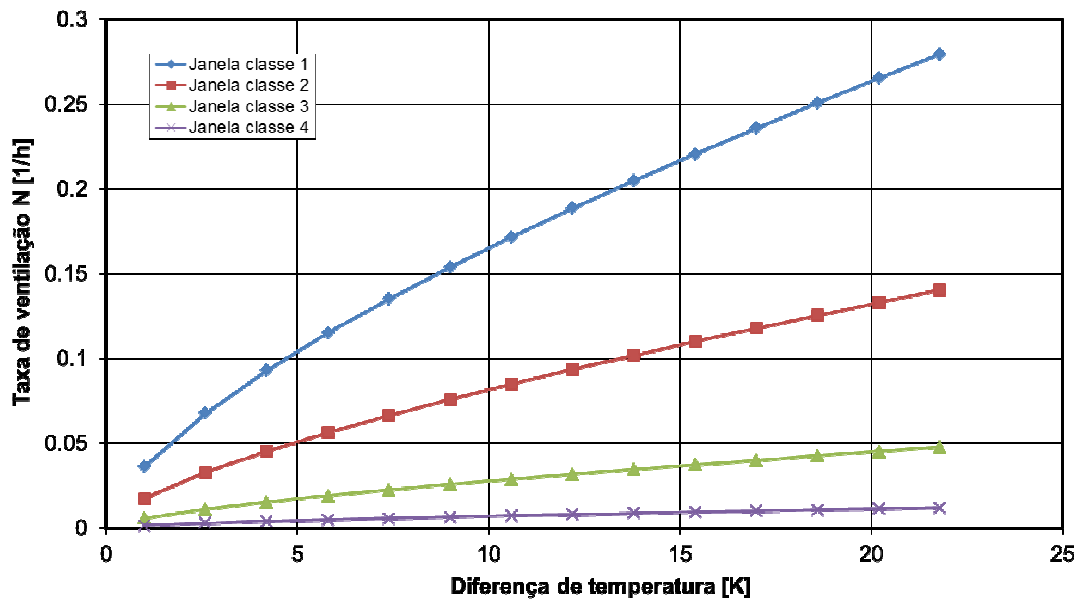


Figura 2: Taxa de ventilação dos compartimentos principais em função da diferença entre a temperatura interior e a temperatura exterior

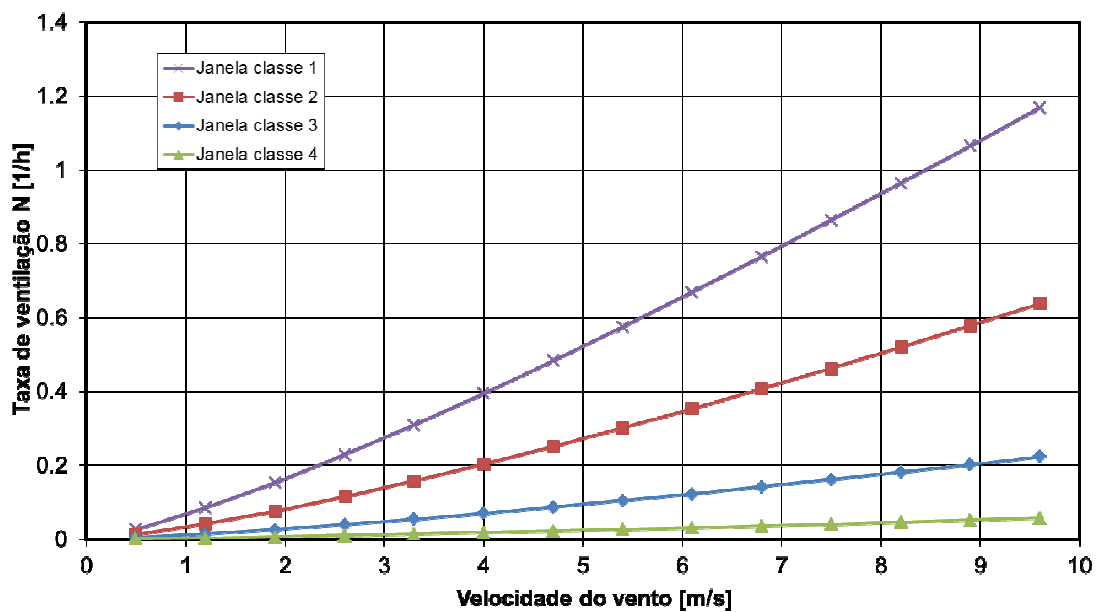


Figura 3: Taxa de ventilação dos compartimentos principais em função da velocidade do vento

