

Contribuição para o conhecimento da qualidade do ar interior em Lares de Idosos: Determinação do teor de CO₂ e de taxas de ventilação

Susana Nogueira, César Sobreira, Daniel Aelenei, João Viegas

Laboratório de Engenharia Civil, | Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

Resumo / Abstract

A esperança média de vida está a aumentar e Portugal é um dos países mais envelhecidos, sabendo-se que a população idosa apresenta elevada prevalência de doenças crónicas e problemas respiratórios. Estudos indicam que as pessoas desta faixa etária estão em média 19 a 20 horas em ambientes fechados. A Qualidade do Ar Interior (QAI) desempenha um papel crucial na qualidade de vida e na saúde dos idosos. Os adultos pertencentes a faixas etárias mais avançadas, podem ter sistemas imunitários enfraquecidos e problemas de saúde associados à idade incrementando a sua vulnerabilidade a problemas de saúde associados à poluição do ar interior. Este facto torna-se ainda mais evidente e tem mais impacto em grupos de risco com doenças crónicas tais como infeções respiratórias, doenças cardiovasculares e na doença pulmonar obstrutiva crónica (DPOC).

O projeto GERIA (Estudo Geriátrico dos Efeitos na Saúde da Qualidade do Ar Interior em Lares da 3ª Idade de Portugal) tem por objetivo determinar o impacto da QAI na saúde, analisando os casos com DPOC (grupo de risco) e os casos sem DPOC (grupo de controlo).

Nesta comunicação estuda-se o impacto dos poluentes emitidos pela respiração humana no ambiente interior dos lares analisando a concentração de dióxido de carbono (CO₂) nos quartos de dormir e nas salas de estar. São ainda determinadas as taxas de ventilação em quartos de dormir a partir da variação da concentração de CO₂.

Comunicação / Paper

1. Introdução

Portugal é um dos países mais envelhecidos, sabendo-se que a população idosa apresenta elevada prevalência de doenças crónicas e problemas respiratórios. Diversos estudos indicam que as pessoas desta faixa etária estão em média 19 a 20 horas em ambientes fechados. A Qualidade do Ar Interior (QAI) desempenha um papel crucial na qualidade de vida e na saúde dos idosos. Os adultos pertencentes a faixas etárias mais avançadas, apresentam frequentemente sistemas imunitários enfraquecidos e problemas de saúde associados à idade, incrementando a sua vulnerabilidade a problemas de saúde associados à poluição do ar interior. Este facto torna-se ainda mais evidente e tem mais impacto em grupos de risco com doenças crónicas tais como infeções respiratórias, doenças cardiovasculares e na doença pulmonar obstrutiva crónica (DPOC).

O projeto GERIA (Estudo Geriátrico dos Efeitos na Saúde da Qualidade do Ar Interior em Lares da 3ª Idade de Portugal) tem por objetivo determinar o impacto da QAI na saúde, analisando os casos com DPOC (grupo de risco) e os casos sem DPOC (grupo de controlo).

A QAI depende não só da existência e intensidade das fontes de poluentes (ocupação humana, emissões dos materiais, emissões dos equipamentos dos edifícios, etc.), como da ventilação dos locais (taxa de ventilação e eficácia da ventilação) e da qualidade do ar exterior (1), uma vez que na maioria dos casos o ar não é tratado antes da sua admissão nos edifícios. Note-se que os comportamentos humanos podem ter uma influência significativa na ventilação dos locais e, nalguns casos, no controlo das fontes de poluentes (2). Diversos estudos têm revelado a existência de teores de CO₂ elevados em edifícios. Por exemplo, em escolas, tais níveis são causados quer pela elevada densidade de ocupação, quer pela insuficiente ventilação (3) (4) (5) (6). Este aspeto também tem sido reportado nas escolas portuguesas (7) (8), tendo sido constatado que a atividade das crianças contribui para um incremento das partículas em suspensão. Elevados teores de CO₂ surgem frequentemente associados a elevados teores de outros poluentes (9) (10). Tem sido igualmente reportada internacionalmente a existência de elevados teores de poluentes em creches e infantários (11) (12) (13), embora nalguns casos se indique que pode existir uma exposição ainda mais elevada a alguns poluentes em casa (13). Os estudos em lares de idosos são raros, provavelmente por se acreditar que aí os problemas de qualidade do ar interior são menos importantes, por haver uma menor densidade de ocupação. A motivação principal dos estudos existentes é frequentemente a análise do conforto (14).

A medição do teor de CO₂ resultante do metabolismo humano, na ausência de outras fontes (por exemplo, a combustão), pode ser utilizada como uma forma de avaliar o grau de viciação do ar interior por origem antrópica. Documentos técnicos de divulgação internacional, como por exemplo a norma ASHRAE 62.1 (15), recomendam que o teor de CO₂ no ambiente interior não ultrapasse 700 ppm acima do teor no ar exterior, para que não sejam sensíveis para um visitante odores decorrentes do metabolismo humano. Está relacionado com este o limite de 1000 ppm (1800 mg/m³) considerado no Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (16) para Portugal.

