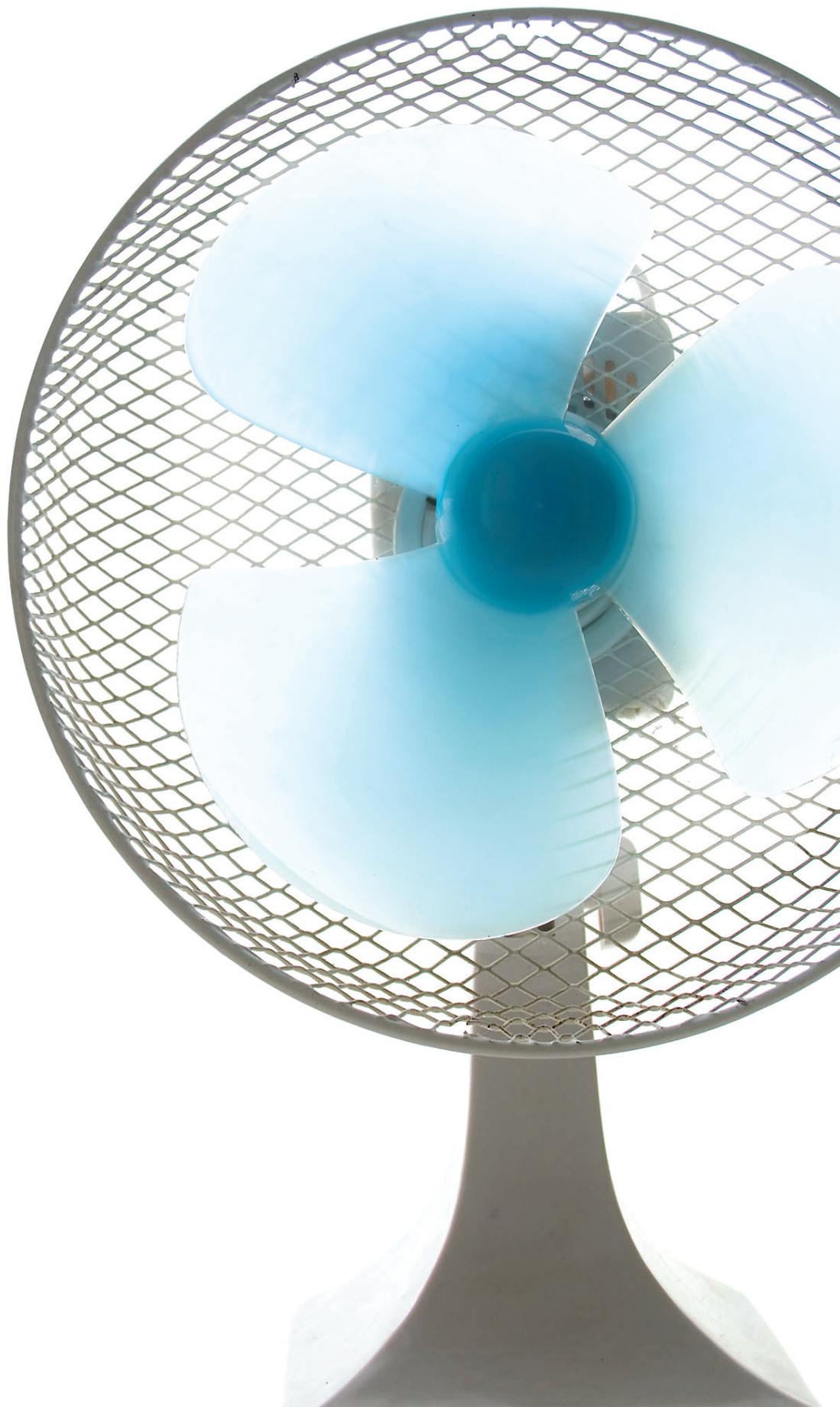


34-43

DESTAQUE
- EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
NOS EDIFÍCIOS

**QUALIDADE
DO AMBIENTE
INTERIOR
EM EDIFÍCIOS
DE HABITAÇÃO**



A QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR DE EDIFÍCIOS É UMA PREOCUPAÇÃO QUE ACOMPANHA O HOMEM DESDE HÁ SÉCULOS. CONTUDO, O AUMENTO DO TEMPO DE PERMANÊNCIA EM EDIFÍCIOS (CERCA DE 90% DAS NOSSAS VIDAS ACONTECE NO SEU INTERIOR) E AS NOVAS PRÁTICAS CONSTRUTIVAS, GERADORAS, NOMEADAMENTE, DE POTENCIAIS DEFICIÊNCIAS DE CARÁCTER HIGROTÉRMICO, TÊM VINDO A PROVOCAR UM CRESCENTE INTERESSE POR ESTA PROBLEMÁTICA [1]. PRETENDE-SE COM ESTE ARTIGO ENFATIZAR QUE SÓ UMA VISÃO INTEGRADORA DA TEMÁTICA EM CAUSA - COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO E QUALIDADE DO AR - PODERÁ CONTRIBUIR PARA A RESOLUÇÃO DOS PROBLEMAS REFERIDOS.

TEXTO MANUEL PINTO, VASCO P. DE FREITAS, JOÃO VIEGAS

Fazia parte dos hábitos quotidianos dos portugueses a necessidade de abrir janelas para proceder à ventilação dos edifícios. Contudo, as preocupações com os consumos de energia, as alterações do modo de vida das pessoas (as famílias encontram-se ausentes da habitação durante grande parte do dia) e a utilização de caixilharias de melhor qualidade, com menor permeabilidade ao ar, conduziram à diminuição drástica das renovações horárias de ar aumentando o risco de condensações, bem como reduziram a qualidade do ar interior.

A humidade é uma das principais causas das patologias dos edifícios e da degradação dos elementos de construção, nomeadamente através dos fenómenos de condensação. Frequentemente as condensações resultam de uma concepção inadequada da envolvente: incorrecto tratamento das pontes térmicas, insuficiente isolamento térmico, ventilação reduzida e não homogénea dos espaços das habitações e aquecimento muitas vezes insuficiente ou inexistente.

O ambiente interior dos edifícios é contaminado por substâncias que resultam da utilização corrente desses espaços ou que são emanadas pelos materiais que integram os edifícios (admitindo que o ar exterior não é fonte de poluição). Essas substâncias, dependendo das suas características e da sua concentração, podem ter efeitos sobre o bem-estar dos ocupantes, que vão desde a sensação ligeira de mal-estar, originar doenças graves ou mesmo a morte, como no caso de intoxicações por monóxido de carbono.

