

# IMPORTÂNCIA DA VENTILAÇÃO NAS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

## *Medição das renovações horárias pela técnica PFT*

Manuel Pinto<sup>\*</sup>

Correio electrónico: [mpinto@dcivil.estv.ipv.pt](mailto:mpinto@dcivil.estv.ipv.pt)

Vasco Peixoto de Freitas<sup>†</sup>

Correio electrónico: [vpfreita@fe.up.pt](mailto:vpfreita@fe.up.pt)

### Resumo

A humidade no interior dos edifícios é o resultado do equilíbrio entre a produção de vapor e a ventilação, sendo assim, as condensações podem resultar de uma ventilação reduzida e não homogénea dos espaços das habitações.

As recomendações técnicas e normalização sobre ventilação existentes em Portugal propõem taxas médias de uma renovação por hora nos compartimentos principais (quartos e salas) e quatro renovações por hora nos compartimentos de serviço (cozinhas, instalações sanitárias e lavandarias).

Admite-se que estas taxas não estejam a ser satisfeitas em grande parte dos edifícios de habitação construídos recentemente em Portugal. A adopção de sistemas de “ventilação geral e permanente” é fundamental.

Com o objectivo de aquilatar a implantação das taxas anteriores realizou-se um ensaio num apartamento T2 equipado com um sistema de ventilação do tipo “misto” (admissão e exaustão natural auxiliada por extracção mecânica descontínua na cozinha).

O ensaio foi realizado recorrendo ao método do gás traçador, mais concretamente à técnica PFT (Perfluorocarbon Tracer). É uma técnica relativamente recente, desenvolvida no início da década de 80 nos EUA, baseada numa metodologia experimental *in situ* muito simples, pois, consiste, essencialmente, em distribuir cápsulas emissoras e receptoras do gás traçador pela zona a estudar e posteriormente analisar as cápsulas receptoras.

*Palavras-chave:* ventilação, habitação, renovação horária (RPH), PFT.

---

<sup>\*</sup> Prof. Adjunto da Escola Superior de Tecnologia de Viseu, Departamento de Engenharia Civil.

<sup>†</sup> Prof. Catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Construções Cívicas.

## 1 Introdução

A adopção de caixilharias com estanquidade melhorada reduziu a permeabilidade ao ar da envolvente, tendo como consequência o aparecimento, cada vez mais frequente, de condensações superficiais [1].

O controlo dos caudais de ventilação é um factor fundamental na resolução dos problemas de conforto, podendo hierarquizar-se a origem das causas que regulam a condensação superficial do seguinte modo [2]:

- isolamento térmico;
- sistema de ventilação;
- natureza dos revestimentos interiores;
- orientação.

As recomendações do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) [3] e a normalização existente na área da ventilação natural de edifícios de habitação [4], estipulam taxas médias de uma renovação por hora - RPH [ $\text{h}^{-1}$ ] - nos compartimentos principais (quartos e salas) e quatro renovações por hora nos compartimentos de serviço (cozinhas, instalações sanitárias e lavandarias).

Admite-se que grande parte dos edifícios de habitação recentemente construídos não cumpram estas taxas. É necessário implementar sistemas de ventilação geral e permanente com admissão contínua de ar através dos compartimentos principais e exaustão de ar nos compartimentos de serviço.

## 2 Método do gás traçador

O método do gás traçador consiste na introdução no compartimento a ser testado de uma determinada quantidade de um gás pouco comum na atmosfera – gás traçador –, registando-se a evolução da sua concentração ao longo do tempo. Em sistemas que recorrem a ventilação natural, com infiltrações e exfiltrações, o método do gás traçador é o único que pode ser usado para medir a distribuição dos fluxos pelos espaços dos edifícios. Dependendo do tipo de controle e injeção podemos ter a seguinte classificação [5]:

- **técnica do decaimento:** uma adequada quantidade de gás é libertada no espaço a medir. É estabelecida uma concentração inicial uniforme recorrendo a ventiladores. O decaimento da concentração do gás ao longo do tempo é registado de forma a obter a taxa de renovação por hora. É o método mais usado, mas tem como desvantagem a pequena duração do ensaio pelo que a taxa de renovação de ar obtida é característica somente daquele espaço de tempo (ex.: 1 hora);
- **injecção constante:** o gás é libertado a uma taxa constante e a variação da concentração ao longo do tempo é registada. Pode ser usado para medições prolongadas;

- **injecção pulsada:** uma pequena quantidade de gás é libertada no espaço. O decaimento da concentração do gás ao longo do tempo é registado. Este método é usado em curtos espaços de tempo (tem a mesma desvantagem que a técnica do decaimento);
- **concentração constante:** o gás é libertado, sob controle, no espaço de modo a que se obtenha uma concentração constante ao longo do tempo. A variação da taxa de libertação de gás é registada. Pode ser usado para medições prolongadas.

