





Fotografia *Manuel Gameiro de Silva*

# 5. Ventilação e Qualidade do Ar Interior



### 5.1. Introdução

A Qualidade do Ar Interior (QAI) é definida no Glossário da *International Society for Indoor Air & Climate* (ISIAQ) como “Um indicador dos tipos e quantidades de poluentes no ar interior que podem causar desconforto ou risco de efeitos adversos na saúde humana e animal ou danos na vegetação”. Para a sua quantificação recorre-se normalmente ao valor da concentração média de um ou mais poluentes durante um dado período de exposição, por exemplo ao longo de um intervalo de 8 horas, correspondente ao tempo habitual de ocupação de um edifício durante uma jornada laboral. No caso de poluentes que são intoxicantes, relativamente aos quais um curto período de exposição a concentrações acima de um dado valor limite pode ser fatal, não basta fazer a quantificação a partir do valor da média temporal da concentração, mas tem que se usar também o valor máximo dessa concentração em intervalos de tempo de referência com durações mais curtas.

As estratégias possíveis de atuação para garantir uma boa QAI no interior dos edifícios são: (1) a remoção/diminuição de fontes poluentes, (2) a extração localizada, (3) a limpeza/filtragem do ar e (4) a diluição dos poluentes em ar novo. A primeira destas estratégias implica, por exemplo, a utilização de materiais de construção, de revestimentos e de mobiliário com baixas taxas de emissão de contaminantes, enquanto a segunda se aplica a locais com fontes poluentes localizadas onde se sabe à partida que haverá taxas de emissão elevadas (por exemplo, na zona do fogão numa cozinha). A filtragem e a limpeza do ar justificam-se, por um lado, quando o ar novo exterior apresenta, à partida, concentrações de poluentes acima do que é recomendado, e, por outro lado, se no ambiente interior há múltiplas fontes poluentes de localização não conhecida ou não previsível e, se para o poluente em causa, existem equipamentos de remoção com boa eficiência. Esta última circunstância, correspondente à existência de fontes de emissão dispersas e imprevisíveis quanto à sua localização, é também tratável através da diluição dos poluentes com ar novo, correspondendo àquilo que normalmente se designa por ventilação. Esta é definida como um processo em que se fornece ou se remove ar de um dado espaço para controlar a qualidade do ar e o ambiente térmico. A ventilação é necessária para fornecer o oxigénio para o metabolismo humano e para diluir as concentrações dos gases bioefluentes e de outros poluentes químicos, físicos ou biológicos que possam ser emitidos ou admitidos no interior dos edifícios.

Para além do que se passa no processo de ventilação intencional, o ar entra também no espaço interior de um edifício, de uma forma não controlada, através de frestas e frinchas existentes na envolvente, sendo este processo denominado de “Infiltração”. A taxa de infiltração de ar depende da porosidade da envolvente do edifício e da magnitude das grandezas responsáveis pela indução do processo, isto é, o vento e as diferenças de temperatura entre o interior e o exterior.

A definição dos requisitos de ventilação para espaços interiores com ocupação humana é um problema delicado que envolve encontrar um ponto de equilíbrio entre vários fatores, como a QAI, o conforto térmico e acústico, o consumo de energia e os custos de construção, instalação e exploração do edifício e dos seus sistemas. Taxas de ventilação mais altas asseguram uma melhor QAI, mas podem significar um aumento no consumo de energia, devido à necessidade de deslocar e de condicionar, em termos de temperatura e humidade, maiores volumes de ar. Está provado que alguns indicadores

económicos relacionados com a produtividade e o absentismo por doença dos ocupantes dos edifícios (P. Wargocki et al. 2006) estão claramente dependentes da qualidade ambiental interior, pelo que, quer na fase de projeto, quer na fase de exploração dos sistemas, deve haver um cuidado especial em manter as concentrações de poluentes abaixo dos limites de referência legalmente fixados. Normalmente estes limites são estabelecidos atendendo a critérios de segurança, saúde e conforto dos ocupantes, havendo o cuidado de que os mesmos correspondam, à luz do estado da arte do conhecimento científico na altura da sua fixação, ao tal ponto de equilíbrio entre os custos e os benefícios de uma qualidade ambiental interior adequada. Os consumos dos edifícios representam, nos países mais desenvolvidos, cerca de 40% do consumo total de energia, repartindo-se os consumos restantes, de forma mais ou menos equitativa, entre os transportes e a soma da indústria e da agricultura. Nos edifícios, a maior fatia dos consumos está relacionada com os sistemas de aquecimento e arrefecimento, representando normalmente mais de 60% dos consumos totais.

Com a tendência existente para os edifícios serem melhor isolados termicamente, o peso percentual da ventilação no consumo total de energia tem tendência para subir. Uma vez que a potência necessária para movimentar o ar varia com o cubo dos caudais é fundamental encontrar um ponto de equilíbrio entre os custos e os benefícios da ventilação, não consumindo demasiada energia e não prejudicando a qualidade do ar, de modo a proporcionar condições de bem-estar aos ocupantes.

### 5.2. O Quadro Regulamentar Atual

Em Portugal, o regime jurídico da qualidade do ar interior nos edifícios é estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto e demais legislação complementar e subsequente (Decreto-Lei n.º 68A/2015, Decreto-Lei n.º 194/2015, Decreto-Lei n.º 251/2015, Decreto-Lei n.º 28/2016, Decreto-Lei n.º 52/2018 e Decreto-Lei n.º 95/2019) e pela Portaria n.º 349B / 2013 de 29 de novembro, especificamente para edificações habitacionais e a Portaria n.º 353-A / 2013 de 4 de dezembro e Lei n.º 52/2018 de 20 de agosto para edificações de comércio e serviços.

No caso de edifícios habitacionais, onde as cargas poluentes expectáveis são, em princípio, menores do que nos edifícios de serviços, quer devido ao tipo de atividades, quer porque as taxas de ocupação por unidade de superfície e por unidades de volume são mais baixas, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) – Requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções, publicado como anexo na Portaria n.º 349B/2013, define que a taxa mínima de renovação de ar deve ser igual ou superior a 0.4 renovações por hora. A taxa de renovação  $\lambda$  ( $h^{-1}$ ) corresponde à relação entre o caudal de ar novo  $Q$  ( $m^3 \cdot h^{-1}$ ) e o volume  $V$  ( $m^3$ ) do compartimento em causa:

$$\lambda = Q / V$$

Para novas construções e reabilitação de edifícios de comércio de serviços, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) – Requisitos de Ventilação e Qualidade do Ar, publicado como Anexo da Portaria n.º 353-A/2013, estabelece os limiares de proteção para as

concentrações de um conjunto de poluentes no ar interior, nomeadamente partículas em suspensão (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>), compostos orgânicos voláteis totais (COV), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), formaldeído (CH<sub>2</sub>O), radão, bactérias e fungos (ver Quadro 5.1). Há ainda limites fixados para concentração máxima de Legionella (Ver Quadro 5.2) em reservatórios de água a partir dos quais haja a possibilidade de formação de gotas de água que possam ser inaladas no processo de respiração (por exemplo, tabuleiros de condensados em unidades de tratamento de ar, torres de arrefecimento e depósitos do sistema de águas quentes sanitárias).