A publicação da recente regulamentação portuguesa na área da térmica de edifícios e qualidade do ar na qual são definidas condições de referência da temperatura do ar e da humidade relativa, valores mínimos de renovações horárias, coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis dos elementos da envolvente e valores máximos das concentrações de poluentes do ar interior, veio incrementar, por exemplo, os níveis de exigência relativamente ao comportamento higrotérmico da envolvente dos edifícios e as condições de ventilação do ar interior. O conceito de qualidade do ambiente interior é bastante complexo e abrangente, dependendo de um grande número de factores: temperatura,

humidade relativa, iluminação, velocidade do ar, existência de odores, concentração de microorganismos ou poeiras em suspensão no ar, nível de ruído, etc..

QUALIDADE DO AR INTERIOR

É desejável que o ar seja percebido como fresco e agradável, isto é, não tenha impacto negativo na saúde e estimule o trabalho e a actividade humana [2].

O ambiente interior dos edifícios é contaminado por substâncias que resultam da utilização corrente desses espaços ou que são emanadas pelos materiais que os integram (admitindo que o ar exterior não é fonte de poluição) [3]. Essas substâncias, dependendo das suas características e da sua concentração, podem ter efeitos sobre o bem-estar dos ocupantes, que vão desde a sensação ligeira de mal-estar até, no limite, originar doenças graves ou mesmo a morte, como no caso do monóxido de carbono. O dimensionamento e a implementação de sistemas de ventilação em edifícios de habitação deverão ter necessariamente em conta as fontes de poluição de forma a proceder à evacuação para o exterior das substâncias poluentes, preferencialmente, junto da sua fonte, evitando assim a contaminação do ar interior. No caso dos aparelhos de combustão de utilização doméstica dos tipos B e C (esquentadores, caldeiras, etc.) os produtos da combustão deverão ser evacuados directamente para o exterior, no caso dos aparelhos do tipo A (ex.: fogões de cozinha) deverão, preferencialmente, ser evacuados nas suas proximidades (figura 1 [4]).

Crítérios de qualidade do ar

A qualidade do ar interior deve ser assegurada com a finalidade de evitar que poluentes perigosos atinjam concentrações que possam pôr em risco a saúde dos ocupantes (critério de saúde) e mantendo simultaneamente um ambiente agradável (critério sensorial) [3]. Quando a fonte mais importante de poluição é a ocupação humana é corrente ser utilizado o dióxido de carbono como indicador para o critério sensorial. Este constitui o biofluente humano mais importante e é proporcional ao metabolismo.

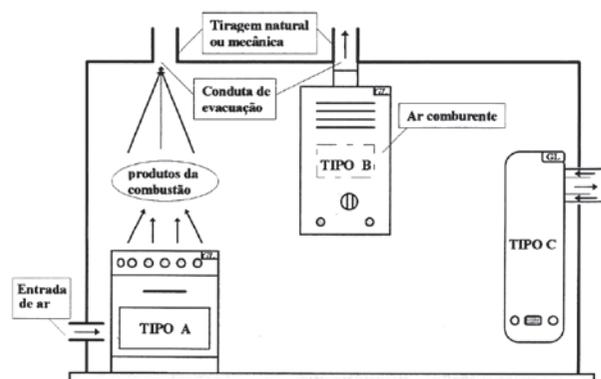


Fig. 1. Classificação dos aparelhos em função do tipo de exaustão [4]

É importante a coexistência dos dois critérios uma vez que há substâncias que só podem ser avaliadas por um deles. Por exemplo, o monóxido de carbono é um gás que em concentrações relativamente elevadas é mortal e, sendo incolor e inodoro, não é detectável pelo ser humano. Pelo contrário, os odores podem ter diversas origens que os tornam difíceis de avaliar, mas geram incomodidade pelo facto dos seres humanos lhes serem sensíveis. Claramente ao primeiro caso (monóxido de carbono, por exemplo) adequa-se o critério da imposição de valores limite, enquanto no segundo caso adequa-se a aplicação de critérios relacionados com os efeitos sensoriais [3].

Apresentam-se no QUADRO 1 as concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios segundo o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização (RSECE: DL 79/06, de 4 de Abril) [5].

Qualidade do ar em edifícios de habitação

Em edifícios de habitação, os sistemas de ventilação destinam-se, no essencial, a assegurar a qualidade do ar interior, fornecer ar novo para os aparelhos de combustão e assegurar a extracção dos produtos da combustão. Esta ventilação deve ser assegurada em condições de conforto e segurança, minimizando os consumos de energia.

A admissão de ar exterior é requerida para salvaguardar a saúde dos ocupantes e tem as seguintes funções [6]:

- Diluição e/ou remoção de poluentes, como por exemplo de substâncias emitidas pelo mobiliário, materiais de construção, produtos de limpeza, odores, CO₂ proveniente do metabolismo humano e vapor de água. A estes poluentes correspondem, normalmente, taxas de emissão baixas mas contínuas e difusas;
- Diluição e/ou remoção de poluentes específicos de fontes identificadas, como por exemplo odores provenientes de instalações sanitárias, da cocção dos alimentos, do vapor de água da cocção de alimentos ou banhos, do fumo do tabaco e dos produtos da combustão. A estes poluentes correspondem, normalmente, taxas de emissão relativamente altas mas de curta duração e localização específicas;
- Provisão de oxigénio para a respiração dos ocupantes;
- Controlo da humidade relativa interior, por exemplo, proveniente das práticas de higiene pessoal (banhos), da lavagem e secagem de loiça e roupa;
- Provisão de ar para os aparelhos de combustão.

Fontes de poluição do ar interior

A densidade de ocupação e de equipamentos e os materiais sintéticos de revestimento (tintas, vernizes, aglomerantes, entre outros) estão na origem da elevada taxa de geração de poluentes no interior dos edifícios

modernos. Por esta razão, a qualidade do ar interior é, na generalidade dos casos, significativamente inferior à qualidade do ar exterior e, naturalmente, também inferior ao desejável.

Uma má qualidade do ar interior pode originar efeitos imediatos (odores desagradáveis), efeitos a curto prazo (irritações e infecções ao nível das vias respiratórias, da pele, dos olhos) e até efeitos a médio / longo prazo, como é o caso do tumor extremamente grave dos pulmões causado pela inalação de fibras de amianto em suspensão no ar [1].