Nesta comunicação apresentam-se resultados preliminares da caracterização de edifícios utilizados para lares de idosos no que respeita em especial aos aspetos associados à permeabilidade ao ar da envolvente e aos sistemas de ventilação. Apresentam-se também os resultados de medições de curta duração da concentração de CO₂ (30 minutos) realizadas em salas de estar durante o período diurno e de média duração (12 horas) realizadas em quartos de dormir. Para além disso, foram utilizados os registos do teor de CO₂ para se deduzir as taxas de ventilação, quer no período noturno, quer no período de "arejamento" matinal dos quartos.

2. Metodologia

No âmbito do projeto GERIA, através duma ferramenta disponibilizada pelo Gabinete de Estratégia e Planeamento do Ministério da Solidariedade, Emprego e Segurança Social (<http://www.cartasocial.pt/>), foram escolhidos aleatoriamente 33 lares de Lisboa e avaliados os seus residentes que tenham consentido participar e capazes de responder a um questionário. Para a componente da saúde, procedeu-se à avaliação da saúde respiratória e da perceção de saúde em geral, por inquirição e recolha de informação dos processos dos participantes. No âmbito da análise da ventilação e da qualidade do ar interior, foi feito o levantamento das características do parque edificado e a medição da concentração de dióxido de carbono, da temperatura e da humidade relativa, em salas de estar e em 2 quartos de cada lar.

2.1 Caracterização dos edifícios

2.1.1 Levantamento do edificado

Este levantamento tinha por objetivo permitir avaliar as características construtivas e de utilização dos lares de idosos que poderiam condicionar a ventilação e a qualidade do ar interior. O levantamento das condições construtivas foi realizado sempre pelo mesmo técnico de forma a assegurar a uniformidade do preenchimento. Foi acompanhado por registo fotográfico e pela medição do teor de CO₂, temperatura e humidade relativa. Este levantamento foi subdividido em grupos temáticos relativamente aos quais foram definidas as seguintes características:

1. Informação geral – Identificação, Caracterização genérica do edifício (Tipo de edifício, Número de pisos, Implantação, Ano de construção, Ocupação do edifício, Área total e Área climatizada) e Inserção (Caracterização da zona envolvente e Fontes de poluição);
2. Ocupação – número de utentes a residir na instituição.
3. Envolvente do edifício – Paredes, Cobertura, Caixilharia (Material, Preenchimento, Modo de abertura das folhas móveis e Junta móvel) e Proteção solar;
4. Ventilação do edifício – Mecânica (VMC, Local), Natural (Características de admissão e Características de exaustão) e Mista (Características de admissão e Características de exaustão);

5. Climatização do edifício – Estratégia e Combustível utilizado;
6. Aquecimento de águas sanitárias - Tipo de aparelho e Localização do aparelho;
7. Cocção de alimentos – Local e Combustível;
8. Outras fontes de poluentes - Data da realização de obra de melhoramento das instalações e outras fontes de poluentes;
9. Patologias relacionadas com o aparecimento de fungos e/ou bolores;
10. Práticas dos utilizadores – Climatização (Aquecimento e arrefecimento), Ventilação (Inverno, Primavera/Outono e Verão);
11. Opinião dos utilizadores – Conforto e Perceção da qualidade do ar.

2.1.2 Monitorização do ambiente interior

No âmbito do levantamento foram realizadas medições do teor de dióxido de carbono, da temperatura e da humidade relativa no ambiente exterior e no interior. Em média, no interior foram realizadas medições em dois quartos de dormir e uma sala de estar em cada instituição. Neste âmbito o teor de CO₂ foi utilizado como um indicador da poluição do ar interior originada pela respiração humana. A campanha de medições decorreu entre os meses de Setembro de 2012 a Fevereiro 2013. O registo nas salas de estar foi efetuado durante o dia, num período de 30 minutos, em média, para assegurar a estabilização da leitura (que correspondia a um período de aproximadamente de 15 minutos). O registo nos quartos de dormir foi efetuado ao longo de 12 horas, em média, monitorizando todo o período a noite. Os aparelhos utilizados caracterizam-se pelas seguintes estimativas de incerteza expandida: (i) para o CO₂ de UCO₂= 62 ppm para uma medição de 1000 ppm e UCO₂= 175 ppm para uma medição de 3000 ppm e (ii) para a temperatura de UT= 1,16 °C. Dado que se pretende evidenciar a eventual associação entre a qualidade do ar e as condições de saúde respiratória dos idosos, foram selecionadas para a realização destas medições as salas de estar e os quartos de dormir com uma aparente menor qualidade do ar (que se concretizou normalmente pela seleção dos espaços com maior ocupação e envolvente construtiva menos permeável ao ar).