4. DESEMPENHO DOS DISPOSITIVOS DE VENTILAÇÃO DEDICADOS

O modelo nodal foi aplicado para a previsão do desempenho da ventilação considerando a utilização de aberturas de ventilação dedicadas que atingem os seus caudais nominais para as diferenças de pressão de 2 Pa, de 10 Pa e de 20 Pa. As aberturas de admissão que atingem os caudais nominais a 2 Pa são aberturas desenvolvidas especificamente para os sistemas de ventilação natural, a diferença de pressão de 10 Pa corresponde ao valor de pressão de dimensionamento previsto na norma NP 1037-1 e as aberturas de admissão que atingem os caudais nominais a 20 Pa são aberturas desenvolvidas especificamente para os sistemas de ventilação mecânica.

Considerou-se que a habitação tem dupla exposição e que a área de caixilharia e a das aberturas dedicadas está dividida igualmente pelas duas fachadas. Na figura 4 apresenta-se o resultado obtido para as aberturas que atingem o caudal nominal para a diferença de pressão de 10 Pa. Na figura 5 foi desenvolvido o estudo do desempenho da ventilação com aberturas de admissão de ar autorreguláveis que atingem o caudal nominal a 2 Pa em combinação com janelas de diferentes classes de permeabilidade ao ar.

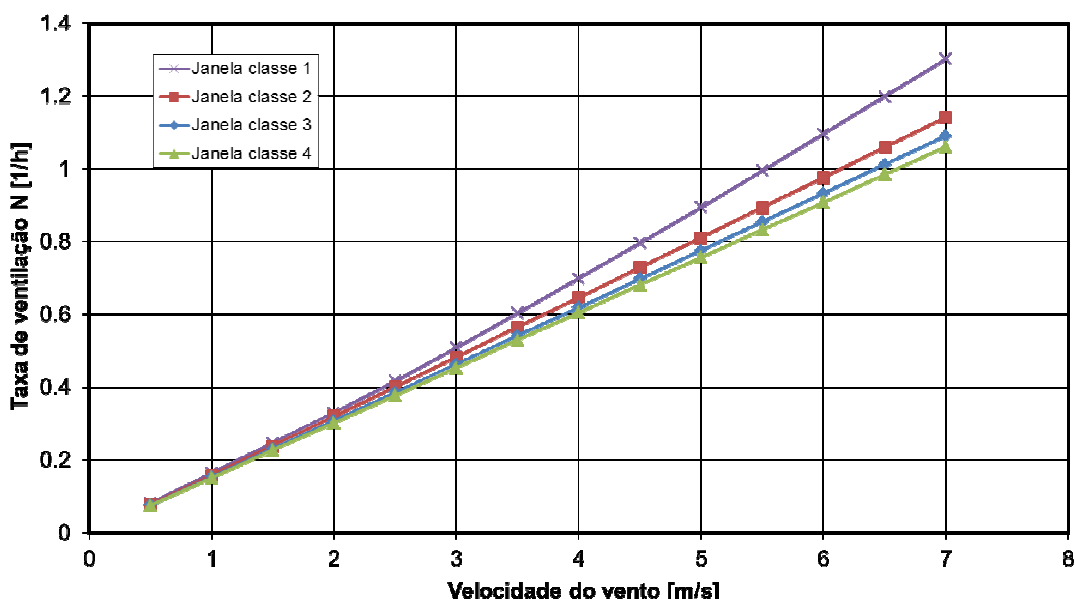


Figura 4: Desempenho da ventilação com aberturas que atingem o caudal nominal para a diferença de pressão de 10 Pa