Apresenta-se no QUADRO 2 o grau de importância de alguns poluentes nos diferentes compartimentos de uma habitação.

Embora a regulamentação portuguesa mais relevante na área da qualidade do ar interior (RSECE [5], QUADRO 1) seja aplicável a edifícios climatizados (com sistemas AVAC), recomenda-se o controlo dos mesmos poluentes e da humidade relativa em todos os edifícios de habitação. De seguida apresentam-se os poluentes descritos na referida legislação, bem como o vapor de água (ou a humidade relativa), factor preponderante na determinação dos caudais de ventilação.

POLUENTES COM ORIGEM NA ACTIVIDADE HUMANA

Vapor de água / Humidade relativa - A humidade relativa do ar interior pode influenciar, directa ou indirectamente, a actividade dos ocupantes. Baixos valores de humidade relativa podem provocar sensações de secura, irritação na pele e nas membranas mucosas, infecções das vias respiratórias ou desconforto no contacto com alguns materiais devido à geração de electricidade estática. Um alto valor de humidade relativa pode também originar desconforto (inibe a transpiração através da pele) e o desenvolvimento de bolores e ácaros causadores de alergias, irritações e em casos mais graves asma. Valores de humidade relativa entre 30 a 70% são considerados adequados [6], [8] e [9].

Nas normas prEN 15 251: 2006 [10], e ASHRAE-55: 2004 [11], apenas se limita o valor superior do teor de humidade em 12 g/kg. Com base nestas normas, mostra-se no diagrama psicrométrico (figura 2) qual o limite superior da humidade relativa para cada temperatura.

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [12] estabelece uma humidade relativa interior de referência de 50% para a estação de arrefecimento.

A ocorrência de condensações superficiais depende do teor de vapor de água no ambiente interior, da temperatura interior, da temperatura exterior e do coeficiente de transmissão térmica da envolvente, U [W/m².°C]. Estas variáveis condicionam a temperatura superficial interior (θ_i) dos elementos da envolvente. A título de exemplo, se $\theta_i = 15^\circ\text{C}$ não ocorrerão condensações se a pressão de vapor de água for inferior a 1704 Pa (ou o teor de humidade inferior a 10,53 g/kg (figura 2)).

QUADRO 1 – Concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios [5]

Parâmetros	Concentração máxima de referência
Partículas suspensas no ar (PM ₁₀)	0,15 mg/m ³
Dióxido de carbono	1800 mg/m ³
Monóxido de carbono	12,5 mg/m ³
Ozono	0,2 mg/m ³
Formaldeído	0,1 mg/m ³
Compostos orgânicos voláteis totais (TCOVs)	0,6 mg/m ³
Microorganismos (bactérias ou fungos)	500 unidades formadoras de colónias (UFC)/m ³ (c)
Legionella (a)	100 unidades formadoras de colónias (UFC)/l (c)
Radão (b)	400 Bq/m ³

Notas:

- (a) pesquisa obrigatória em edifícios com sistemas AVAC (Aquecimento, ventilação e ar condicionado) com produção de aerossóis;
- (b) pesquisa obrigatória em zonas graníticas, nomeadamente nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco;
- (c) presume-se que a legislação contém um erro na especificação das unidades destes parâmetros pois não refere qual o volume ao qual se aplica o limite previsto.

QUADRO 2 – Grau de importância de alguns poluentes nos diferentes compartimentos de uma habitação (adaptado de [7])

Compartimentos	Poluentes									
	Fumo de tabaco	Odor corporal (dióxido de carbono)	Vapor de água	Produtos da combustão	Formaldeído	Orgânicos	Partículas (a)	Microorganismos	Radão	Outros
Salas	++	++	o	++	o	p	p	o	o	
Quartos	++	++	oo	oo	o	p	p	o	o	
Cozinhas	+		oo	++	o	p	p	oo	o	
Inst. sanitárias			oo	oo				oo		Odor
Inst. sanitárias sem banho								p		Odor

Notas:

- Nível de importância: ++ Muito importante; + Importante;
- o Importante em situações específicas; oo Muito importante em situações específicas;
- p possivelmente importante, mas até ao momento conhecimento limitado;
- (a) Muito importante no caso de sensibilidade contra reacções alérgicas.

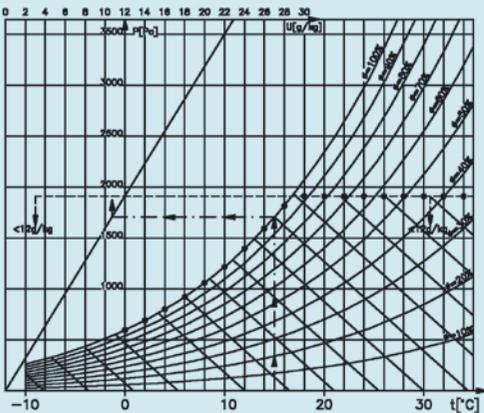


Fig. 2. Diagrama psicrométrico



Dióxido de carbono - Nos QUADROS 3 e 4 é indicada a produção de dióxido de carbono (CO₂), gás incolor e inodoro, e vapor de água por ocupante, em função do metabolismo e da actividade (informação complementar encontra-se em [13]).

A combustão de gás, para além de libertar CO₂, também produz vapor de água como se evidencia no QUADRO 5.

Monóxido de carbono - O monóxido de carbono (CO) é um gás inodoro, insípido e incolor, resultante da combustão, em especial quando esta ocorre em situação redutora (ambiente pouco rico em oxigénio). Em concentrações extremamente baixas, o CO provoca dores de cabeça e sonolência e à medida que a concentração vai aumentando os sintomas passam a incluir problemas de concentração, visão e náuseas e em, casos limites, pode levar à morte, uma vez que a hemoglobina do sangue reduz o transporte de oxigénio para níveis insuficientes pelo facto de ter maior afinidade pelo monóxido de carbono.

Foi desenvolvido um estudo em Portugal [16], por uma equipa hospitalar, entre Novembro de 1992 e Novembro de 2004, onde se observaram 148 crianças com sintomas de intoxicação devidas ao CO. A grande maioria dos casos ocorreu nas estações mais frias (Outono e Inverno) em habitações que dispunham de um esquentador ou caldeira.