Todo o procedimento de trabalho foi realizada de modo a não causar alterações significativas na rotina das instituições, não só por se pretender causar o mínimo incómodo mas também para obter resultados representativos dos hábitos diários dos ocupantes.

2.2 Avaliação das taxas de ventilação

2.2.1 Método do Gás traçador

A determinação das taxas de ventilação dos compartimentos foi realizada com recurso ao método do gás traçador. Este método consiste na libertação de uma determinada quantidade de um gás com propriedades específicas no interior do compartimento em estudo e na medição da redução da sua concentração devido à renovação do ar desse compartimento.

O método do gás traçador fundamenta-se na lei da conservação da massa do ar e do gás traçador. Neste método admite-se que se verificam as seguintes condições:

- A concentração do gás traçador é homogénea no espaço em estudo;
- Existe uma mistura perfeita e imediata entre o ar e o gás traçador (homogeneização completa);
- A produção do gás traçador não altera a densidade do ar.

Admitindo ainda que a temperatura interior e a temperatura exterior do ar são constantes e uniformes (o que implica que as respetivas densidades não variam no tempo), o balanço mássico pode ser expresso em termos de caudais volúmicos pela seguinte equação diferencial:

$$V \frac{dc}{dt} = G + \dot{V}(c_e - c) \quad (1)$$

cujas soluções são dadas pela expressão

$$c(t) = \left[\frac{\dot{V} \cdot c_e + G}{\dot{V} + G} \right] \cdot \left\{ 1 - e^{-\frac{(\dot{V}+G)t}{V}} \right\} + c_0 \cdot e^{-\frac{(\dot{V}+G)t}{V}} \quad (2)$$

em que, V é o volume efetivo do espaço [m^3], \dot{V} é o caudal de ventilação [$m^3 \cdot s^{-1}$], c_e é a concentração volúmica do contaminante no exterior [ppm], c_0 é a concentração volúmica do contaminante no interior e no instante inicial [ppm], $c(t)$ é a concentração volúmica do contaminante no interior e no instante t [ppm] e G é o caudal volúmico de emissão do contaminante [$m^3 \cdot s^{-1}$] (17).

2.2.2 Técnicas do decaimento e da emissão constante

Para determinar as taxas de ventilação foram utilizadas a técnica de decaimento e a técnica de emissão constante. Para reduzir ao mínimo a interferência nas rotinas dos utilizadores, foi utilizado como gás traçador o CO_2 com origem na respiração humana. Na técnica de decaimento a medição da concentração de CO_2 é feita a partir do momento em que é atingida uma concentração uniforme do gás e a sua produção termina, ou seja, a medição inicia-se no instante em que ocorre a saída dos ocupantes do quarto de dormir. A aplicação desta técnica permitiu avaliar as taxas de ventilação que ocorrem após a saída dos ocupantes. Na técnica da emissão constante o gás traçador é libertado no quarto a uma taxa constante. Uma vez que fonte é constituída pelas emissões dos próprios ocupantes, o êxito destas medições depende dos ocupantes terem uma atividade regular e da sua presença ininterrupta durante o período de medição. A medição inicia-se no instante em que os ocupantes entram no quarto e pode durar toda a noite, desde que o registo da concentração de CO_2 não apresente irregularidades que evidenciem alterações no padrão das emissões.

Na aplicação da técnica de decaimento considera-se, a partir da equação 2, que a produção de CO_2 é nula, obtendo-se assim a equação 3, que caracteriza o decaimento da concentração de CO_2 no quarto de dormir.

$$c = c_e + [c_0 - c_e] \cdot e^{-\left(\frac{\dot{V}}{V}\right)t} \Leftrightarrow \left(\frac{c - c_e}{c_0 - c_e}\right) = e^{-\left(\frac{\dot{V}}{V}\right)t} \Leftrightarrow \ln(c - c_e) = \ln(c_0 - c_e) - \left(\frac{\dot{V}}{V}\right) \cdot t \quad (3)$$

Na aplicação da técnica de emissão constante considera-se, a partir da equação 2, que a produção de CO_2 é constante, obtendo-se assim a equação 4 que caracteriza a fase de emissão constante de CO_2 no quarto de dormir.

$$c = \frac{(\dot{V} \cdot c_e + G)}{(\dot{V} + G)} \cdot \left[1 - e^{-\left(\frac{\dot{V}+G}{V}\right)t} \right] + c_0 \cdot e^{-\left(\frac{\dot{V}+G}{V}\right)t} \Leftrightarrow c = \frac{(\dot{V} \cdot c_e + G)}{(\dot{V} + G)} + \left[c_0 - \frac{(\dot{V} \cdot c_e + G)}{(\dot{V} + G)} \right] \cdot e^{-\left(\frac{\dot{V}+G}{V}\right)t} \quad (4)$$

2.2.3 Estimativa do valor de produção de dióxido de carbono

Dado que seria demasiado intrusivo proceder-se à medição das emissões de CO_2 dos ocupantes dos quartos, procedeu-se à sua estimativa por via analítica, de acordo com a equação:

$$G = 4 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot A_d \quad (5)$$

em que G é o caudal volúmico de emissão de CO_2 [$l \cdot s^{-1}$], M é a intensidade da atividade metabólica [$W \cdot m^{-2}$] e A_d é a área do corpo humano [m^2], dada pela fórmula de Dubois:

$$A_d = 0,202 \cdot m^{0,425} \cdot H^{0,725} \quad (6)$$

em que m é a massa corporal em [Kg] e H é a altura em [m].