Quadro 5.1 – Valores dos limiares de proteção para poluentes físico-químicos no RECS.

Poluentes	Unidade	Limiar de Proteção	Margem de Tolerância (%)
Partículas em suspensão (fração PM <sub>10</sub> )	[μg/m <sup>3</sup> ]	50	100
Partículas em suspensão (fração PM <sub>2,5</sub> )	[μg/m <sup>3</sup> ]	25	100
Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVs)	[μg/m <sup>3</sup> ]	600	100
Monóxido de Carbono (CO)	[mg/m <sup>3</sup> ]	10	-
	[ppmv]	9	-
Formaldeído (CH <sub>2</sub> O)	[mg/m <sup>3</sup> ]	100	-
	[ppmv]	0,08	-
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	[mg/m <sup>3</sup> ]	2250	30
	[ppmv]	1250	
Radão	[Bq/m <sup>3</sup> ]	400	-

Quadro 5.2 – Condições de referência para poluentes microbiológicos.

Poluentes	Matriz	Unidade	Condições de referência
Bactérias	Ar	[UFC/m <sup>3</sup> ]	Concentração no ar interior < (Concentração no ar exterior + 350)
Legionella spp	Água	[UFC/l]	Concentração < 100, exceto em tanques de torres de arrefecimento (Concentração < 1000)
Fungos	Ar	[UFC/m <sup>3</sup> ]	Concentração no ar interior < Concentração no ar exterior

Nas situações em que ocorrem excedências relativamente ao limiar de proteção dos COVs e das condições de referência estabelecidas para as bactérias e fungos, estão previstas no RECS análises mais detalhadas para uma melhor identificação das fontes. Relativamente ao monóxido de carbono, dada a sua elevada perigosidade, são fixados valores de concentração máxima admissível em função da duração da exposição.

As auditorias periódicas da qualidade do ar interior previstas na legislação anterior (RSECE 2006) foram eliminadas do âmbito do sistema de certificação energética de edifícios, embora persista a necessidade de controlar as fontes de poluição. A responsabilidade de inspecionar o cumprimento dos limites de proteção foi atribuída à Inspeção Geral de Agricultura, Mar, Meio Ambiente e Ordenamento do Território (IGAMAOT) e está previsto na Portaria n.º 353-A / 2013, de 4 de dezembro, que esta inspeção deve ser feita de acordo com a metodologia estabelecida pelas autoridades competentes nos domínios do ambiente e da saúde. Foi publicado em fevereiro de 2015 no site da Agência Portuguesa do Ambiente o documento "metodologia para avaliação da qualidade do ar interior em edifícios não residenciais" que corresponde, na sua maior parte, à transcrição de partes da Nota Técnica NT-SCE-02, anteriormente usada no âmbito do RSECE 2016.

O RECS estabelece também que é necessário o cumprimento de caudais mínimos de ar novo para, em condições normais, garantir a diluição dos contaminantes até valores de concentrações inferiores aos respetivos limiares de proteção. Para o cálculo dos requisitos de caudal de ar novo necessário para ter em conta a carga poluente devida aos ocupantes, são propostos dois métodos, ambos baseados nas concentrações, no interior do espaço em causa, de dióxido de carbono, dada o facto de este gás ser o bioefluente mais abundante e de a sua evolução ter uma elevada correlação com as taxas de ocupação:

- O Método Analítico, em que o critério a verificar é que a concentração média de dióxido de carbono, durante o período de ocupação, no interior do compartimento em análise, não exceda o valor prescrito para o limiar de proteção definido para aquele gás (2500 mg/m<sup>3</sup> ou 1250 ppm). Para calcular o valor médio da concentração de CO<sub>2</sub>, tem que ser efetuada uma simulação numérica da evolução temporal do poluente dentro do compartimento, tendo em conta o número de ocupantes, a sua taxa de atividade metabólica, a sua corpulência, a evolução horária das percentagens de ocupação do compartimento, o caudal de ar novo e a concentração do CO<sub>2</sub> no ar exterior.
- O Método Prescritivo, em que o critério é que a concentração de equilíbrio de CO<sub>2</sub> não exceda o valor prescrito para o limiar de proteção (2500 mg/m<sup>3</sup> ou 1250 ppm). Os valores prescritos no RECS resultaram da aplicação da expressão:

em que:

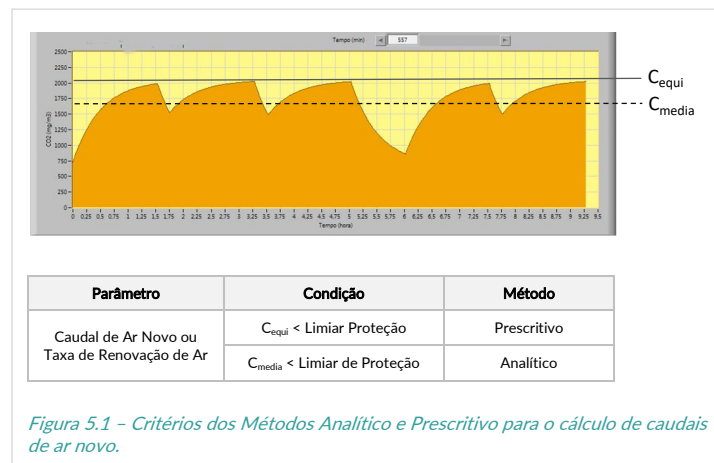
$Q$ , o caudal de ar novo (m<sup>3</sup>/h)

$G$ , geração de poluente no interior do compartimento (mg/h)

$C_{equi}$ , a concentração de equilíbrio do poluente no ar interior (mg/m<sup>3</sup>)

$C_{ext}$ , a concentração do poluente no ar exterior (mg/m<sup>3</sup>)

A análise da Figura 51, em que se representa uma evolução temporal da concentração de CO<sub>2</sub> numa sala em que há cinco períodos de ocupação, intervalados com períodos curtos em que os ocupantes saem do compartimento, permite compreender a diferença entre os dois métodos e a necessidade de efetuar uma simulação da totalidade do período de ocupação para calcular o valor médio diário da concentração.