### 3 Introdução à técnica PFT

#### 3.1 Desenvolvimento da técnica

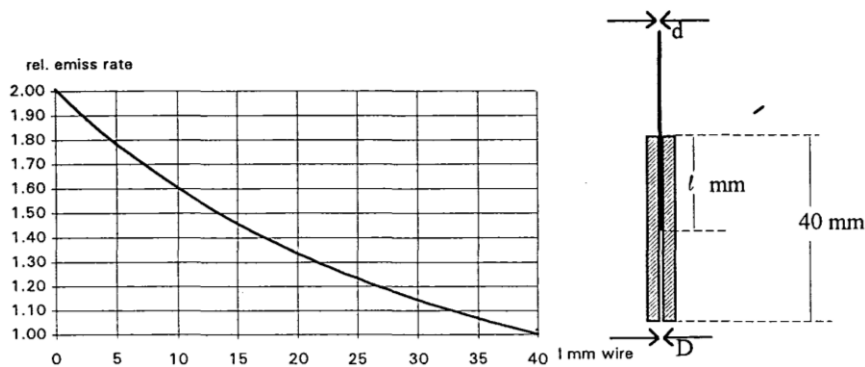
Durante os últimos anos a técnica do gás traçador passivo tem-se tornado bastante difundida internacionalmente, devido principalmente ao reduzido sistema experimental *in situ* e também devido ao facto de ser possível efectuar os ensaios em edifícios ocupados e em períodos alargados de tempo, o que permite aquilatar as reais taxas de ventilação de habitações ocupadas.

Esta técnica, a qual é denominada frequentemente por PFT devido ao tipo de gás usualmente empregue (Perfluorocarbon Traçer), foi criada nos EUA [6] e posteriormente aplicada e desenvolvida em várias instituições europeias [7].

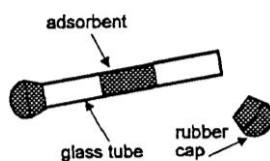
A técnica do gás traçador passivo é uma variante da técnica da injecção constante e consiste na emissão continua do gás traçador, por exemplo Perfluorobenzeno ( $C_6F_6$ ) – PB e Perfluorometilbenzeno ( $C_7F_8$ ) – PMB, através de cápsulas emissoras. O gás contido nas cápsulas emissoras está na fase líquida e é disperso no ar ambiente através de várias técnicas: permeância através de uma membrana, através de um tubo capilar e mais recentemente inserindo um fio no tubo capilar o que permite uma emissão ajustável. Esta última técnica permite uma emissão homogénea proporcional ao volume da zona a estudar - técnica da emissão homogénea [8].

A recolha do gás é realizada passivamente através de cápsulas receptoras contendo um adsorvente, por exemplo carvão activado (poroso).

Na figura seguinte dão-se exemplos de uma cápsula emissora e receptora [7], [9].



a) Cápsula emissora tipo “tubo capilar + fio”



b) Cápsula receptora

Figura 1: Exemplo de cápsula emissora e receptora.

### 3.2 Metodologia de cálculo

O princípio em que se baseia a técnica da emissão homogénea consiste na divisão do objecto a medir em várias zonas e injectar o gás traçador em cada zona com uma taxa proporcional ao volume das mesmas.

Se a mistura ar-gás traçador é uniforme em cada zona – concentração igual em todos os pontos – então a concentração ( $C_p$ ) em cada zona é proporcional à idade média do ar nessa zona [8].

A idade média de uma partícula é o tempo que esta demora desde a entrada no compartimento até ao ponto em estudo.

No processo laboratorial a quantidade de gás traçador ( $M_p$  [g]) recolhida nas cápsulas receptoras é analisada, usando cromatografia gasosa, e a concentração média ( $C_p$  [g/m<sup>3</sup>]) é calculada a partir da taxa de recolha ( $\kappa$  [m<sup>3</sup>/h]) e o tempo de ensaio ( $T$  [h]):

$$C_p = \frac{M_p}{\kappa \cdot T} \quad (1)$$

A idade média do ar ( $\tau$  [h]) é calculada a partir da concentração ( $C_p$ ) recolhida pelas cápsulas receptoras na respectiva zona:

$$\tau_p = \frac{C_p}{(E/V)} \quad (2)$$

em que  $(E/V)$  é a taxa de emissão homogénea do gás traçador [g/h,m<sup>3</sup>].