Admitindo uma pessoa-padrão com uma massa corporal de 70 kg e uma altura de 1,73 m, obtém-se uma área do corpo de:

$$A_d = 0,202 \cdot 70^{0,425} \cdot 1,73^{0,725} = 1,83 \text{ m}^2 \quad (7)$$

Substituindo o valor obtido na equação 5 na equação 4 e considerando que o valor da intensidade da atividade metabólica correspondente a um ser humano a dormir ($46 W \cdot m^{-2}$) obtém-se (18):

$$G = 0,000046.46.1,8 = 0,00331 \text{ l.s}^{-1} = 0,01193 \text{ m}^3/\text{h}$$

(8)

2.2.4 Metodologia para determinação da taxa de ventilação

Para determinar as taxas de ventilação aplicou-se o método dos mínimos quadrados utilizando a ferramenta informática Excel. No caso do método do decaimento, o ajustamento foi feito apenas em relação à variável $V \propto V$. No caso do método da emissão constante, o ajustamento foi feito inicialmente relativamente a duas variáveis ($V \propto$ e G), sendo posteriormente o valor de G assim obtido comparado com o resultante da expressão 8 (sendo este valor multiplicado pelo número de ocupantes). Nas situações em que o valor G obtido através do ajustamento por mínimos quadrados diferia significativamente do número de ocupantes do quarto, admitiu-se que a anomalia seria devida a alterações imprevistas da sua rotina, pelo que se procedeu a um ajustamento univariável (sendo esta $V \propto$ e o valor de G estimado a partir de 8).

3. Análise dos resultados

3.1. Análise das características construtivas do edificado

Foram analisados 33 lares de acordo com a metodologia descrita, abrangendo um total de 40 salas de estar e 74 quartos de dormir. Nos quadros 1 a 3 são resumidos alguns dos resultados obtidos neste levantamento. No quadro 1 apresenta-se a época de construção dos edifícios, no quadro 2 são caracterizados os componentes dos vãos e no quadro 3 são caracterizados os sistemas de ventilação.

Verifica-se que em Lisboa 64% dos edifícios são anteriores a 1950. Verifica-se ainda que mais de 70% das janelas são em alumínio, tanto nos quartos de dormir, como nas salas de estar. Dado que anteriormente a 1950 a caixilharia era de madeira, verifica-se que uma parte significativa dos lares sofreram obras de reabilitação com substituição da caixilharia.

			Lisboa	
			Frequência absoluta	Frequência relativa
	Séc. XVII		3	9%
Época de Construção	Séc. XX	<1950	18	55%
		>1950	7	21%
	Séc. XXI		5	15%

Quadro 1 - Época de construção do edificado

Note-se que o número de quartos e salas com caixilharia sem vedantes é ligeiramente superior ao número de quartos e salas com caixilharia de madeira, o que evidencia que esta caixilharia de madeira é nestes casos a original, na qual não existiam vedantes. Este aspeto está associado ao facto de não serem normalmente usados sistemas de caixilharia de madeira de conceção recente (normalmente de elevado desempenho), devido ao seu preço mais elevado.

Note-se que cerca de 50% da caixilharia é de batente, o que normalmente está associado a uma preferência por uma menor permeabilidade ao ar e por um modo de abertura que desimpeça totalmente o espaço do vão. É relevante verificar-se que a percentagem de janelas de batente é superior à percentagem de vedantes de borracha, o que indica que algumas janelas de batente estão inadequadamente providas de vedantes de pelúcia, sendo assim prejudicado o seu desempenho de permeabilidade ao ar.

		Lisboa			
		Quartos de dormir		Salas de estar	
		Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência absoluta	Frequência relativa
Material da Caixilharia	Madeira	17	23%	6	15%
	Alumínio	57	77%	31	78%
	Aço	0	0%	3	8%
	Batente	38	51%	20	50%
Tipo de Folha Móvel	Correr	22	30%	13	33%
	Basculante	4	5%	3	8%
	Batente mais Basculante	1	1%	1	3%
	Oscilobatente	9	12%	2	5%
Tipo de vedantes das Janelas	Janela fixa	0	0%	1	3%
	Sem Vedantes	19	26%	8	20%
	Com vedantes de borra-cha	25	34%	15	38%
Tipo de caixa de estore	Com vedantes de pelúcias	30	41%	16	40%
	Interior	24	32%	2	5%
	Exterior	14	19%	6	15%
	Sem caixa de estore	36	49%	32	80%

Quadro 2 - Características dos vãos

Note-se que nos quartos de dormir é frequente a utilização de caixa de estore interior, a que se associa correntemente no processo construtivo corrente em Portugal, uma elevada permeabilidade ao ar (19).