A aplicação dos dois métodos para a determinação dos caudais de ar novo conduz a resultados diferentes, em que os valores são em regra ligeiramente mais baixos, no caso do método analítico. As diferenças mais notórias ocorrem se houver variações importantes da ocupação do espaço em análise ao longo do dia, se as taxas de renovação de ar forem baixas (o que se verifica se os volumes dos espaços forem elevados e os caudais de ar novo forem baixos) e se os ocupantes do espaço tiverem uma corpulência média afastada da de um adulto no percentil 50. Nos casos da requalificação de edifícios de serviços para serem utilizados com as funções a que se destina o presente guia, isto é, residências de estudantes, não é expectável que haja diferenças notórias na aplicação dos dois métodos, dado que as condições de projeto corresponderão a uma ocupação com um perfil de utilização semelhante ao de uma fração residencial, por adultos jovens e em que não se espera que as taxas de renovação de ar novo sejam muito baixas. Assim, não é expectável que se escolha a opção mais trabalhosa, o método analítico, para o cálculo na fase de projeto dos caudais de ar novo para cada espaço do edifício.

De forma simplificada, os caudais de ar novo, por pessoa, sugeridos pelo método prescritivo no RECS, para ter em conta a ocupação humana, podem ser calculados a partir de expressão  $Q = 20 \times M$ , em que  $M$  representa a taxa de metabolismo dos ocupantes previstos para o espaço em causa, expressa na unidade "met" definida na norma ISO 7730:2015. Os valores indicativos da taxa de metabolismo, em função do tipo de atividade expectável para os ocupantes, bem como os caudais de ar novo para cada uma dessas atividades, encontram-se também definidos na Tabela I.04 da Portaria n.º 353-A que se transcreve com a designação de Quadro 5.3. Os valores apresentados para os caudais de ar novo foram calculados para a situação de um indivíduo adulto com uma corpulência

média, correspondente ao percentil 50 (70 kg de peso e 1,70 m de altura, para a qual a área de superfície exterior do corpo é 1,81 m<sup>2</sup>).

*Quadro 5.3 – Caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga poluente devida à ocupação.*

Tipo de atividade	Taxa de metabolismo dos ocupantes – M (met)	Exemplos de tipo de espaço	Caudal de ar novo [m <sup>3</sup> /(hora.pessoal)]
Sono	0,8	Quartos, Dormitórios e similares	16
Descanso	1,0	Salas de repouso, Salas de espera, Salas de conferências, Auditórios e similares, Bibliotecas.	20
Sedentária	1,2	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convívio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	24
		Salas de jardim de infância e pré-escolar e Salas de creche.	28
Moderada	1,75 (1,4 a 2,0)	Laboratórios, Ateliers, Salas de desenho e Trabalhos oficiais, Cafés, Bares, Salas de jogos e similares.	35
Ligeiramente Alta	2,5 (2,0 a 3,0)	Pistas de dança, Salas em ginásios, Salas de ballet e similares.	49
Alta	5,0 (3,0 a 9,0)	Salas de musculação, Salas em ginásios e pavilhões desportivos e similares	98

A Portaria n.º 353-A inclui no ponto 3 da secção 2.2.1 ainda uma indicação sobre a metodologia a seguir no caso de espaços interiores em que se espera a presença de pessoas com diferentes níveis de atividade. O cálculo será baseado na média ponderada do nível de atividade metabólica  $M_{\text{med}}$ , mas dificilmente essa situação se colocará ao projetista de edifícios destinados a residências de estudantes.

Há que ter em consideração também a necessidade de diluição da carga poluente devida ao próprio edifício, nomeadamente as emissões a partir de materiais de construção, dos revestimentos, pinturas, mobiliário, produtos de limpeza e outros. Assim, deve ser calculado um valor de caudal de ar novo por unidade de área interior do compartimento em causa, que é função do tipo expectável de carga poluente devida ao edifício. Por uma questão de simplificação, apresenta-se uma tabela ligeiramente modificada relativamente à Tabela I.05 da portaria, mas que mantém os critérios da regulamentação, em que se consideram 3 tipos de carga poluente.

Quadro 5.4 - Caudal mínimo de ar novo em função de carga poluente devida ao edifício.

Características do Edifício	Caudal de ar novo [m³/(h.m²)]
Predominância (>75% da área) de materiais de baixa emissão poluente	2
Sem atividades que envolvam emissões de poluentes específicos	3
Com atividades que envolvam emissões de poluentes específicos	5

Indicações mais precisas sobre a classificação dos materiais podem ser consultadas no RECS.

Uma vez determinados os dois valores de caudal de ar novo para ter em conta, respetivamente, a carga poluente devida aos ocupantes e a carga poluente devida ao edifício, de acordo com o ponto 2 da secção 2.2 da Portaria n.º 353-A, considera-se o maior dos dois, como o valor mínimo do caudal de ar novo que deve ser garantido no espaço em análise. A justificação para esta opção assenta nos factos de o caudal de ar novo que dilui a carga poluente devida aos ocupantes diluir também a carga poluente devida ao edifício e de, normalmente, os poluentes associados a cada um dos tipos de carga poluente serem diferentes. O facto de os critérios usados nos países europeus, para os valores de referência das concentrações de poluentes com origem nos ocupantes, derivarem de valores que foram fixados a partir de estudos baseados na perceção subjetiva de visitantes e não de ocupantes justifica também esta opção, porque, se se fizesse a soma dos dois caudais, o valor final seria muito mais elevado do que o que é sugerido, por exemplo, pela norma americana ASHRAE 62. Nesta norma é feita a soma dos caudais, mas a parte relativa aos ocupantes é calculada para uma concentração de referência de CO<sub>2</sub> mais alta, correspondente ao critério de conforto para os ocupantes do espaço.

O valor do caudal mínimo de ar novo a insuflar em cada compartimento deve ainda ser corrigido, passando a designar-se  $Q_{ANf}$ , tendo em conta a eficácia de remoção de poluentes do sistema de ventilação, uma vez que a forma como, em todo o volume do espaço, a diluição e/ou a remoção dos poluentes são mais ou menos uniformemente efetuadas depende da topologia do escoamento induzido.

$$Q_{ANf} = Q_{AN} / \mathcal{E}_v$$

em que:

$Q_{ANf}$ , o caudal de ar novo final corrigido (m³/h)

$Q_{AN}$ , o caudal de ar novo (m³/h)

$\mathcal{E}_v$ , a eficácia de remoção de contaminantes

Na tabela I.01 da portaria são indicados os valores da eficácia de remoção de contaminantes a considerar, em função da configuração do sistema de distribuição de ar no compartimento. Os valores oscilam entre um mínimo de 0,5, para os casos em que há um maior risco de ocorrer um curto-circuito entre a insuflação e a extração de ar, e 1,2 para as situações de ventilação por deslocamento, em que a topologia do escoamento permite que as concentrações de poluentes na zona ocupada sejam inferiores às concentrações médias no compartimento (ver Figura 5.2).