Salienta-se que, neste caso, o caudal das aberturas autorreguláveis não foi limitado ao caudal nominal quando estas são submetidas a uma diferença de pressão superior à diferença de pressão nominal. O estudo da influência desse comportamento na ventilação pode ser encontrado em [8]. O desempenho autorregulável manifesta-se apenas para taxas de ventilação dos compartimentos principais superiores a 1 h^{-1} . Como seria de esperar, verifica-se que as aberturas que atingem o caudal nominal a 2 Pa permitem atingir a taxa de ventilação de projeto para a gama de velocidade do vento de 3,5 m/s a 4,0 m/s, enquanto as aberturas que atingem o caudal nominal a 10 Pa só permitem atingir a taxa de ventilação de projeto para a gama de velocidade do vento de 5,5 m/s a 6,5 m/s. Verifica-se que, para a satisfação dos caudais de ventilação, é vantajosa a utilização de aberturas que atingem o caudal nominal a 2 Pa, desde que sejam autorreguláveis.

No sentido de se explorar a possibilidade de serem utilizadas aberturas de secção de passagem constante para exposições de menor intensidade do vento, admitiu-se aqui a possibilidade de metade das aberturas estarem dotadas de meios de oclusão por ação do utilizador. Neste caso, as aberturas de admissão que permanecem abertas têm uma característica de desempenho equivalente ao que teriam as aberturas dimensionadas para

atingir o caudal nominal para uma pressão quatro vezes superior (por exemplo, o desempenho da ventilação com metade das aberturas dimensionadas para atingirem o caudal nominal sob a diferença de pressão de 10 Pa é idêntico ao desempenho das aberturas dimensionadas para atingirem o caudal nominal sob a diferença de pressão de 40 Pa). Dado que este tipo de aberturas não tem possibilidade de limitar o caudal para diferenças de pressão elevadas, não é adequado para utilização em locais mais expostos, assim o estudo limita-se aqui à utilização de janelas da classe 1, que são também as mais adequadas para locais de exposição menos exigente (ver quadro 1). Note-se que, nas condições das figuras 4 e 5, a influência da permeabilidade ao ar da caixilharia é limitada, pelo que não há significativa perda de generalidade em conduzir a análise subsequente apenas para janelas da classe 1.

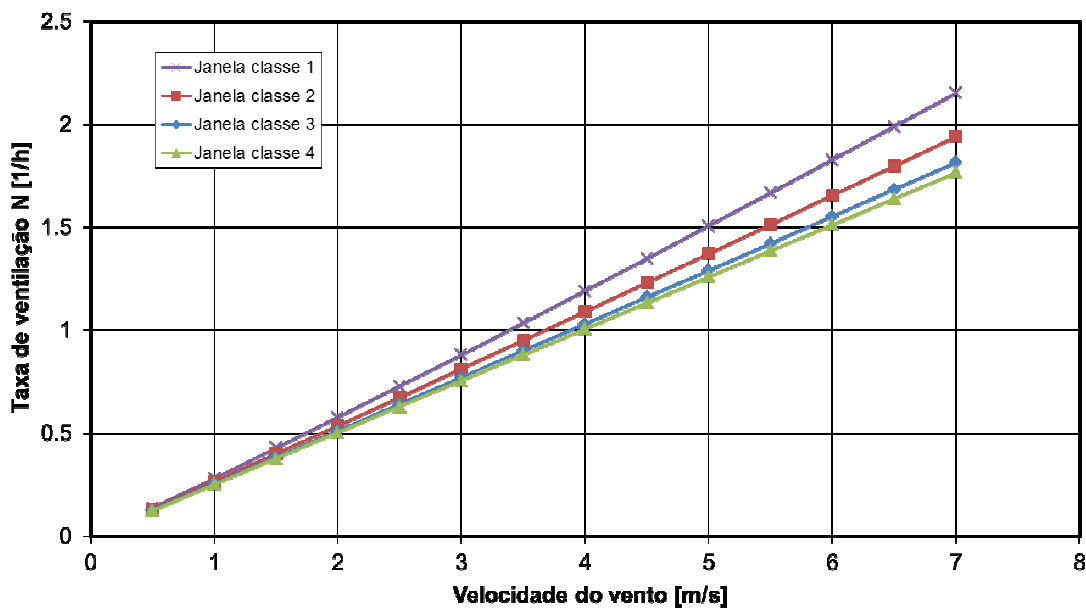


Figura 5: Desempenho da ventilação com aberturas de admissão de ar que atingem o caudal nominal para a diferença de pressão de 2 Pa

Na figura 6 mostra-se a taxa de ventilação atingida para diferentes velocidades do vento e na figura 7 apresenta-se a taxa de ventilação atingida para diferentes diferenças de temperatura.