A maioria dos edifícios não dispõe de qualquer sistema de ventilação concebido para o efeito, sendo a sua ventilação assegurada por meios passivos através da abertura das janelas ou através da permeabilidade ao ar da envolvente. Apenas um edifício dispõe de um sistema de ventilação mecânica (ver quadro 3). No caso da ventilação mista, apenas as cozinhas e as instalações sanitárias estão dotadas de exaustão mecânica.

		Lisboa	
		Frequência absoluta	Frequência relativa
Tipo de sistema de Ventilação	Natural	12	36%
	Mista	20	61%
	Mecânica	1	3%

Quadro 3 - Características do sistema de ventilação

3.2 Análise do ambiente interior

3.2.1 Generalidades

Foi medido o teor de CO₂ em 74 quartos de dormir e em 40 salas de estar. A figura 1 mostra a distribuição das medições do teor de CO₂ nos quartos de dormir; a figura 2 mostra a evolução temporal da concentração de CO₂ num quarto individual e exemplifica a determinação das variáveis em cada quarto de dormir (CO₂ estacionário corresponde ao valor médio no período indicado; CO₂ noturno corresponde ao valor máximo no período noturno; CO₂ máximo corresponde ao valor máximo de todo o período de registo); a figura 3 mostra a distribuição das medições do teor de CO₂ nas salas de estar.

3.2.2 Quartos de dormir

Verifica-se que em 93% das medições, nos quartos de dormir, os valores máximos absolutos da concentração de CO₂ são superiores a 1000 ppm (1800 mg/m³).

Ao analisar-se as concentrações máximas de CO₂ durante o período noturno (CO₂ noturno), verificou-se que 84% dos quartos de dormir registam valores superiores ao valor limite de referência.

Determinou-se o teor de CO₂ estacionário, correspondente ao período noturno, determinado entre 00:00 e as 06:00 em que a concentração de CO₂ se mantém aproximadamente constante. Este período noturno é mais relevante porque representa o período de maior exposição dos ocupantes ao ambiente interior. Verificou-se que 66% dos quartos de dormir registam valores superiores ao limite de referência.

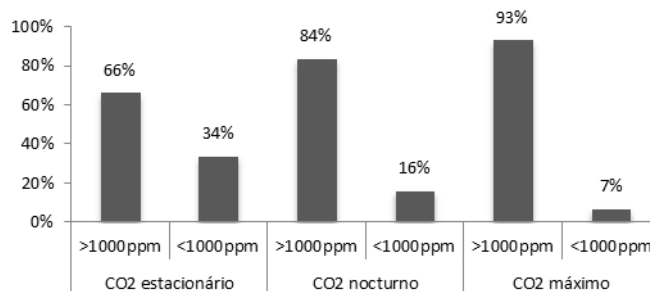


Figura 1 - Resultados da medição do teor de CO₂ em quartos de dormir de Lisboa.

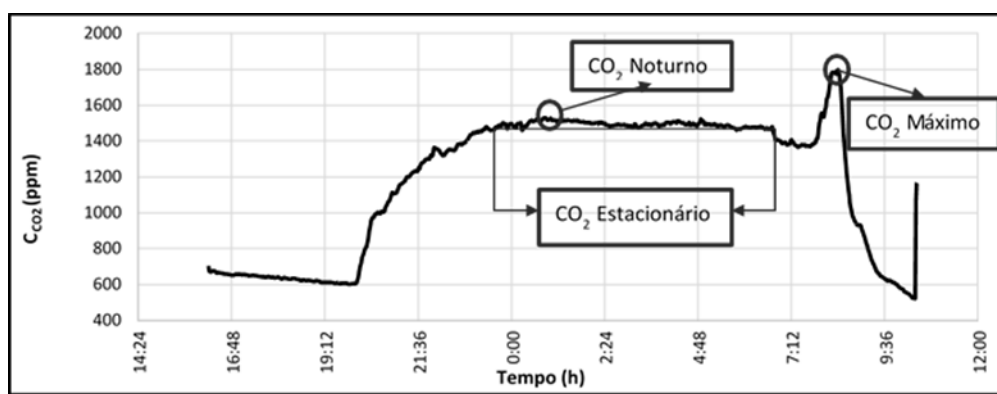


Figura 2- L1 Quarto individual

3.2.3 Salas de estar

Verifica-se que na maioria as salas de estar se registam concentrações de CO₂ inferiores a 1000 ppm (1800 mg/m³).