POLUENTES COM ORIGEM NOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Compostos Orgânicos Voláteis - As principais fontes de compostos orgânicos voláteis (COVs) são os materiais utilizados no revestimento interior dos edifícios, respectivos componentes e mobiliário, tais como, aglomerados de madeira, colas, solventes e tintas; para além destes são também fontes de compostos orgânicos voláteis os produtos de limpeza e o tabaco. São exemplos de COVs comuns em ambientes interiores a acetona, o benzeno, o fenol e o tolueno. Os efeitos indesejáveis resultantes da exposição a concentrações excessivas destes compostos dependem do composto em questão. De uma forma geral, podem-se apontar como sintomas mais comuns: dores de cabeça, sensação de fadiga, e outros sintomas de depressão do sistema nervoso central, arritmias cardíacas, afectações do fígado, irritação ao nível do sistema respiratório e irritação oftalmológica [1]. Refira-se que alguns COVs são reconhecidos como carcinogénicos (ex.: benzeno e o cloreto de vinilo) [17]. Efectuaram-se em Portugal medições em salas de quatro apartamentos de dois edifícios de habitação [18], em que o valor obtido resultante da soma de todos os COVs (TCOVs) era inferior a 300 µg/m³ (abaixo do valor indicado na regulamentação portuguesa, QUADRO 1), entre os quais se distinguia o grupo de COVs denominado hidrocarbonetos aromáticos (ex.: benzeno e tolueno).

Formaldeído - O formaldeído (HCHO) é um gás incolor com um odor forte, pelo que é facilmente detectado pelo homem. No interior dos edifícios são as resinas utilizadas nos aglomerados de madeira e a combustão (cigarros, aparelhos de aquecimento e confecção de alimentos) as principais fontes. Os sintomas associados à exposição ao formaldeído incluem irritação oftalmológica e do sistema respiratório superior, dores de cabeça, náuseas e sensação de fadiga [1]. É o poluente que ocorre com maior frequência nas atmosferas interiores em concentrações capazes de provocar irritação sensorial nos olhos e no aparelho respiratório [17]. O formaldeído é um reconhecido agente carcinogénico para os animais e é classificado como suspeito de carcinogenicidade para o ser humano pela IARC (International Agency for Research on Câncer).

OUTROS POLUENTES

Radão - O radão (Rn) é um gás inodoro, insípido e incolor, que existindo naturalmente no solo, é facilmente introduzido nos edifícios, quer por efeito de difusão, quer por depressão dos ambientes interiores provocados por sistemas de ventilação ou por efeito de chaminé. Sendo radioactivo, o radão quando inalado é uma substância carcinogénica responsável pelo incremento da incidência de casos de cancro nos pulmões em populações expostas.

Os valores médios medidos em Portugal, no interior de edifícios públicos e habitações rurais ou urbanas, situam-se abaixo dos 50 Bq/m³, no entanto há regiões onde as concentrações atingem 400 Bq/m³, principalmente em zonas graníticas [19].

Partículas - As partículas dos ambientes interiores podem ter diâmetros compreendidos entre 0,001 e 100 µm, podem ser de diversa tipologia e transportar organismos vivos como vírus (0,003 a 0,06 µm), fungos (2 a 10 µm) e bactérias (0,4 a 5 µm). As partículas cuja dimensão é menor que 10 µm (PM₁₀) designam-se por torácicas e são normalmente retidas no nariz e traqueia, mas podem entrar nos pulmões e penetrar em qualquer parte deste órgão, dependendo da sua dimensão. Designam-se por partículas respiráveis ou finas (PM_{2,5}) as partículas que, devido à sua muito pequena dimensão, podem penetrar profundamente no nosso sistema respiratório. Estas partículas podem ter proveniência do fumo do tabaco (0,01 a 1 µm), dos produtos da combustão ou do ar exterior. Refira-se que no ar 99% do número de partículas tem diâmetro inferior a 1 µm [20]. A composição química e a forma geométrica destas partículas é muito variável pelo que os seus efeitos sobre o organismo humano são muito diversos. No entanto, quanto mais pequenas as partículas, mais os efeitos são adversos para a saúde [20].

Ozono - Muito embora na alta atmosfera (estratosfera) o ozono (O₃) seja um composto essencial para permitir a vida no Planeta (por ser um filtro da radiação solar ultravioleta), na troposfera (camada inferior da atmosfera onde a vida se desenvolve), produz efeitos adversos, podendo afectar gravemente a saúde e o bem-estar humano, contribuindo também para o efeito de estufa.

A formação do ozono troposférico resulta das reacções, na presença da luz solar, entre os óxidos de azoto (NO_x) e os COVs. No interior de edifícios, o ozono é libertado, nomeadamente, por fotocopiadoras e impressoras a laser.

Os sintomas da exposição ao ozono relacionam-se, nomeadamente, com alteração das funções pulmonares e inflamações nas vias respiratórias bem como o exacerbar de problemas de asma.

Microorganismos - As quatro maiores categorias de microorganismos que ocorrem em ambientes interiores de habitações são: bactérias [a], ácaros [b], microorganismos provenientes de animais de estimação e fungos [c]. Estes microorganismos podem provocar, nomeadamente, manifestações de alergia do tipo rinites (inflamação da mucosa do nariz) e asma [21]. A maioria dos fungos desenvolve-se a temperaturas entre 10 e 35°C, sendo o teor de água dos materiais onde se depositam de capital importância. A maior parte dos fungos responsáveis por problemas no interior dos edifícios pertence a um grupo normalmente designado por bolor (fungo com estrutura de filamentos e reprodução através de esporos [20]). A água que favorece o seu desenvolvimento, normalmente, provém da condensação superficial ou intersticial.