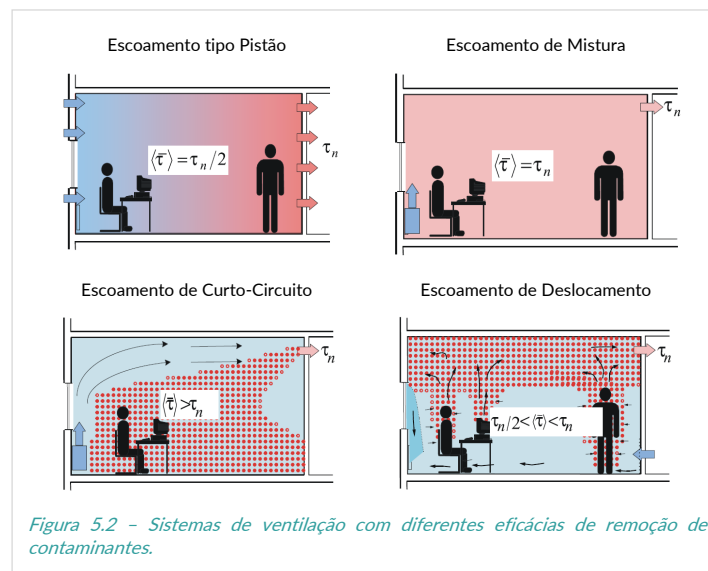


Figura 5.2 - Sistemas de ventilação com diferentes eficácias de remoção de contaminantes.

Há um conjunto de situações particulares, consideradas no RECS, para espaços com condições especiais, quer pelo facto de a carga poluente ser mais reduzida, quer por corresponderem a condições em que a taxa de emissão de poluentes é mais elevada, para os quais são definidos requisitos diferentes dos referidos anteriormente. Por exemplo, para as instalações sanitárias são especificados caudais mínimos de extração de ar na Tabela I.06 da Portaria.

### 5.3. Abordagem Preconizada

#### 5.3.1. Avaliação do Existente

A profundidade da avaliação da situação existente no edifício, relativamente à ventilação e à qualidade do ar, antes do processo de requalificação a que o mesmo vai ser sujeito, pode ser muito diversa, pois o detalhe e o tipo de avaliações a realizar serão função de fatores como:

- a pré-existência de sistemas de ventilação mecânica e as intenções relativamente à sua eventual manutenção ou substituição por sistemas mais modernos e eficientes;

- a intenção de manter ou de alterar o tipo de utilização do edifício, o que pode implicar situações diferentes relativamente aos requisitos em termos de caudais de ar novo (por exemplo se houver uma mudança de edifício residencial para edifício de serviços ou vice-versa);
- a manutenção ou não das soluções existentes em termos de vãos envidraçados, o que pode implicar um comportamento muito diverso relativamente às taxas de infiltração de ar do edifício;
- a utilização dos mesmos materiais de construção e de revestimento do edifício ou a sua substituição, o que pode representar taxas de emissão de poluentes alteradas ou não.

De qualquer forma, será sempre importante começar por efetuar uma visita deambulatória ao edifício existente, na qual se devem analisar e registar dados sobre sistemas de ventilação eventualmente existentes, sobre o tipo de portas e janelas e a sua classe de permeabilidade ao ar, sobre os materiais de construção e de revestimento, sobre eventuais patologias do edifício ou defeitos ou deficientes estados de manutenção dos equipamentos com impacto negativo na QAI (ver, por exemplo, as fichas de recolha de dados sugeridas no guia de qualidade de ar de Hong-Kong (2003), e em F. J. Rey Martinez *et al*(2007)).

Um ponto fundamental na avaliação da situação pré-existente é a qualidade ambiental exterior na zona onde o edifício está localizado, nomeadamente em termos de qualidade do ar e de ruído. A opção relativamente ao tipo de ventilação (natural, mecânica ou híbrida) está naturalmente condicionada pela concentração de poluentes no ar exterior e pelo ruído. A necessidade de instalação de sistemas de filtração do ar de admissão é difícil de compatibilizar com processos de ventilação natural, dado que a perda de carga introduzida pelos filtros, reduziria os caudais de ar novo a valores demasiado baixos durante a maior parte do tempo. Outro aspeto a ter em conta é a inserção do edifício na malha urbana e a influência que os edifícios vizinhos podem ter na distribuição superficial da pressão devida ao vento atmosférico nas fachadas do edifício, já que pode também condicionar a eventual opção por processos de ventilação natural.

Na fase de avaliação do existente, não faz grande sentido avaliar a QAI a partir da concentração dos contaminantes referidos na legislação, porque, quer as características do edifício em termos de permeabilidade a infiltrações/exfiltrações de ar, quer as emissões a partir de materiais de construção e de revestimento podem vir a alterar-se drasticamente com a intervenção de requalificação.

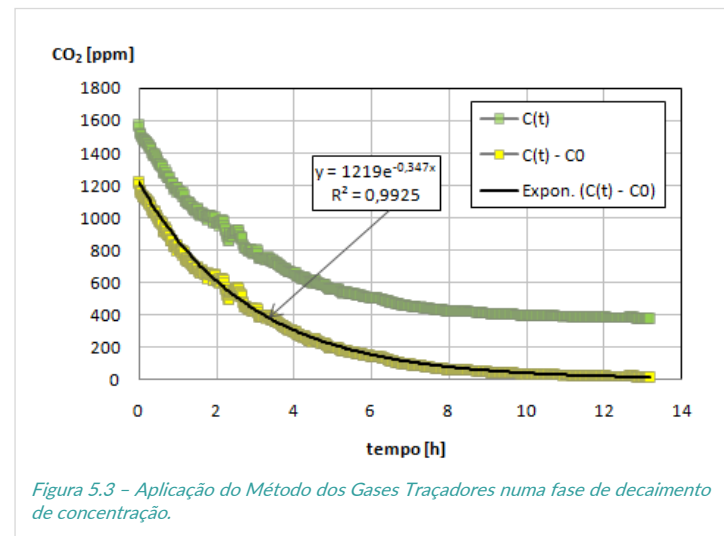
Uma avaliação quantitativa da permeabilidade do edifício existente e dos caudais de ar novo que se podem conseguir, quer com sistemas de ventilação natural, quer com sistemas de ventilação mecânica pré-existent, pode permitir recolher informação relevante para a fase de conceção da intervenção e para avaliar as melhorias introduzidas. A medição das taxas de infiltração do edifício pode ser feita recorrendo ao método dos gases traçadores ou ao método da porta ventilada. Uma vez que no método da porta ventilada, a permeabilidade do edifício é avaliada para uma diferença de pressão de 50 Pa, o que corresponde a uma velocidade do vento de cerca de 9 m/s, claramente superior às velocidades médias anuais a que os edifícios estão sujeitos nas principais cidades portuguesas, faz mais sentido avaliar as infiltrações em condições normais pelo método dos gases traçadores, utilizando a sua variante

mais simples, do decaimento da concentração. Uma alternativa económica e que garante uma boa qualidade dos resultados obtidos é a utilização de medidor de concentração de dióxido de carbono utilizando sensores não dispersivos de radiação infravermelha.