No caso da figura 7, verifica-se que as taxas de ventilação que podem ser atingidas exclusivamente por efeito da diferença de temperatura (ventilação térmica) são limitadas. Tendo em consideração as temperaturas mínimas de inverno que têm a probabilidade acumulada de ocorrência de 10% [12] e admitindo que a temperatura interior se encontra no limiar mínimo de conforto de 18°C, verifica-se que mesmo para as Penhas da Saúde (que regista as temperaturas mínimas em Portugal) a diferença de temperatura entre o interior e o exterior não excederá 22°C. Para esta diferença de temperatura a taxa de ventilação nunca excede 0,75 h⁻¹ para qualquer das aberturas ou combinações de aberturas consideradas.

Na figura 8 apresenta-se uma estimativa da velocidade média do vento (considerando todos os rumos) para a zona A, rugosidade I e altura acima do solo de 15 m, para a zona A, rugosidade I e altura acima do solo de 18 m e para a zona B, rugosidade I e altura acima do solo de 10 m. Estas exposições estão de acordo com os critérios especificados no RSA [10]. As duas últimas correspondem ao limite superior da classe de exposição EXP 1, como está definida da NP 1037-1 [5]. Recorda-se que de acordo com o RSA RSA [10] se deve considerar que a velocidade abaixo de 15 m de altura acima do solo é constante e igual ao seu limite superior, no caso da rugosidade I, e que a velocidade também é constante e igual ao seu limite superior para uma altura acima do solo até 10 m no caso da rugosidade II. Estes valores são aproximados, pois na proximidade do solo a

velocidade do vento é fortemente influenciada pelos obstáculos próximos. A figura 6 pode ser analisada à luz desta informação. Note-se que a primeira e a última curva praticamente se sobrepõem. Assim constata-se que:

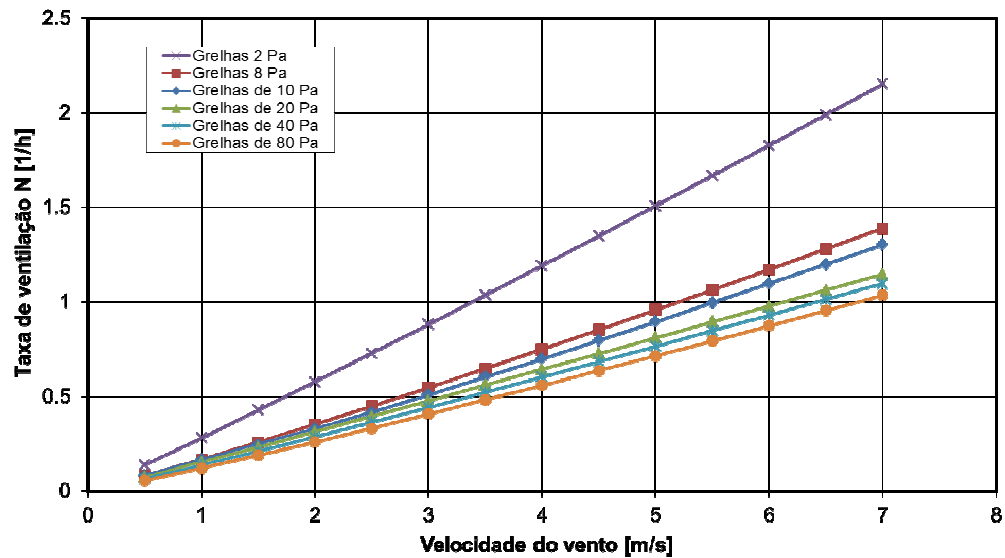


Figura 6: Desempenho da ventilação em função da pressão de dimensionamento das aberturas de admissão de ar e da velocidade do vento