As bactérias são muito mais simples que os fungos, geralmente requerem

QUADRO 3 – Produção de CO₂ e vapor de água por ocupante em função do metabolismo dos ocupantes [14]

Ocupantes		CO ₂ [l/h-p]	Produção de vapor de água a 20°C [g/h-p]
Maiores de 15 anos	Acordado	18	55
	A dormir	12	30
Crianças entre 10 e 13 anos	Acordado	12	45
	A dormir	8	15
Bebés de 2 anos	Acordado	8	30
	A dormir	4	10

QUADRO 4 – Produção de vapor de água por ocupante em função da actividade [14]

Produção de vapor de água a cozinhar [g/h-p]			Produção de vapor de água a tomar banho de chuveiro [g/h-p]
Pequeno almoço	Almoço	Jantar	
50	150	300	300

QUADRO 5 – Produção de vapor de água e de dióxido de carbono em combustão (adaptado de [3] e [15])

Combustível	Vapor de água [g/h por kW]	Dióxido de carbono [l/h por kW]
Gás natural	150	97
GPL	130	119

QUADRO 6 – Principais fontes dos diversos poluentes e rácio da concentração interior versus concentração exterior (adaptado de [20])

Poluente	Principais fontes de poluição interior	Rácio concentração interior versus concentração exterior
Dióxido de carbono (CO ₂)	Processo de combustão e humanos	>> 1
Monóxido de carbono (CO)	Combustão incompleta e fumo do tabaco	>> 1
Vapores orgânicos	Produtos da combustão, solventes e produtos de limpeza	> 1
Formaldeído (HCHO)	Isolantes térmicos, colas, derivados da madeira e fumo do tabaco	>> 1
Radão (Rn)	Terreno ou rochas por baixo do edifício e materiais de construção	>> 1
Partículas respiráveis (PM _{2,5})	Produtos da combustão e fumo do tabaco	>> 1
Ozono (O ₃)	Fotocopiadoras e impressoras laser	> 1
Organismos viáveis [a]	Humanos, animais de estimação, insectos, plantas, fungos e ar condicionado	> 1

Nota:

[a] os microorganismos têm que se manter viáveis para provocar infecções, no entanto, microorganismos não viáveis podem provocar reacções alérgicas.

mais água para crescer, e frequentemente crescem em líquidos ou periodicamente em superfícies húmidas. O crescimento de populações de bactérias até concentrações excessivas é geralmente associado a medidas inadequadas de manutenção de locais onde a água é retida (exemplo: sistemas fechados de água quente ou fria e reservatórios de água) ou fugas de água criando água estagnada [20]. Um dos exemplos mais estudado é a *Legionella*, fonte de infecções e causadora de pneumonia. No QUADRO 6 apresenta-se uma síntese da informação referente às fontes dos diversos poluentes, bem como o rácio da concentração interior versus concentração exterior.

VENTILAÇÃO E CONFORTO TÉRMICO

Ventilação

A ventilação surge como uma estratégia fundamental no controlo da qualidade do ar interior, devendo privilegiar-se a extracção localizada quando em presença de fontes de emissão intensas e pontuais, como é o caso da cozinha.

Na prática, recorre-se à prescrição de renovações por hora (RPH[h⁻¹]) para

toda a habitação ou renovações/caudais volúmicos para compartimentos específicos, com base na sua ocupação ou nas actividades que aí se desenvolvem. A humidade relativa é frequentemente o factor determinante no estabelecimento dos caudais de extracção nos compartimentos de serviço (cozinhas e instalações sanitárias). As admissões situam-se nos compartimentos principais (quartos e salas) de modo a prover oxigénio metabólico e diluir poluentes e odores dos ocupantes [22]. Apresentam-se no QUADRO 7 um resumo das principais prescrições de ventilação para edifícios de habitação em vários países. O princípio da ventilação geral e permanente, com admissão contínua de ar através dos compartimentos principais e exaustão de ar nos compartimentos de serviço, é esquematizado na figura 3 [4]. O clima influencia naturalmente a escolha do sistema de ventilação, variando este entre sistemas totalmente controláveis e baixa permeabilidade ao ar da envolvente (climas mais frios) até sistemas de ventilação natural (controlo quase nulo) e alta permeabilidade da envolvente (climas mais quentes). Apresenta-se no QUADRO 8 uma análise comparativa entre os sistemas correntemente usados em Portugal.

QUADRO 7 – Resumo de prescrições de ventilação para edifícios de habitação (adaptado de [4], [5], [10], [12], [23] e [24])

País (Fonte)	Taxa de ventilação global	Salas	Quartos	Cozinha	Inst. Sanitária com banho	Inst. Sanitária sem banho
EUA (ASHRAE 62.1:2004)	0,35 RPH e $> 27 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{p}$ VN: $A_{jan} > 4\% A_{pav}$			VM (a): $180 \text{ m}^3/\text{h}$ (inter.), $43 \text{ m}^3/\text{h}$ (cont.) ou poss. abrir janelas	VM: $90 \text{ m}^3/\text{h}$ (inter.), $36 \text{ m}^3/\text{h}$ (cont.) ou poss. abrir janelas	VM: $90 \text{ m}^3/\text{h}$ (inter.), $36 \text{ m}^3/\text{h}$ (cont.) ou poss. abrir janelas
EUA (ASHRAE 62.2:2004, aplicável a moradias ou edifícios multi-familiares até 3 pisos)	$0,05 \cdot A_{pav} +$ $3,5 \cdot (n^0 \text{ quartos} + 1) +$ infiltrações $36 \text{ m}^3/$ $\text{h} 100 \text{ m}^2 A_{pav}$ $A_{jan} > 4\% \cdot A_{pav}$ e $> 0,5 \text{ m}^2$			VM (b): $180 \text{ m}^3/\text{h}$ (inter.), 5 RPH (cont.)	VM: $90 \text{ m}^3/\text{h}$ (inter.), $36 \text{ m}^3/\text{h}$ (cont.)	
Europa (c) (prEN 15 251: 2006)	0,6 RPH	Ad.: $25,2 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{p}$ ou $3,6 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$	Ad.: $25,2 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{p}$ ou $3,6 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$	Ex.: $\geq 72 \text{ m}^3/\text{h}$	Ex.: $\geq 54 \text{ m}^3/\text{h}$	Ex.: $\geq 36 \text{ m}^3/\text{h}$
Portugal (NP 1037-1: 2002)		Ad. (VN): $> 30 \text{ m}^3/\text{h}$ e 1 RPH; com lareira $> 4 \text{ RPH}$	Ad. (VN): $> 30 \text{ m}^3/\text{h}$ e 1 RPH	Ex. (VN)(d): $> 60 \text{ m}^3/\text{h}$ e 4 RPH	Ex. (VN): $> 45 \text{ m}^3/\text{h}$ e 4 RPH	Ex. (VN): $> 30 \text{ m}^3/\text{h}$ e 4 RPH
Portugal (RSECE-2006)		$30 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{p}$ (não fumadores), $60 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{p}$ (fumadores)	$30 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{p}$ (não fumadores), $60 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{p}$ (fumadores)			
Portugal (RCCTE-2006)	0,6 RPH					