Por fim, a taxa média de renovação por hora (RPH) de um edifício é obtida da seguinte forma:

$$RPH = \frac{1}{(\sum V_i \tau_i / \sum V_i)} \quad (3)$$

em que  $V_i$  e  $\tau_i$  são, respectivamente, o volume e a idade média do ar em cada zona do edifício.

Na figura seguinte apresenta-se o princípio de análise da quantidade ( $M_p$  [g]) contida nas cápsulas receptoras [5]. Na primeira fase usa-se um cromatógrafo, este tem por objectivo separar os vários gases da amostra e assim isolar o gás traçador. A segunda fase consiste na quantificação do gás traçador e é realizada por um detector de captura de electrões. Esta quantificação é efectuada pela medição da captura de electrões, proporcional à quantidade de gás, quando este é sujeito a uma corrente eléctrica contínua.

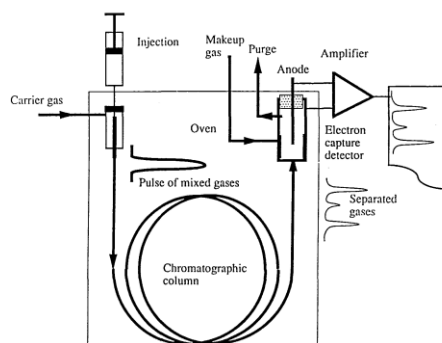


Figura 2: Princípio da cromatografia gasosa com um detector de captura de electrões.

## 4 Trabalhos desenvolvidos neste domínio

### 4.1 Investigação experimental internacional

Como referido anteriormente, o método da injeção constante, no caso em estudo PFT, permite estudos com intervalos de tempo prolongados, à semelhança do método da concentração constante, mas apresenta uma grande vantagem em relação a este, o dispositivo experimental *in situ* é muito mais simples. Tendo em conta as razões apresentadas, a nível internacional, principalmente nos países nórdicos, tem havido um largo uso deste método. Na Tabela 1

apresenta-se uma análise comparativa de estudos alargados no tempo e com um número bastante significativo de casos [10].

Tabela 1: Estudos internacionais recorrendo à técnica PFT.

	<b>Dinamarca-1991</b>	<b>Finlândia-1992</b>	<b>Suécia-1994</b>	<b>Noruega-1998</b>
<b>Casos de estudo</b>	123	242	1143	344
<b>Período de medição</b>	1-2 semanas	-	1 mês	2 semanas

## 4.2 Investigação nacional

A nível nacional o estudo das renovações horárias de habitações, recorrendo ao método do gás traçador (técnica do decaimento), tem sido reduzido.

Desenvolveram-se alguns trabalhos essencialmente teóricos [11], [12], outros de índole mais experimental, refira-se o trabalho [13], em que foram ensaiados uma moradia e 6 apartamentos, com RPH a variar entre 0,34 e 1,48 h<sup>-1</sup>. Numa tentativa de caracterizar as infiltrações médias anuais ensaiaram-se 12 moradias [14], obtendo-se RPH a variar entre 0,12 e 1,20 h<sup>-1</sup>.

Recentemente levou-se a efeito uma campanha experimental [15] que teve como objectivo fazer um levantamento dos sistemas de ventilação implantados em condições reais de utilização (analisaram-se 4 apartamentos com ventilação mecânica e 2 com ventilação natural). Retira-se deste trabalho que os sistemas mecânicos quando não estão em funcionamento não permitem uma ventilação adequada.

Está em curso um trabalho abrangente que tem por objectivo estudar as condições de conforto, ventilação e os respectivos sistemas, de um apartamento [16], [17].

Mediram-se, por exemplo, os seguintes parâmetros:

- taxas de ventilação – RPH (recorrendo à técnica do decaimento);
- caudais em condutas: instalação sanitária e cozinha;
- permeabilidade de componentes da habitação: portas de patamar, janelas, caixas de estore, grelhas de admissão de ar e condutas de betão.

Consideramos que é fundamental medir as reais condições de ventilação de edifícios habitacionais ocupados durante um período alargado de tempo.