A evolução temporal da fase de decaimento da concentração de um gás traçador num espaço uni-zona é modelada com uma equação exponencial em ordem ao tempo, cujo expoente  $\lambda$  corresponde à taxa de renovação de ar, expressa em unidades correspondentes ao inverso das unidades utilizadas para o eixo do tempo:

$$C(t) - C_{\text{equi}} = (C_0 - C_{\text{equi}}) \cdot e^{-\lambda t}$$

Na Figura 5.3, apresenta-se um exemplo da determinação da taxa de infiltração de um edifício com caixilharias de alumínio, construído há cerca de 30 anos, para o qual foi determinada uma taxa de infiltração correspondente a 0,347 renovações por hora.



Esta metodologia foi, por exemplo, utilizada numa avaliação das infiltrações de uma amostra de 20 frações habitacionais na zona do Porto (M. R. Gomes *et al* (2013)). As frações avaliadas apresentam uma diversidade razoável relativamente a várias características relevantes para o problema em estudo (ano de construção, região territorial, rugosidade do terreno, volume total, cota da fração, cota da cobertura, área de vãos envidraçados, tipo de caixilharia), tendo variado os valores das médias geométricas das taxas de renovação medidas nas várias habitações entre 0,12 e 0,40 h<sup>-1</sup>. Estes valores significam que, na generalidade dos edifícios investigados, terá que haver o cuidado de considerar sistemas adicionais que promovam a ventilação natural para cumprir os critérios regulamentares, como, por exemplo, grelhas autorreguláveis, uma vez que a abertura das janelas pelos ocupantes não está, à partida, garantida.

### 5.3.2. Conceção da Intervenção

A intervenção de reabilitação de um edifício, em termos de QAI e Ventilação, tem que se articular com as outras especialidades de engenharia e ter em conta as condições fronteira em que decorre, entre as quais se podem destacar os aspetos relacionados com o tipo de edifício, com os regulamentos e normas aplicáveis ao caso vertente, com a zona climática de implantação e com as condições ambientais exteriores locais. Relativamente à componente da intervenção na sua componente da Ventilação, uma das primeiras opções a tomar é o tipo de Estratégia de Ventilação (Natural, Híbrida ou Mecânica), sendo a escolha condicionada pelo nível de desempenho pretendido, em termos da QAI e de outros aspetos de avaliação do conforto ambiental interior (por exemplo, o ambiente térmico e o nível de ruído), pela análise dos custos de investimento, exploração e manutenção dos sistemas e equipamentos instalados, pela eficiência energética e ambiental e pela sua fiabilidade das instalações (ver Figura 5.4).

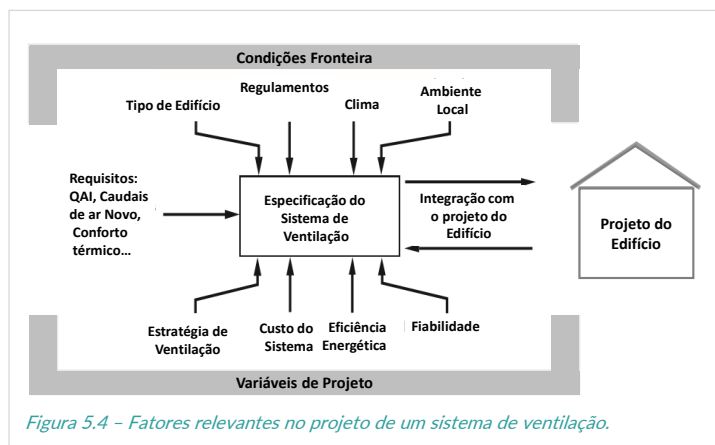


Figura 5.4 – Fatores relevantes no projeto de um sistema de ventilação.

Entre os constrangimentos que podem ocorrer são de ter em conta os associados a edifícios classificados, onde pode haver limitações, por exemplo devido à falta de espaço para passagem de condutas, à impossibilidade de modificar a fachada, ou pela não disponibilidade de zona de uma zona livre com dimensões para captação de ar novo na cobertura.

Há uma grande diversidade de sistemas e equipamentos disponíveis para o aquecimento, ventilação e climatização dos edifícios podendo acontecer que a função de ventilação seja ou não assegurada simultaneamente pelo mesmo sistema que garante o aquecimento e/ou o arrefecimento dos espaços interiores do edifício, o que implica que o dimensionamento pode ter em conta outros critérios para além de uma boa qualidade de ar interior, como seja, a carga térmica de aquecimento ou de arrefecimento.

Na Figura 5.5, apresentam-se as diferentes possibilidades existentes para assegurar a ventilação de um edifício, entre os dois casos extremos de uma ventilação totalmente natural ou totalmente mecânica. Um fator com muita importância no processo de decisão é o rigor climático da zona onde está localizado o edifício. Em climas mais amenos, o impacto económico de uma

solução de ventilação natural, nos custos energéticos associados à garantia de um ambiente termicamente confortável no interior de um edifício, é muito menor do que em climas mais severos. Enquanto abrir, de forma franca, uma janela de um edifício implantado numa zona onde a temperatura é próxima da temperatura interior de conforto não tem praticamente custos energéticos e de degradação do ambiente térmico, o mesmo não se poderá dizer se o ambiente exterior for muito frio ou muito quente.

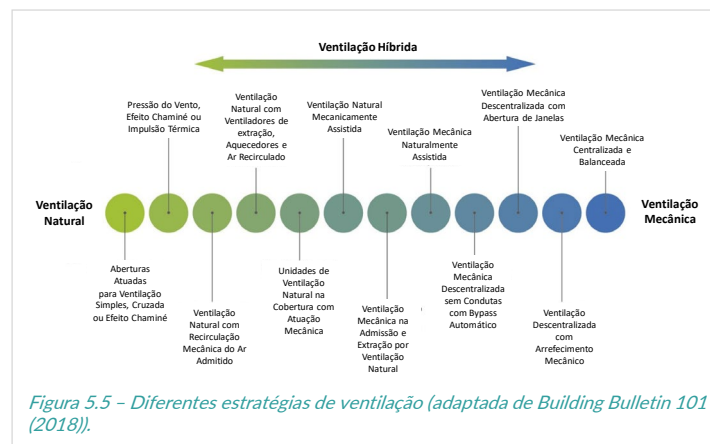


Figura 5.5 – Diferentes estratégias de ventilação (adaptada de Building Bulletin 101 (2018)).