Notas:

Abreviaturas: Ad. – Admissão; Ex. – Exaustão; cont. – Contínuo; int. – Intermitente; A_{pav} – Área pavimento; A_{jan} – Área janela; VN – Ventilação natural; VM – Ventilação mecânica;

(a) é necessário prever caudal de admissão de ar para os aparelhos de combustão tipo A e B;

(b) quando existirem aparelhos de combustão do tipo B e quando o caudal global exceder $270 \text{ m}^3/\text{h}$ é necessário uma abertura de ar de compensação;

(c) os valores apresentados referem-se à classe II: nível normal de expectativa/conforto;

(d) é necessário prever caudal de admissão de ar para os aparelhos de combustão tipo A ($4,3 \cdot$ Potência nominal, em kW, $[\text{m}^3/\text{h}]$) e B ($5 \cdot$ Potência nominal, em kW, $[\text{m}^3/\text{h}]$).

QUADRO 8 – Análise comparativa entre os sistemas de ventilação usados correntemente em edifícios de habitação [25] e [26]

Sistemas	Vantagens	Desvantagens
Ventilação natural	<ul style="list-style-type: none"> Sem consumo de energia para o seu funcionamento; Baixo custo do sistema (instalação, operação e manutenção); Sem ruído emitido pelo funcionamento do sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> Caudais e padrão de escoamento variáveis, podendo haver fases em que é necessário incrementar a ventilação por actuação nos dispositivos de ventilação ou abertura de janelas; Possibilidade de inversão de fluxo em condutas na presença de gradientes térmicos com temperatura exterior superior à interior ($T_{int} \leq T_{ext}$).
Ventilação mecânica centralizada (VMC)	<ul style="list-style-type: none"> Permite assegurar em contínuo as taxas de ventilação pretendidas; Maior eficiência na extracção de poluentes na fonte (ex.: produção de humidade nas instalações sanitárias); Reduzido espaço ocupado por condutas. 	<ul style="list-style-type: none"> Custo do sistema; Consumo de energia; Nível de ruído (só nos casos de implementação deficiente); Custo de manutenção; Quando desligado, a ventilação fica reduzida a valores excessivamente reduzidos; Possibilidade de desconforto devido a correntes de ar (só se for mal implementado); Possibilidade de perturbações na saúde dos ocupantes por falta de manutenção.
Ventilação mista: ventilação mecânica descentralizada (ventiladores em cada habitação e frequentemente só na cozinha)	<ul style="list-style-type: none"> Menor consumo de energia que o sistema VMC; No caso de funcionamento intermitente, maiores taxas de ventilação somente quando são necessárias. 	<ul style="list-style-type: none"> Custo do sistema (menor que no sistema VMC); Consumo de energia (menor que no sistema VMC); Nível de ruído (maior que no sistema VMC); Custo de manutenção; Espaço ocupado por condutas; Correntemente funcionam intermitentemente; Possibilidade de inversão de fluxo na instalação sanitária / caldeira em caso de uso de ventilação natural nesta; Possibilidade de perturbações na saúde dos ocupantes por falta de manutenção; Dado não existirem normas ou métodos de cálculo bem definidos para este tipo de sistema são normalmente muito mal implementados conduzindo a situações de ventilação muito deficiente quando os ventiladores não estão em funcionamento, pelo facto das condutas de ventilação estarem obstruídas pelos ventiladores.

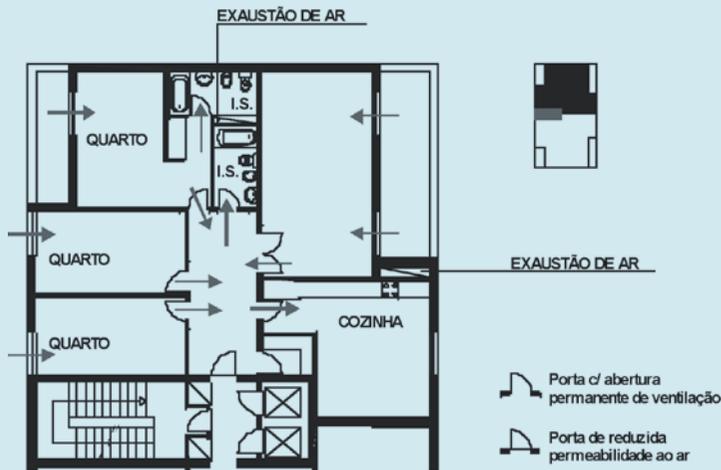


Fig. 3. Exemplo de ventilação conjunta do fogão [4]

O dimensionamento dos sistemas de ventilação deverá ser criterioso, podendo ser consultados os documentos [3] e [4] para o caso de sistemas de ventilação natural e para o caso da ventilação mecânica poderá ser consultado o documento [25]. Os sistemas de ventilação intermitentes (ventilação mecânica accionada de acordo com as necessidades de remoção de poluentes) necessitam de maiores caudais, conforme se pode constatar no QUADRO 7 para o caso particular dos EUA. Neste caso, a norma ASHRAE 62.2: 2004 [24], obriga a um funcionamento no mínimo de 1 hora em cada 12 horas.

Na maioria dos edifícios de habitação o sistema instalado é um sistema misto (ventilação mecânica na cozinha e ventilação natural na instalação sanitária). Em face dos potenciais problemas apresentados por este sistema, nomeadamente, a sua intermitência e a possibilidade de inversão de fluxo nas condutas com ventilação natural, tem-se vindo a fazer investigação no Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, com o objectivo de medir o desempenho do sistema e propor recomendações práticas [27] e [28].

Conforto térmico

De um ponto de vista geral, a sensação de conforto térmico pode ser definida como "o estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico" [11]. Por outras palavras, uma pessoa está termicamente confortável quando não sente nem calor nem frio.

O conforto térmico resulta das trocas de calor existentes entre o corpo humano e o ambiente. Uma das exigências para o bem-estar e conforto é manter o equilíbrio térmico entre o corpo humano e o meio ambiente. Isso implica conservar a temperatura interior do corpo à temperatura aproximada de 37°C, independentemente das variações das condições ambientais.

Uma forma simplificada de especificar as condições ambientais satisfatórias recorre apenas à temperatura do ar. No RCCTE estabelecem-se as temperaturas de referência de 20°C e de 25°C, respectivamente, para as estações de aquecimento (Inverno) e de arrefecimento (Verão).