## 5 Trabalho experimental realizado

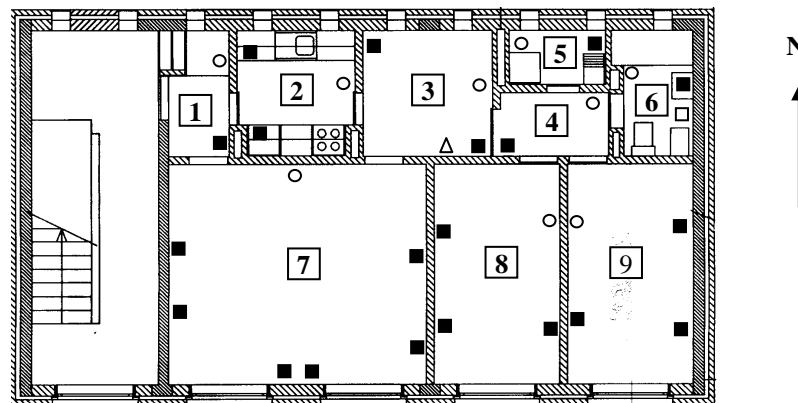
### 5.1 Descrição do edifício e do apartamento estudado

Com o objectivo de aquilatar a implantação das taxas de ventilação referidas anteriormente, durante um período alargado de tempo, realizou-se um

ensaio (01/05/2002 a 18/05/2002), recorrendo à técnica da emissão homogénea, num apartamento T2. As características do edifício e apartamento são descritas a seguir:

- **Localização:** Vila Nova da Telha – Maia;
- **Cércea de edifício:** Garagem + 3 pisos;
- **Altura do apartamento:** 2.º andar;
- **Ano de construção:** 2000;
- **Tipologia do apartamento:** T2 (2 quartos e corredor interior adaptado a quarto);
- **N.º de pessoas:** 1 adulto (2 adultos ao fim de semana) + 3 crianças;
- **Sistema de ventilação:** Admissão de ar por grelhas auto-reguláveis (1 grelha por quarto e 2 grelhas na sala de “módulo” 30 - caudal escoado (m<sup>3</sup>/h) sob a diferença de pressão de 20 Pa; exaustão natural na instalação sanitária (φ125); extracção mecânica individual e descontínua na cozinha; lavandaria autoventilada (admissão/exaustão através de grelhas fixas);
- **Características construtivas:** Sem aquecimento central; janelas de guilhotina com protecção interior em portadas (ambas de madeira).

De seguida apresenta-se a planta do apartamento com a localização da instrumentação usada (Figura 3).



Legenda:

- - cápsula emissora tipo A (PM);
- - cápsula receptora;
- - cápsula emissora tipo B (PMB);
- △ - medição de T [°C] e HR [%].

Figura 3: Planta do apartamento com indicação da posição do equipamento usado.

## 5.2 Renovações horárias

Os resultados obtidos para várias temperaturas interiores encontram-se descritos na Tabela 2. A diminuição de RPH com o abaixamento da temperatu-

ra interior é justificada pela variação da emissão de gás de aproximadamente 5% por cada grau Celsius [9].

Sabendo que as grelhas de admissão garantem 120 m<sup>3</sup>/h, e tendo em conta que o volume do apartamento é de 160 m<sup>3</sup>, a taxa RPH esperada seria de 0,75 h<sup>-1</sup> (em média para todo o apartamento). As baixas taxas obtidas poderão ser explicadas pela relativa falta de ventilação cruzada, os vãos encontram-se praticamente numa fachada, orientados a Sul, enquanto que os ventos predominantes se situam entre os rumos N e NW. A falta do efeito de chaminé devido à pequena diferença entre a temperatura interior (16°C) e exterior poderá também explicar as baixas taxas obtidas (ver Tabelas 2 e 4).

Tabela 2: RPH do apartamento em função da temperatura interior.

Temperatura [°C]	RPH [h <sup>-1</sup> ]	Incerteza
12	0,33	± 12%
14	0,37	
16	0,41	
18	0,45	
21	0,52	

A variação local, em cada compartimento, da taxa de renovação encontra-se na Tabela 3, onde se pode verificar que os compartimentos com maior renovação de ar são a lavandaria e a cozinha.

Tabela 3: RPH em cada compartimento para uma temperatura interior de 16°C.

Compartimento	n.º	RPH <sub>local</sub> [h <sup>-1</sup> ]	Incerteza
Hall	1	0,42	± 0,04
Cozinha	2	0,49	± 0,04
Corredor A(Quarto C)	3	0,40	± 0,03
Corredor B	4	0,37	± 0,03
Lavandaria	5	0,85	± 0,07
Instalação sanitária	6	0,37	± 0,03
Sala	7	0,40	± 0,03
Quarto A	8	0,46	± 0,03
Quarto B	9	0,33	± 0,03

### 5.3 Condições climáticas ocorridas

As condições climáticas ocorridas no Aeroporto de Pedras Rubras (2 km do local do ensaio) durante o período em análise constam da Tabela 4 (dados obtidos através do Instituto de Meteorologia).