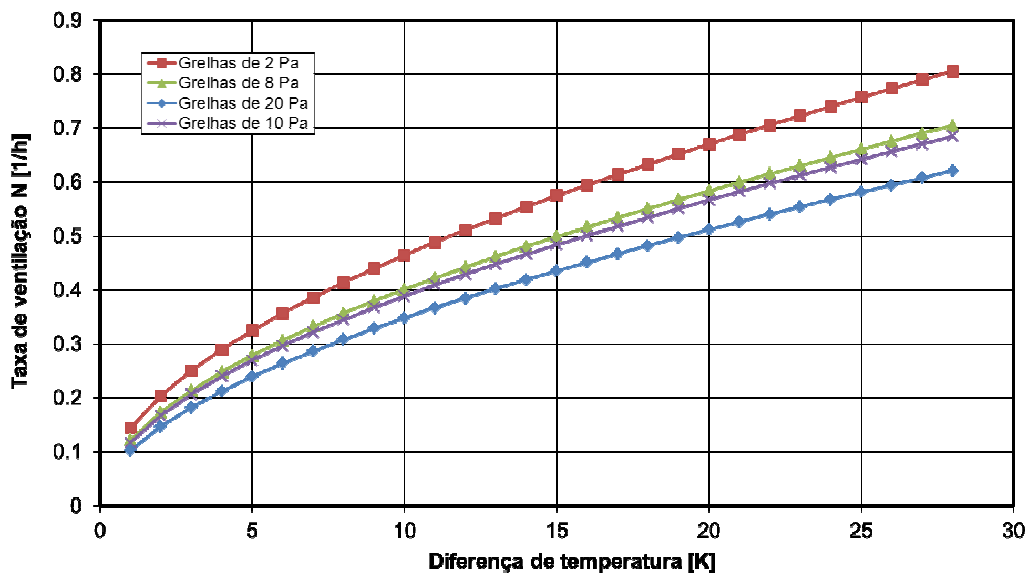


Figura 7: Desempenho da ventilação em função da pressão de dimensionamento das aberturas de admissão de ar e da diferença de temperatura

- Para uma velocidade de 2,7 m/s, que poderá ser excedida em 80% do tempo, as aberturas dimensionadas para escoarem o caudal nominal a uma diferença de pressão de 10 Pa superam a taxa

de ventilação de $0,4 \text{ h}^{-1}$; nas mesmas condições as aberturas dimensionadas para escoarem o caudal nominal a uma diferença de pressão de 2 Pa asseguram aproximadamente $0,8 \text{ h}^{-1}$.

- Para uma velocidade de 5,5 m/s, que poderá ser excedida em cerca de 20% do tempo, as aberturas dimensionadas para escoarem o caudal nominal a uma diferença de pressão de 10 Pa atingem a taxa de ventilação de $1,0 \text{ h}^{-1}$.
- Admitindo que quando se atinge a taxa de ventilação de $1,0 \text{ h}^{-1}$ os utilizadores atuam sobre as aberturas de admissão de ar reduzindo para metade a sua secção de passagem, a taxa de ventilação de $1,0 \text{ h}^{-1}$ só é de novo atingida para a velocidade média do vento de aproximadamente 6,5 m/s, que poderá ser excedida em cerca de 10% do tempo.