Em face das diferenças entre indivíduos é impossível especificar condições de conforto que satisfaçam em simultâneo todos os ocupantes de um mesmo edifício. Haverá sempre uma percentagem de ocupantes insatisfeitos. A título de exemplo, apresenta-se na figura 4 a temperatura operativa (em situações correntes, igual à temperatura do ar) para uma média de 20% de insatisfeitos. O gráfico aplica-se para actividade sedentária, velocidade do ar inferior a 0,20 m/s e vestuário típico das estações de arrefecimento (0,5 clo) e aquecimento (1 clo) [4].

De modo a tentar entrar em conta com outros factores, além do simples balanço térmico, têm-se desenvolvido modelos adaptativos em que a principal variável é a temperatura exterior. Estes tipos de modelos foram obtidos em condições reais e aplicam-se somente à estação de arrefecimento e a edifícios ventilados naturalmente (*free-running*: sem aquecimento nem arrefecimento) em que os ocupantes têm actividades sedentárias; têm também possibilidade de adaptar o vestuário às condições térmicas interiores e exteriores e acesso e controlo ao uso de janelas. Em edifícios residenciais as oportunidades de adaptação são particularmente livres e fáceis de conseguir, nomeadamente, através da alteração da actividade metabólica e do vestuário.

A possibilidade de adaptação permite obter temperaturas de conforto mais elevadas, dispensando assim o recurso a meios mecânicos de climatização [11].

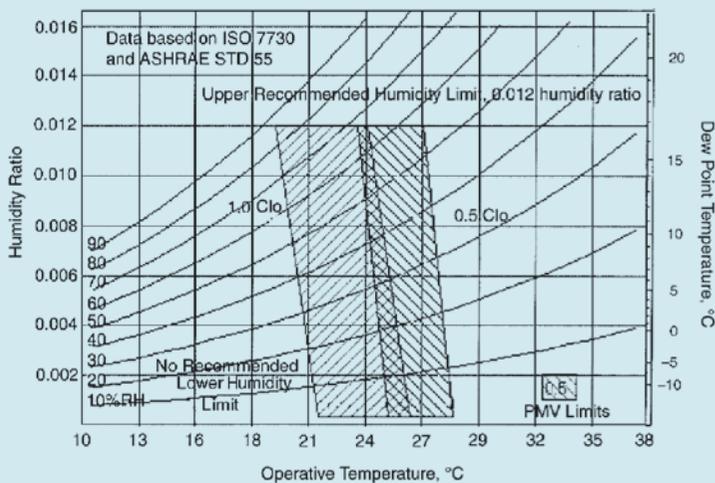


Fig. 4. Valores da temperatura operativa e humidade relativa para condições de conforto global do corpo [11]

EQUIPAMENTO PARA DETERMINAR AS CONDIÇÕES DE CONFORTO E RENOVAÇÕES HORÁRIAS DISPOSITIVOS DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO



Ensaio de determinação das renovações horárias utilizando o equipamento dos gases traçadores



a) grelha de admissão fixa instalada na caixilharia



b) extracção na instalação sanitária



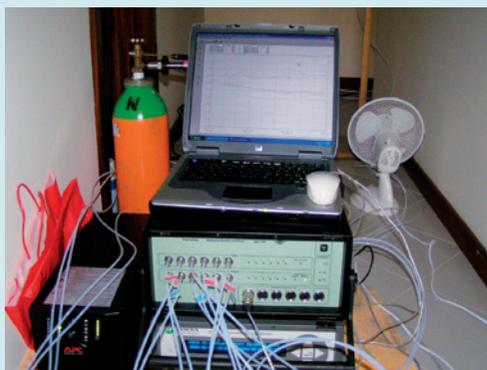
Equipamento dos gases traçadores
(Determinação das renovações horárias)



Grelha de admissão auto-regulável instalada na caixa de estore
(vista de frente)



Grelha de admissão auto-regulável instalada na caixa de estore
(vista de tardo)



Equipamento dos gases traçadores
(Determinação das renovações horárias)



Ventiladores estáticos instalados nas condutas
das instalações sanitárias



Equipamento para determinar as condições de conforto

Grelha de admissão
auto-regulável
instalada na
caixilharia (vista
pelo exterior)



QUADRO 9 – Conforto térmico local [11]

Correntes de ar	Diferença de temperatura do ar na vertical	Pavimento quente ou frio	Assimetria de radiação: parede fria
< 0,12 m/s	< 3°C	19 a 29°C	< 10°C

As condições de conforto térmico descritas anteriormente referem-se sempre ao conforto da globalidade do corpo, o que não é suficiente. Um indivíduo pode considerar que a temperatura ambiente está agradável, mas sentir-se desconfortável em consequência, quer de uma corrente de ar, quer de calor excessivo numa zona localizada do corpo. Situações deste tipo denominam-se de “desconforto local” e afectam essencialmente pessoas em actividade sedentária. Os factores que provocam o desconforto local são:

- Assimetria de temperatura radiante;
- Velocidade do ar;
- Temperatura do pavimento demasiado elevada ou baixa;
- Diferenças de temperatura do ar na vertical.

No QUADRO 9 apresentam-se os limites de variação dos parâmetros atrás apresentados, segundo a norma ASHRAE 55: 2004 [11]. Os valores aplicam-se para actividade sedentária e vestuário típico entre 0,5 e 0,7 clo. A assimetria de temperatura radiante pode resultar, nomeadamente, de um tecto frio ou parede fria, sendo este último caso o mais frequente. Relativamente às condições de desconforto local, a regulamentação portuguesa, RSECE [5], somente especifica que a velocidade do ar interior não deve exceder os 0,2 m/s e os desequilíbrios radiativos devem ser compensados.

CONCLUSÃO

A qualidade do ambiente interior em edifícios de habitação é uma matéria muito complexa. Neste artigo fez-se uma reflexão da qual resultam as seguintes conclusões:

- Os critérios de qualidade do ar, em particular as concentrações máximas dos poluentes, devem ser respeitados;
- As fontes de poluição devem ser identificadas, bem como os respectivos níveis máximos, tendo sido referidas as que, em geral, constituem as mais importantes;
- A ventilação é fundamental para se obter um ambiente interior adequado. Existem prescrições relativamente às taxas de ventilação que devem ser respeitadas. Os sistema de ventilação a implementar devem ser criteriosamente projectados;
- Os sistemas mistos correntemente usados entre nós estão a ser alvo de investigação com o objectivo de medir o desempenho in situ e propor recomendações;
- O conforto higrotérmico depende da temperatura e humidade relativa do ar, mas também da assimetria de temperatura radiante, da velocidade do ar, da estratificação da temperatura do ar e da temperatura do pavimento.