Um clima ameno pode ser tipificado por estações pouco prolongadas de aquecimento ou arrefecimento, com um valor anual em graus-dia de aquecimento/arrefecimento inferior a 2000. As perdas de calor da ventilação são na maior parte do ano insignificantes e, portanto, a necessidade de restringir o fluxo de ventilação é marginal. Neste tipo de climas, pode ser difícil justificar sistemas de ventilação complexos com base apenas na conservação de energia. Os requisitos de estanqueidade da envolvente não são necessariamente muito exigentes e a infiltração de algum ar pode não representar uma grande preocupação para muitos tipos de edifícios. A ventilação natural pela abertura de janelas ou por grelhas autorreguláveis pode nestes casos revelar-se satisfatória, exceto quando o ambiente externo é muito barulhento ou muito poluído, ou quando altas cargas térmicas são geradas dentro do edifício e são necessários caudais elevados para as remover.

Como foi anteriormente referido, as estratégias possíveis de atuação para garantir uma boa QAI no interior dos edifícios (ver Figura 5.6) são: a remoção/diminuição das fontes poluentes, a extração localizada, diluição dos poluentes em ar novo e a limpeza/filtragem do ar. Na fase de conceção do edifício é muito importante uma escolha criteriosa dos materiais de construção, dos revestimentos e do mobiliário de modo a diminuir os requisitos do caudal de ar novo para ter em conta as emissões desses tipos de fontes.

A escolha do revestimento dos pisos dependerá do uso pretendido para a zona e do padrão de atividade e ocupação. Por exemplo, revestimentos cerâmicos devem ser usados em lugares onde seja importante a durabilidade, devido ao uso constante, pesado e a limpeza frequentes.

Revestimentos têxteis para pisos não são recomendados devido ao custo comparativamente alto das operações de limpeza (em termos de tempo e dinheiro) e também à sua considerável contribuição para a ressuspensão de material particulado no ar interior.



Figura 5.6 - Estratégias para melhoria da qualidade do ar interior.

Os adesivos com baixa emissão de solventes são preferíveis para todos os tipos de revestimentos (pisos flexíveis, carpetes, parquet). Antes de pintar e envernizar, deve-se verificar se o trabalho requer o uso de vernizes ou se podem ser usadas tintas de emulsão. As tintas de emulsão e látex são adequadas para subsuperfícies minerais (paredes e tetos). As tintas de emulsão são adequadas para cobrir grandes áreas de paredes, tetos e fachadas em edifícios públicos. Devem ser observados os conservantes incluídos na declaração do conteúdo em latas de tintas à base de água, para diminuir o risco de problemas respiratórios e de alergias.

Os produtos de tratamento de superfícies com alto teor de solventes não devem ser utilizados para envernizar parquetes. Em vez disso, devem ser utilizados agentes de tratamento de superfície à base de água, à base de resina acrílica ou de poliuretano.

Onde possível, devem ser usadas tintas com baixo teor de solventes, mas quando houver uma boa razão para usar uma tinta mais forte à base de solvente, um período considerável de aeração e ventilação deve ter lugar antes da entrada em serviço e da ocupação dos edifícios.

A filtração fornece um meio de limpar o ar exterior admitido para a ventilação de edifícios. Também garante que os sistemas de ventilação mecânica se mantenham em operação no seu nível ideal, protegendo os ventiladores e os dispositivos de recuperação de energia. É prática padrão instalar filtros em sistemas de ventilação mecânica. Na norma EN 16798-3:2017 é proposto o método de seleção dos filtros a instalar em função do binómio composto pelas classes de qualidade do ar exterior (ODA1, ODA2 ou ODA3) e da qualidade do ar interior que se pretende insuflar no edifício (SUP1, SUP2, SUP3 ou SUP4).

Existem também outros métodos de limpeza do ar, como os purificadores de ar, filtros eletrostáticos, sistemas de aspiração, materiais ou superfícies absorventes e plantas que absorvem poluentes.

Os filtros de entrada de ar dos sistemas de ventilação são geralmente usados para remoção de partículas. Se for necessário remover poluentes gasosos tem que se instalar filtros de carvão ativado. Como os filtros para partículas finas e poluentes gasosos são caros e difíceis de manter, é preferível evitar a necessidade de remoção de partículas finas e poluentes gasosos do ar exterior, através do posicionamento eficaz das entradas de ar e do seu controle.

É importante que os filtros sejam substituídos regularmente para manter a boa qualidade do ar. Se os filtros não forem mantidos, podem ficar colmatados, levando ao aumento dos níveis de poluentes, e a um potencial crescimento microbiano e do nível de odores.

Quando há filtros instalados, deve haver um sistema de monitorização para avisar os operadores do edifício se os filtros estiverem sujos e precisarem de ser trocados. Isso pode ser feito por meio de um alerta baseado em sensores de pressão diferencial ou com base nas horas de operação desde a última troca de filtro, num controlador local ou no sistema de gestão técnica centralizada.

Em resumo, o sistema de ventilação deve ser concebido para atender aos seguintes requisitos básicos:

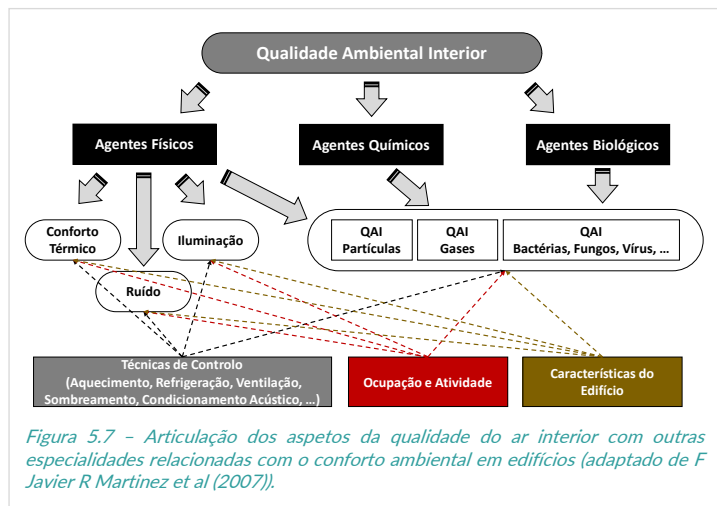
- cumprir os regulamentos de construção relevantes e os padrões e códigos de prática associados;
- satisfazer as taxas mínimas de ventilação para garantir saúde e bem-estar;
- ser capaz de remover poluentes de fontes intensas antes de se dispersarem nas áreas ocupadas;
- ser compatível com o edifício em que o sistema está instalado;
- purgar rapidamente o ar poluído do edifício;
- em casos em que haja variações importantes e não previsíveis da ocupação, incorporar sistemas de controlo automáticos ou pilotados em função do número de ocupantes para garantir que a taxa de ventilação possa ser ajustada de modo a responder às necessidades;
- ser fiável e fácil de ser limpo e mantido;
- cumprir as exigências da Portaria n.º 1532/2008 relativas a estes sistemas;
- ser eficiente em termos de custo e consumos de energia e ter baixos impactos ambientais.