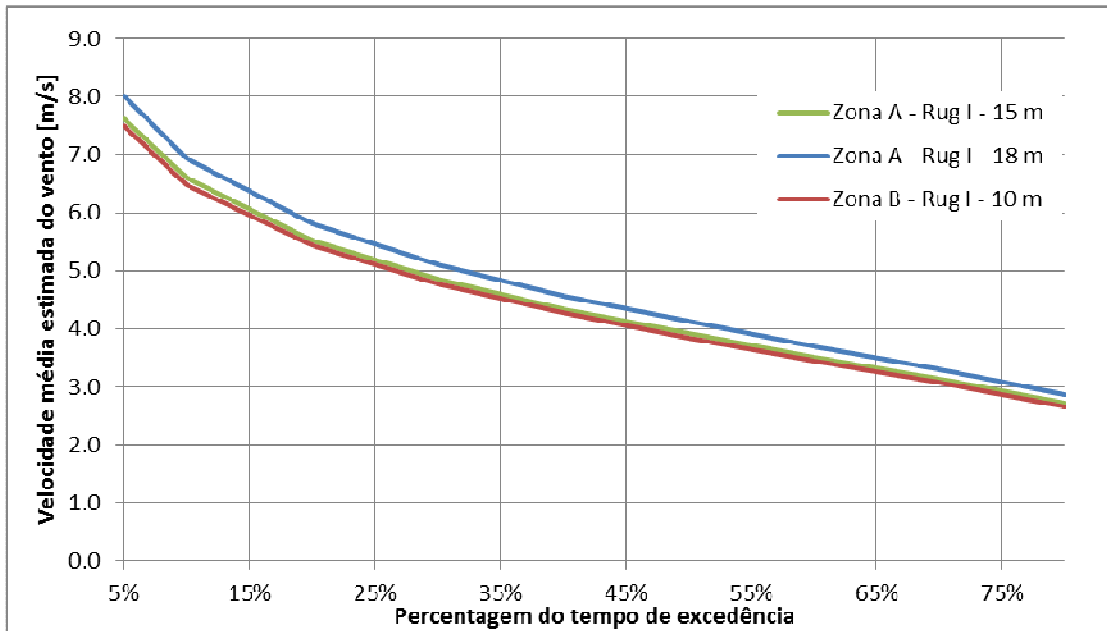


Figura 8: Estimativa da velocidade média do vento (todos os rumos)

Verifica-se que a utilização de aberturas não autorreguláveis não é adequada para exposições para as quais a velocidade do vento seja mais intensa. Para a classe de exposição EXP 1 (conforme especificado na NP 1037-1 [5]) é necessário prever aberturas de admissão de ar autorreguláveis ou a possibilidade de uma parte da área das aberturas poder ser encerrada por atuação manual.

5. CONCLUSÕES

As janelas podem integrar as aberturas de ventilação dedicadas, constituindo um módulo que evita a introdução de outros elementos de descontinuidade (como as aberturas de ventilação dedicadas) nas paredes da envolvente exterior. Estas aberturas podem ser simples, com controlo manual ou autorreguláveis e devem estar posicionadas para que o impacto do jato de ar exterior no ambiente interior seja minimizado. Deste estudo são relevantes as seguintes conclusões:

- Verifica-se que a ventilação não pode ser assegurada exclusivamente pela permeabilidade ao ar das janelas da classe 1 ou superiores.
- Demonstra-se que apenas é possível alcançar a taxa média de renovação de ar de 1 h^{-1} com aberturas de admissão de ar de 10 Pa para velocidades do vento superiores a 5,5 m/s e de 3,5 m/s para aberturas de admissão de ar de 2 Pa. Para velocidades do vento de referência inferiores, deve ser

efetuado o dimensionamento das aberturas de admissão de ar de forma ajustada aos caudais de ventilação pretendidos e às ações naturais disponíveis.

- Confirma-se que para classes de exposição EXP 2, EXP 3 e EXP 4, conforme definidas na norma NP 1037-1 [5], é necessário que sejam adotadas aberturas de ventilação autorreguláveis de forma a evitar excesso de ventilação em condições de vento forte. Note-se que devem ser adotadas janelas de baixa permeabilidade ao ar para evitar que a admissão de ar em situações de vento forte seja descontrolada.
- É vantajoso que as aberturas de ventilação autorreguláveis a adotar na ventilação natural estejam dimensionadas para atingir o caudal nominal para a diferença de pressão de 2 Pa.
- Constata-se que a adoção de aberturas de ventilação de regulação fixa dimensionadas para atingir o caudal nominal para a diferença de pressão de 10 Pa (conforme especificado na NP 1037-1 [5]) para a classe de exposição EXP 1 permite assegurar taxas de ventilação superiores a $0,4 \text{ h}^{-1}$ em mais de 80% do tempo, assegurando assim que pelo menos em 80% do tempo a percentagem de insatisfeitos é inferior a 50%. Para que não sejam atingidas taxas de ventilação excessivas é recomendável que metade da área de ventilação possa ser encerrada por ação do utilizador. Nestas condições, espera-se que seja excedida a taxa de ventilação de 1 h^{-1} apenas em cerca de 10% do tempo.