De um modo geral, os estudos indicam a existência de um mecanismo de adaptação do Homem às condições ambientes (condições higrotérmicas,

qualidade do ar, condições acústicas e de iluminação), tendo o Homem demonstrado preferência por ambientes “naturais” em que possa ter algum controlo sobre as respectivas condições. Pretendeu-se com este artigo evidenciar que só uma análise multidisciplinar pode contribuir para a melhoria da qualidade do ambiente interior em edifícios de habitação. Uma proposta de melhoria parcelar deve ser cautelosa, pois pode conduzir a maus resultados.

Manuel Pinto é Engenheiro Civil, Professor na Escola Superior de Tecnologia de Viseu, Dep. Eng. Civil
Vasco P. de Freitas é Engenheiro Civil, Professor na FE da Universidade do Porto, Dep. Eng. Civil
João Viegas é Engenheiro Mecânico, Investigador no Departamento de Edifícios no Laboratório Nacional de Engenharia Civil

NOTAS

- [a] Microorganismo vegetal desprovido de clorofila e núcleo celular que na maioria dos casos se alimenta de matéria orgânica.
- [b] Animal do grupo dos acarídeos, que inclui os causadores da sarna do homem e as carraças dos cães.
- [c] Organismo celular vegetal que se reproduz por esporos e que normalmente se alimenta de matéria orgânica morta e se encontra preferencialmente em lugares húmidos e pouco iluminados.
- [d] A resistência térmica convencional do vestuário expressa-se numa unidade denominada de clo, sendo 1 clo (vestuário típico para Inverno) equivalente a 0,55 m²·°C/W

REFERÊNCIAS

- [1] Comissão de Coordenação da Região do Norte e Universidade do Porto – Fundação Gomes Teixeira, Projecto Redene. Rede de Edifícios Energeticamente Eficientes. Conceitos e Orientações, 2000.
- [2] Fanger, P., What is IAQ?, 10th Indoor Air Conference, Beijing, China, 2005.
- [3] Viegas, J., Contribuição da Ventilação para a Qualidade do Ambiente Interior em Edifícios, Seminário Ambiente em Edifícios Urbanos, Lisboa, 2000.
- [4] IPQ, Ventilação e Evacuação dos Produtos da Combustão dos Locais com Aparelhos a Gás. Parte 1: Edifícios de Habitação. Ventilação Natural, Instituto Português da Qualidade, NP 1037-1, Lisboa, 2002.
- [5] Decreto-Lei n.º 79/2006, Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização (RSECE), 4 de Abril, Diário da República, I Série-A, Lisboa, 2006.
- [6] CEN, Ventilation for Buildings. Design and Dimensioning of Residential Ventilation Systems, CEN/TR 14 788, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2006.
- [7] ECA, Indoor Air Quality and the Use of Energy in Buildings, Report. Nº 17, European Collaborative Action “Indoor Air Quality and its Impact on Man, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1996.
- [8] CEN, Ventilation for Buildings. Design Criteria for the Indoor Environment, CR 1752, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 1998.
- [9] ECA, Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings, Report. Nº 11, European Collaborative Action “Indoor Air Quality and its Impact on Man, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1992.
- [10] CEN, Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings. Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustic, prEN 15 251, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2006.
- [11] ASHRAE, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Ansi/Ashrae Standard 55-2004, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA, 2004.
- [12] Decreto-Lei n.º 80/2006, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), 4 de Abril, Diário da República, I Série-A, Lisboa, 2006.
- [13] Viegas, J., Ventilação Natural de Edifícios de Habitação, CED, A. LNEC, Lisboa, 1995.
- [14] Dorer, V., Pfeiffer, A., Weber, A., Parameters for the Design of Demand Controlled Hybrid Ventilation Systems for Residential Buildings, Technical Note 59, Annex 5-AIVC, IEA-ECBCS, 2005.
- [15] BSI, Code of Practice for Design of Buildings. Ventilation Principles and Designing for Natural Ventilation, BS 5925, British Standards Institution, London, 1991.
- [16] Fraga, S.; Lopes, C.; Azeredo, P., O Monóxido de Carbono em nossas Casas, 8.º Seminário de Outono da Efriarc, Lisboa, 2004.
- [17] Silva, G., Estudo de Emissões de COVs por Materiais usados em Interiores de Edifícios, Tese de Doutoramento Submetida à FCUP, 2000.
- [18] Silva, G., et al, Active vs Passive Sampling of VOCs in IAQ Fields Studies in Selected Energy-Efficient European Office and Residential Buildings, 10th Indoor Air Conference, Beijing, China, 2005.
- [19] Carvalho, F. et al, Exposure to Ionizing Radiation and Dangerous Substances inside Buildings Related to Construction Products, 8th Healthy Buildings Conference, Lisbon, Portugal, 2006.
- [20] ASHRAE, Fundamentals Handbook, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2005.
- [21] ECA, Biological Particles in Indoor Environments, Report. Nº 12, European Collaborative Action “Indoor Air Quality and its Impact on Man, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1993.
- [22] Concannon, P., Residential Ventilation, Technical Note 57, Annex 5-AIVC, IEA-ECBCS, 2002.
- [23] ASHRAE, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Ansi/Ashrae Standard 62.1-2004, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA, 2004.
- [24] ASHRAE, Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings, Ansi/Ashrae Standard 62.2-2004, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA, 2004.
- [25] Pinto, A., Ventilação Mecânica de Edifícios de Habitação, LNEC, NCI, Relatório 01/2006, 2006.
- [26] Liddament, M., A Guide to Energy Efficient Ventilation, Annex 5-AIVC, IEA-ECBCS, 1996.
- [27] Pinto, M., Freitas, V., Caracterização Experimental de um Sistema de Ventilação Misto em Edifícios de Habitação, 2.º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, Porto, 2006.
- [28] Pinto, M. et al, Measurements of Air Change Rates using the PFT Technique in Residential Buildings in Northern Portugal, 27th AIVC Conference, Lyon, France, 2006.