### 5.3.3. Articulação com Outras Especialidades

O conforto ambiental no interior dos edifícios depende de outros aspetos, para além da QAI, nomeadamente os relacionados com os ambientes térmico, acústico e visual, com a ergonomia e com as acessibilidades. As situações de análise da sensibilidade da perceção global de conforto à influência da variação de um ou mais dos aspetos que para ele contribuem tanto se pode colocar em termos

de concomitância como de antagonismo. A título de exemplo, para satisfazer os valores de referência da legislação relativamente a alguns dos contaminantes se tivermos um ambiente com uma carga poluente elevada, como o que resulta da presença de fumadores no interior de uma sala, são necessários caudais de ar novo extremamente elevados (>300 m<sup>3</sup>/(h.pessoa), o que é mais de 10 vezes o caudal normal), o que não é de todo compatível com o intervalo de valores imposto para a velocidade do ar pelos requisitos de conforto térmico ( $v < 0.2$  m/s).

Outro aspeto que se deve ter em conta é a influência da permeabilidade ao ar dos vãos envidraçados porque permeabilidades muito baixas têm vantagens claras em termos da melhoria das condições térmicas e acústicas, uma vez que melhoram o isolamento, mas podem corresponder a uma degradação clara da qualidade do ar, se não forem previstos sistemas que garantam a necessária admissão de ar novo (por exemplo, grelhas autorreguláveis ou ventilação híbrida). A dimensão adequada e ajustada à realidade climática da zona de implantação do edifício dos vãos envidraçados e a sua conjugação com sistemas de sombreamento, quer pelo exterior, quer pelo interior, é também um dos aspetos fundamentais para assegurar uma boa harmonia entre um bom ambiente visual, o conforto térmico e também a qualidade do ar (a existência de luz natural tem influência notória na qualidade do ar, porque diminui os riscos de contaminação biológica).



No esquema da Figura 5.7 representam-se as interações entre alguns dos aspetos fundamentais para a avaliação da qualidade ambiental interior e os tipos de agentes (físicos, químicos e biológicos) que os influenciam, as características dos edifícios, dos sistemas neles instalados e das rotinas de ocupação e de uso. Este tipo de abordagem holística da questão da qualidade ambiental interior dos edifícios está presente na Norma Europeia EN16798-1, publicada em maio de 2019. Na norma são estabelecidos os descritores e os referenciais de avaliação para a QAI, o conforto térmico, à iluminação e o ruído. A classificação de uma dada situação ambiental é feita em quatro categorias de conforto, definidas por intervalos dos respetivos descritores, desde a Categoria 1, a mais exigente e a que

se requer para edifícios de qualidade excecional e destinados a grupos de pessoas com necessidades especiais, até à Categoria 4, a menos exigente e que se recomenda que só seja aceite durante curtos períodos com condições meteorológicas exteriores adversas. As quatro categorias correspondem qualitativamente, relativamente ao nível de expectativa dos ocupantes relativamente à qualidade do ambiente interior às menções de alto, médio, moderado e baixo.

### 5.3.4. Cálculo

Os métodos de cálculo das necessidades de ventilação, quer o projetista opte por ventilação natural, mecânica ou híbrida, são descritos, para o caso do RECS, na Portaria n.º 353-A/2013. No caso da ventilação natural, a verificação pode ser feita por um de três métodos: (a) O método base que corresponde a um cálculo horário da taxa de renovação de ar baseado num método que satisfaça os requisitos da Norma EN 15242:2007; (b) O método simplificado, que se aplica a edifícios com o máximo de quatro pisos e nos espaços em que não se desenvolvam atividades que impliquem a emissão de poluentes específicos e que não disponham de aparelhos de combustão, em que se aplica um cálculo baseado na norma EN 15242:2007, com algumas simplificações; (c) o método condicional, que se aplica também a edifícios com o máximo de quatro pisos e nos espaços em que não se desenvolvam atividades que impliquem a emissão de poluentes específicos e que não disponham de aparelhos de combustão, em que o sistema de ventilação natural pode ser instalado desde que cumulativamente as condições enunciadas no respetivo ponto do regulamento. No caso de sistemas de ventilação mecânica, o projetista pode optar, quer pela definição dos requisitos do caudal de ar novo com base no método prescritivo, quer pelo método analítico, conforme já foi referido no ponto 5.2.

### 5.4. A Intervenção

Durante a fase da intervenção deve haver um cuidado especial com os aspetos de higiene e limpeza dos equipamentos e das redes de condutas, sendo altamente recomendável que as mesmas sejam rececionadas e estejam devidamente armazenadas no estaleiro de obra e tamponadas, de modo a evitar a existência de contaminação biológica antes da sua instalação.

Após a conclusão da intervenção e antes da entrada em funcionamento das instalações e do edifício devem decorrer os ensaios e a receção provisória das instalações (Ponto 1 do Despacho n.º 15793-G/2013) para demonstrar aos vários intervenientes de projeto e instalação que os sistemas e equipamentos cumprem requisitos inicialmente estabelecidos. A realização dos ensaios será da responsabilidade da empresa instaladora, com a participação obrigatória da fiscalização da obra, quando aplicável.