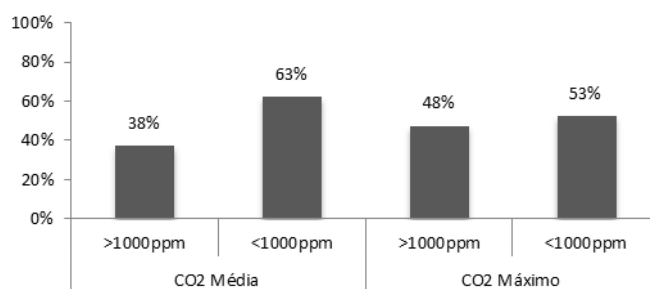


Figura 3 - Resultados da medição do teor de CO₂ das salas de estar

O valor de 1800 mg/m³ constitui o limite referido no Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (16), que embora não se aplique necessariamente nestes casos constituía à data do levantamento uma referência nacional para a QAI em edifícios.

Embora o impacto da permeabilidade da envolvente do edifício e das ações do vento e da diferença de temperatura entre o interior e o exterior na taxa de ventilação seja bem conhecido e a avaliação do impacto da taxa de ventilação na concentração de poluentes, desde que se conheçam as respetivas fontes, não ponha problemas de maior, a situação real de utilização de uma edificação é difícil de ser prevista sem uma extensa medição das características da edificação e um conhecimento detalhado das práticas dos seus utilizadores. No presente caso, resultou do levantamento realizado um conjunto de características observáveis que se relacionam com a ventilação e que

podem influenciar a QAI. Este estudo prosseguirá com a investigação de eventuais associações entre as características construtivas dos edifícios e as suas taxas de ventilação e teores de CO₂.

3.3 Análise das taxas de ventilação

3.3.1 Análise taxas de ventilação (Técnica de emissão constante)

Na figura 4 apresenta-se a distribuição dos resultados das taxas de ventilação medidas durante o período noturno num universo de 21 quartos de dormir através da técnica de emissão constante. É possível verificar que apenas 31% das taxas de ventilação medidas se encontram acima do valor de 0,6 renovações por hora, encontrando-se uma parte significativa abaixo do limite de 0,4 renovações por hora.

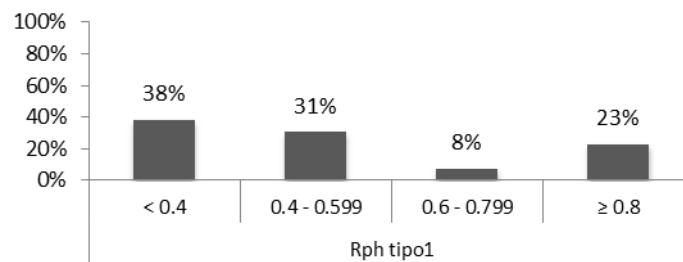


Figura 4 - Resultados das taxas de ventilação obtidas através da emissão constante

Ao se comparar o valor de G (caudal volúmico de emissão de CO₂) estimado analiticamente com o estimado pelo método dos mínimos quadrados é possível fazer-se uma avaliação da adequação da aplicação do método da emissão constante numa situação em que na prática é desconhecida com rigor a emissão dos ocupantes ao longo do tempo. A diferença entre esses valores de G está apresentada na Figura 5, esse quadro só tem valores máximos de 0,5 (diferença de "meia pessoa"), pois foi o limite considerado razoável para compensar a existência de características reais diferentes das consideradas no cálculo analítico de G (peso, altura e atividade metabólica).

Nos quartos em que os valores se encontravam acima de 0,5, foi necessário fazer uma análise mais cuidada de modo a avaliar qual poderia ser a causa para esta discrepância de valores, sendo as duas principais causas, as seguintes:

- Durante a fase inicial da noite existe uma atividade mais elevada no quarto devido à entrada de pessoal auxiliar e aos preparativos para dormir, logo quando se faz o ajustamento a duas variáveis a fase inicial torna-se dominante relativamente à fase mais estável da noite (a mais representativa). Portanto em 7 casos optou-se por fazer um ajustamento univariável de modo a ser obtido um valor mais representativo do desempenho noturno da ventilação.
- Num dos quartos confirmou-se que não seria possível estar com a capacidade máxima (2 pessoas), fazendo-se assim o ajuste a duas variáveis mas considerando que durante aquela noite apenas se encontrava uma pessoa no quarto de dormir.

Na figura 5 é possível verificar que nos 21 quartos analisados foram obtidas boas aproximações dos valores de G, o que evidencia que a aplicação deste método é adequada.