Estes resultados são concordantes com o trabalho realizado no LNEC no sentido de incentivar a existência de edifícios com baixa permeabilidade ao ar [7 e 13], de dotar os edifícios de habitação de dispositivos de admissão de ar [14 e 15] e de promover a eficiência energética recomendando que esses dispositivos sejam autorreguláveis para a pressão nominal de 2 Pa [7].

A marcação CE tem relevância neste aspeto uma vez que está incluído no perfil de desempenho previsto na declaração de conformidade e etiquetagem o desempenho de permeabilidade ao ar da janela, o seu desempenho acústico e o desempenho das eventuais aberturas de ventilação que a janela inclua. As janelas integrando as aberturas de ventilação podem constituir uma boa solução em especial na reabilitação e a marcação CE é particularmente útil na identificação do seu desempenho.

6. SIMBOLOGIA

C_1, C_2, C_c – Constantes de proporcionalidade

C_d – coeficiente de vazão

C_p – coeficiente de pressão

g – aceleração da gravidade

h – altura da conduta de exaustão

N_i – taxa de ventilação

P_∞ – pressão atmosférica

P_i – pressão interior

P_{e1} – pressão na face exterior da fachada 1

P_{e2} – pressão na face exterior da fachada 2

P_{ec} – pressão no exterior da abertura superior da conduta de exaustão

R – constante de gás perfeito da mistura

T_∞ – temperatura exterior

T_i – temperatura no compartimento i

v_{vento} – velocidade do vento

V_i – volume interno do espaço i

\dot{V} – caudal

\dot{V}_{i1} – caudal de ar admitido pela fachada 1

\dot{V}_{i2} – caudal de exaustão que escoo pela fachada 2

\dot{V}_c caudal que escoo pela conduta de exaustão

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pinto, A. - *Qualidade do ar em edifícios de habitação recomendação para caudais de ventilação*. In QIQ 2006. Lisboa, LNEC, 2006.
- [2] *Regulamento Geral das Edificações Urbanas*. Decreto-Lei nº 38382, Diário do Governo (1951-08-07), e demais alterações.
- [3] CR 1752:1998 – *Ventilation for buildings – Design criteria for the indoor environment*. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- [4] BS 5925:1991 – *Code of practice for ventilation principles and designing for natural ventilation*. London: British Standards Institute.
- [5] 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: Instituto Português da Qualidade, 2002.
- [6] Pinto, A. - *Aplicação da avaliação de ciclo de vida à Análise energética e ambiental de edifícios*. Lisboa, IST, 2008. Dissertação de Doutoramento.
- [7] Pinto, A. – *Limites para a permeabilidade ao ar da envolvente de edifícios. Eficiência energética e qualidade do ar*. Cadernos Edifícios 6 (2010) 83-98.
- [8] Viegas, J.C. – *Ferramenta simplificada para a previsão do desempenho da ventilação natural*. Cadernos Edifícios 6 (2010) 69-82
- [9] EN 13465:2004 – *Ventilation for buildings – Calculation methods for the determination of air flow rates in dwellings*. Brussels: CEN.
- [10] *Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes*. Decreto-Lei nº 235/83, Diário da República, I Série (1983-05-31).
- [11] EN 12207:1999 - *Windows and doors - Air permeability – Classification*. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- [12] Mendes, J.C., Guerreiro, M.R., Pina dos Santos, C.A. e Paiva, J.A.V. - *Temperaturas exteriores de projeto e números de graus-dias*. Lisboa: Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1989.
- [13] Viegas, J.C. – *Componentes de edifícios. Seleção de caixilharia e seu desempenho mecânico*. Lisboa, LNEC, 2012.
- [14] LNEC - *Instalações de ventilação e de evacuação de fumos. Fundo de fomento da habitação (FFH) - Instruções para projetos de habitação promovida pelo Estado*. Lisboa: FFH, 1978.
- [15] Viegas, J.C. – *Ventilação Natural de edifícios de habitação*. Lisboa, LNEC. 2010. CED 4.