Tabela 4: Vento e temperatura ocorridos no Aeroporto de Pedras Rubras durante o período de ensaio.

Vento			Temperatura [°C]	
Rumo	Frequência (%)	Vel. média (km/h)		
N	18,4	10,9	Média	13,8
NE	6,6	12,0		
E	10,2	9,0		
SE	4,9	7,4	Máxima	24,0
S	12,3	18,1		
SW	8,1	10,0		
W	6,0	9,0	Mínima	5,9
NW	31,2	17,5		
Calma	2,3	< 1		

## 6 Conclusões

Utilizou-se o método PFT, pensa-se que pela primeira vez em Portugal, para determinar as renovações horárias de um apartamento T2. Os resultados obtidos eram previsíveis atendendo à época do ano em que o ensaio foi realizado, o que resulta num fraco diferencial entre as temperaturas exteriores e interiores. Por outro lado, a disposição dos vãos não facilita a ventilação transversal dos compartimentos por efeito da acção do vento.

Pretende-se realizar o mesmo ensaio durante o próximo Inverno de forma a compararem-se as renovações horárias em condições ambientais distintas.

## 7 Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração da Câmara Municipal da Maia na solicitação do apartamento ensaiado.

## 8 Bibliografia

- [1] Piedade, A. Canha & Rodrigues, A. Moret, *Deficiências de ventilação na origem de manifestação de humidades em edifícios: um caso de estudo*, Construção 2001 - Congresso Nacional da Construção, IST, Lisboa, 2001.
- [2] Freitas, Vasco Peixoto de. *Building condensation. How to solve the problem in Portugal*. 30.º congresso IAHS, Coimbra, 2002.
- [3] Viegas, João C.. *Ventilação natural de edifícios de habitação*. CED 5, LNEC, 1995.

- [4] Instituto Português da Qualidade, NP 1037-1. *Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás. Parte 1: edifícios de habitação. Ventilação natural*. Lisboa, IPQ, 2002.
- [5] Roulet, Claud Alain & Vandaele, Luk. *Air flow patterns within buildings: measurement techniques*. Technical Note 34, AIVC, 1991.
- [6] Dietz, R.N. & Cote, E.A.. *Air infiltration measurements in a home using a convenient perfluorocarbon tracer technique*. Environment International, vol. 8, 1982.
- [7] Sateri, J. (editor). *The development of the PFT-method in the nordic countries*. Swedish Council for Building Research, Suécia, 1991.
- [8] Stymne, H. & Boman, C. A.. *Measurement of ventilation and air distribution using the homogeneous emission technique - a validation*. Healthy Buildings '94, Hungria, 1994.
- [9] Stymne H.. *Monitoring of ventilation rate and air distribution patterns in an apartment block using the homogeneous emission technique*. Joint Research Centre, Ispra, Itália, Final report contract n.º 5607-93-11 EI ISP S, 1994.
- [10] Öie, L. *et al. The ventilation rate of 344 Oslo residences*. Indoor Air, n.º 8, 1998.
- [11] Afonso, Clito. *Modelização do movimento do ar no interior de edifícios através do recurso ao método do gás traçador*. Dissertação de mestrado, FEUP, 1986.
- [12] Afonso, Clito. *Uma metodologia para a caracterização de fluxos de ar multizona em edifícios*. Dissertação de doutoramento, FEUP, 1989.
- [13] Afonso, Clito & Maldonado, Eduardo. *Determinação de níveis de infiltrações típicos em edifícios portugueses*. 3.<sup>as</sup> Jornadas de Física e Tecnologia de Edifícios, IST, Lisboa, 1988.
- [14] Silva, António Rocha e. *Caracterização das infiltrações médias anuais em edifícios portugueses através do método de pressurização*. Dissertação de mestrado, FEUP, 1991.
- [15] Finteiro, António. *Diagnóstico das condições de ventilação em edifícios de habitação*. Dissertação de mestrado, FEUP, 1999.
- [16] Viegas, João C. *et al. Ventilation of dwellings: requirements and experiments*. 30.º congresso IAHS, Coimbra, 2002.
- [17] Viegas, João C. *et al. Assessment of the performance of natural ventilation in an apartment building*. Roomvent 2002, Dinamarca, 2002.