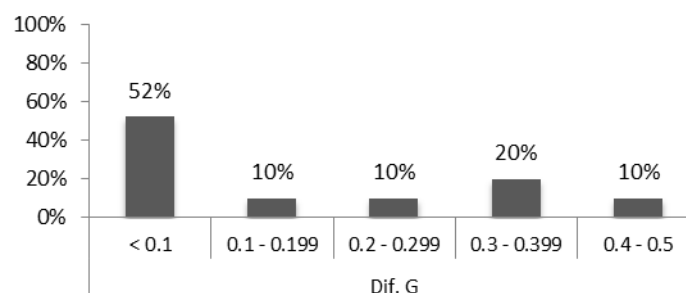


Figura 5 - Valores das diferenças entre o G calculado analiticamente e o estimado pelo método dos mínimos quadrados

3.3.2 Análise das taxas de ventilação (Técnica do decaimento)

Na figura 6 apresenta-se a distribuição das taxas de ventilação estimadas pelo método do decaimento no início da manhã calculada em 20 quartos de dormir. Verifica-se que as taxas de ventilação são muito mais elevadas do que as precedentes, o que só é possível de explicar através da intensificação da ventilação por aberturas das portas interiores e/ou das janelas exteriores. Confirma-se assim que existe a prática corrente de compensar a deficiente taxa de ventilação noturna através do "arejamento" matinal dos quartos. Observa-se que existem algumas situações em que é ultrapassada a taxa de ventilação de 5 renovações por hora.

Em termos físicos é possível estimar o tempo necessário para que o teor do poluente seja reduzido em 90% do inicial (ver equação 3), obtendo-se a seguinte correspondência:

- De 1 a 2 renovações por hora o tempo esperado situa-se entre 90 minutos e 60 minutos,
- De 2 a 3 renovações por hora o tempo esperado situa-se entre 60 minutos e 45 minutos,
- De 3 a 4 renovações por hora o tempo esperado situa-se entre 45 minutos e 35 minutos,
- De 4 a 5 renovações por hora o tempo esperado situa-se entre 35 minutos e 30 minutos,
- Para valores superiores a 5 renovações por hora o tempo esperado é inferior a 30 minutos.

Verifica-se assim que, embora as taxas de ventilação noturnas sejam relativamente baixas, o adequado arejamento matinal (desde que seja praticado com uma duração compreendida entre 30 e 90 minutos) tem capacidade para baixar significativamente o teor de poluentes, impedindo que o teor desses poluentes seja incrementado no ambiente interior por acumulação em dias sucessivos.

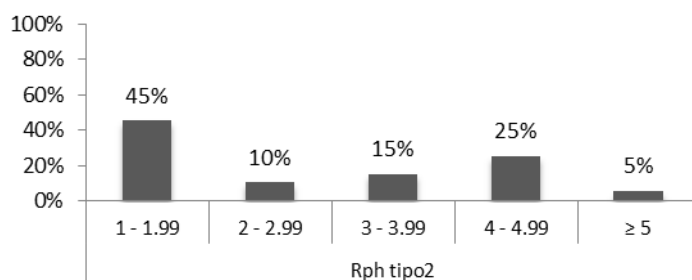


Figura 6 - Resultados das taxas de ventilação obtidas através da técnica do decaimento

4. Conclusões

Este estudo permitiu identificar as principais características destes edifícios utilizados como lares de idosos da cidade de Lisboa. Para além disso foi avaliada a poluição no ambiente interior de origem antrópica através da medição do teor de CO₂, que foi assim utilizado como um marcador indireto. Foram ainda estimadas as taxas de ventilação, a partir dos registos contínuos da evolução do teor de CO₂ ao longo do tempo.

Foram obtidas as seguintes conclusões:

- Verifica-se que uma parte significativa dos edifícios anteriores a 1950 (64%) dispõe de janelas de alumínio (pelo menos 41%), o que indica que sofreram reabilitações com substituição da caixilharia original.
- Entre 20% a 26% dos compartimentos têm caixilharia sem vedantes, o que corresponderá a maiores infiltrações do ar e deverá ter reflexos quer no conforto, quer na taxa de ventilação.
- 32% dos quartos têm caixa de estore interior, o que poderá contribuir muito significativamente para o incremento das infiltrações de ar, tendo em conta o tipo de construção praticada em Portugal.
- De todos os edifícios estudados apenas um dispõe de ventilação mecânica centralizada. Não existem outros edifícios com sistemas de ventilação adequadamente organizados envolvendo todos os espaços, embora seja corrente a utilização de exaustão mecânica nas instalações sanitárias e nas cozinhas.

- Observa-se que em 66% dos quartos estudados o teor de CO₂ estacionário é superior a 1000 ppm.
- Nas salas de estar, os valores medidos em períodos de curta duração indicam que 63% dos valores da concentração de CO₂ se encontram abaixo de 1000 ppm.
- Verifica-se que a metodologia de avaliação da taxa de ventilação assumindo que a emissão de CO₂ é constante se adequa bem ao período noturno.
- Verifica-se que em 38% dos quartos a taxa média de ventilação é inferior a 0,4 rph.
- Observa-se que correntemente os cuidadores abrem as janelas exteriores e/ou as portas interiores dos quartos no início da manhã para "arejar", conseguindo taxas de ventilação superiores a 2 rph em 55% dos casos.