Verificando-se a existência dos respetivos componentes nos sistemas do edifício, os seguintes ensaios são de execução obrigatória, exceto se especificamente excluídos no respetivo projeto de execução:

- Testes de funcionamento das redes de condensados, com vista a verificar o correto funcionamento e a boa execução de todas as zonas sifonadas;

- b) Estanquidade das redes de tubagem;
  - c) Estanquidade da rede de condutas;
  - d) Medição dos caudais de água, em cada componente principal do sistema, nomeadamente equipamentos produtores e unidades de tratamento de ar, pelo que devem ser previstos acessórios que permitam a sua medição precisa;
  - e) Medição dos caudais de ar nas unidades terminais;
  - f) Medição de temperatura e humidade relativa, no ambiente em cada zona independente funcional;
  - g) Medição dos consumos elétricos, em situações de funcionamento real, de todos os propulsores de fluidos, nomeadamente água e ar, e máquinas frigoríficas, incluindo unidades evaporadoras e condensadoras;
  - h) Medição do rendimento de combustão de todas as caldeiras ou sistemas de queima e dos consumos de combustível, caso estas disponham de contadores;
  - i) Verificação das proteções elétricas em situações de funcionamento, de todos os propulsores de fluidos, em concreto água e ar, de caldeiras eventualmente existentes e de máquinas frigoríficas, com inclusão de unidades evaporadoras e condensadoras;
  - j) Verificação do sentido de rotação em todos os motores e propulsores de fluidos;
  - k) Verificação do registo e respetivo bom funcionamento, de todos os pontos de monitorização e controlo;
  - l) Confirmação do registo de limpeza das redes e respetivos componentes, em cumprimento das condições higiénicas das instalações de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC);
  - m) Ensaio de níveis de iluminação em pontos de amostragem representativos do funcionamento do edifício;
  - n) Verificação do consumo de energia elétrica dos circuitos de iluminação, nas seguintes condições: i. Aparelhos de iluminação a funcionar a 100% fluxo de luz; ii. Aparelhos de iluminação a funcionar sujeitos às funções de controlo.
- Para a conclusão do processo de receção provisória, configura-se como necessária a entrega, completa e livre de erros, dos seguintes elementos:
- a) Manuais de condução da instalação;
  - b) Telas finais de todas as instalações, contendo os elementos finais de todas as instalações, incluindo arquitetura;
  - c) Relatório de execução dos ensaios;
  - d) Catálogos técnicos e certificados de conformidade do equipamento;
  - e) Fichas indicativas do procedimento a adotar para a manutenção de cada equipamento ou sistema de modo a serem integrados no Plano de Manutenção (PM).

Os sistemas de ventilação mecânica devem ainda ser balanceados para que sejam obtidos os caudais com as tolerâncias admitidas. Quando uma instalação é entregue, deve ser demonstrado que ela foi construída e funciona da maneira como foi projetada. A instalação deve ser entregue em estado limpo, pronta para operação.

### 5.5. A Manutenção

A manutenção é imprescindível para garantir a fiabilidade e uma exploração economicamente eficiente dos sistemas de ventilação. Somente com o funcionamento correto dos sistemas é possível garantir que a ventilação assegura as necessidades de qualidade do ar interior de um edifício. No passado, os sistemas costumavam ser instalados sem uma ideia clara da forma como as operações de manutenção deviam ser realizadas. Frequentemente, ventiladores, filtros, condutas e unidades terminais não eram periodicamente limpos, resultando num aumento do consumo de energia elétrica, em caudais de ar novo reduzidos e em infestação com fungos e bactérias. A deterioração ao longo do tempo do estado de conservação das condutas, com fugas de ar e perdas do isolamento é um outro problema adicional que pode surgir.

Nas unidades de tratamento de ar (UTAs) há vários tipos de equipamento sujeito a operações de manutenção (aquecedores, baterias de água fria, humidificadores, dispositivos de recuperação de calor etc.). O desempenho dos permutadores de calor é extremamente dependente da manutenção de bons coeficientes de transferência de calor nas superfícies, e isso requer operações de limpeza regulares. Os tabuleiros de condensados existentes nas UTAs devem ser mantidos limpos e os sifões devem ser cheios com água. Devem ser utilizados em geral e preferencialmente "sifões do tipo seco". É obrigatória a existência de um plano de manutenção (PM) dos sistemas de AVAC nos edifícios que deve obedecer aos requisitos estabelecidos no Ponto 2 do Despacho n.º 15793-G/2013. O PM tem que ter identificados os sistemas técnicos instalados no edifício, os respetivos procedimentos técnicos de manutenção têm que estar descritos, sendo também requerida a indicação da periodicidade das operações. O registo das operações é obrigatório e as mesmas têm que ser executadas por profissionais com o nível de qualificação profissional adequado. Há ainda um conjunto de documentação técnica, incluindo manuais de equipamentos, diagramas dos sistemas técnicos e uma cópia atualizada do projeto que devem constar do PM.

Um ponto importante a ter em conta é que a facilidade com que um sistema pode ser mantido é fortemente influenciada pelo grau com que o problema foi considerado nas fases de conceção e projeto.

### Referências Bibliográficas

- [1] ISIAQ. (2006). Glossary of the Indoor Air Sciences. ed. Lars Molhave, Demetrios Moschandreas, W. Gene Tucker, International Society of Indoor Air Quality and Climate. Disponível em <https://www.isiaq.org/resources.php>.
- [2] P.Wargorcki (ed.), O. Seppänen (ed.), J. Andersson, A. Boerstra, D. Clements-Croome, K. Fitzner, S.O. Hanssen, "Indoor Climate and Productivity in Offices", Rehva Guidebook 6, Brussels.
- [3] Decreto-Lei n.º 118/2013, publicado em Diário da República, 1.ª série, N.º 159, a 20 de agosto de 2013.
- [4] Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) – Requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções, publicado como anexo na Portaria n.º 349B/2013.
- [5] Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio E Serviços (RECS) - Requisitos de ventilação e qualidade do ar interior, anexo da Portaria n.º 353-A/2013, publicada no Diário da República, 1ª série, n.º 235, 4 de dezembro de 2013.
- [6] M.R. Gomes, M. Gameiro da Silva M, N. Simões N (2013) Assessment of Air Infiltration Rates in Residential Buildings in Portugal. *CLIMA 2013, 11th REHVA World Congress 8th International Conference on IAQVEC*, 16–19 June, Prague Congress Centre, Czech Republic.
- [7] Building Bulletin 101, Guidelines on ventilation, thermal comfort and indoor air quality in schools, 2018, Education and Skills Funding Agency, UK
- [8] Francisco Javier Rey Martinez, Eloy Velasco Gómez, "Calidad de Ambientes Interiores", 2007, Thomson Editores, Madrid.
- [9] Indoor Air Quality Management Group (Annex 2 – Checklist for Walkthrough Inspection), A Guide on Indoor Air Quality Certification Scheme for Offices and Public Spaces, 2003, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region.
- [10] European Standard EN 15242: 2009 Ventilation for buildings – Calculation methods for the determination of air flow rates in buildings including infiltration, CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brussels.
- [11] European Standard EN 16798-1: 2019 Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, Module 1-6. CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brussels.
- [12] European Standard EN 16798-3: 2017 Energy performance of buildings - Part 3: Ventilation for nonresidential buildings - Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brussels.
- [13] Despacho (extrato) n.º 15793-G/2013, publicado no Diário da República, 2º série, n.º 234, 3 de dezembro de 2013.