5. Agradecimento

Este projeto de investigação tem o apoio da Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/SAU-SAP/116563/2010).

6. Bibliografia

1. **M.S. Zuraimi, K.W. Tham.** Indoor air quality and its determinants in tropical child care centers. *Atmospheric Environment*, Vol. 42(9), pp. 2225-2239. 2008.
2. **Rune Andersen, Valentina Fabi, Jorn Toftum, Stefano P. Corgnati, Bjarne W. Olesen.** Window opening behaviour modelled from measurements in Danish dwellings. *Building and Environment* 69 101-113. . 2013.
3. **F. van Dijken, J. E. M. H. van Bronswijk e J. Sundell.** Indoor environment and pupils' health in primary schools, *Building Research & Information*, Vol. 34(5), pp. 437-446. 2006.
4. **D. Mumovic, J. Palmer, M. Davies, M. Orme, I. Ridley, T. Oreszczyn, C. Judd, R. Critchlow, H. A. Medina, G. Pilmoor, C. Pearson e P. Way.** *Building and Environment*, Vol. 44, pp. 1466-1477 . 2009.
5. **Budjko, A. Borodinecs and Z.** Indoor air quality in nursery schools in Latvia. *Proceedings of Healthy Buildings 2009*, Syracuse, USA . 2009.
6. **Khaled Al-Rashidi, Dennis Loveday, Nawaf Al-Mutawa.** Impact of ventilation modes on carbon dioxide concentration levels in Kuwait classrooms. *Energy & Buildings*, Vol. 47, pp. 540-549 . 2012.
7. **Susana Marta Almeida, Nuno Canha, Ana Silva, Maria do Carmo Freitas, Priscilla Pegas, Célia Alves, Margarita Evtugina, Casimiro Adrião Pio.** Children exposure to atmospheric particles in indoor of Lisbon primary schools. *Atmospheric Environment*, Vol.45(40), pp. 7594-7599 . 2011.
8. **P.N. Pegas, T. Nunes, C.A. Alves, J.R. Silva, S.L.A. Vieira, A. Caseiro, C.A. Pio.** Indoor and outdoor characterisation of organic and inorganic compounds in city centre and suburban elementary schools of Aveiro, Portugal. *Atmospheric Environment*, Vol.55, pp. 80-89 . 2012.
9. **D. Norbäck, G. Wieslander, X. Zhang e Z. Zhao.** Respiratory Symptoms, perceived air quality and physiological signs in elementary school pupils in relation to displacement and mixing ventilation system: an intervention study. *Indoor Air*, Vol. 21, pp. 4. 2011.
10. **M. C. Freitas, N. Canha et al.** Indoor air quality in primary schools, *Advanced Topics in Environmental Health and Air Pollution Case Studies*, Vol. 20, pp. 361-384. 2011.
11. **Mélissa St-Jean, Annie St-Amand, Nicolas L. Gilbert, Julio C. Soto, Mireille Guay, Karelyn Davis, Theresa W. Gyorkos.** Indoor air quality in Montréal area day-care centres, Canada. *Environmental Research* . 2012.
12. **O. Ramalho, C. Mandin, J. Ribéron e G. Wyart.** Air stuffiness and air exchange rate in French schools and day-care centres. *Ventilation 2012*, Paris. 2012.
13. **Larry Dlugosz, Wei Sun.** HVAC design to reduce risk of communicable disease in child care center infant and toddler rooms.(Report). *ASHRAE Transactions*, July, Vol. 117(2), p. 84(7) . 2011.

14. **Ying-Chia Huang, Chiao-Lee Chu, Shu-Nu Chang Lee, Shou-Jen Lan, Chen-Hsi Hsieh, Yen-Ping Hsieh.** Building users' perceptions of importance of indoor environmental quality in long-term care facilities. *Building and Environment* 67 224-230. 2013.
15. **62.1, ASHRAE Standard.** Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA (2010).
16. **RSECE.** Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE). Diário da República — I Série-A, Decreto-Lei n.º 79/2006, 4 de Abril de 2006. 2006.
17. **LIDDAMENT, M. W. A** guide to energy efficient ventilation. AIVC, Great Britain. 1996.
18. **Awbi, Hazim.** Ventilation of buildings, second edition, pp. 3-74. 2003.
19. **PINTO, M., J. VIEGAS e V.P. de FREITAS.** Air permeability measurements of dwellings and building components in Portugal. *Building and Environment*, 46. Elsevier: 2011.

Contactos / Contacts

Laboratório Nacional de Engenharia Civil,
Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa

Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa
Monte da Caparica, Portugal
e-mail: jviegas@lnec.pt,