



Estudo experimental do impacto da ventilação mecânica controlada e natural na QAI

INÊS FILIPA NOGUEIRA SOARES

outubro de 2024

Estudo experimental do impacto da ventilação mecânica controlada e natural na QAI

Inês Filipa Nogueira Soares

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica, Área de Especialização em Energia**

Orientadora: Professora Doutora Olga Castro

Júri:

Presidente:

Rui de Araújo Rego, Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Vogais:

Olga dos Remédios Sobral Castro, Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Vítor Manuel da Silva Leal, Professor Auxiliar, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Porto, setembro 2024

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha avó e à minha tia que sempre mostraram orgulho em mim ao longo de todo o meu percurso académico

“O que dá o verdadeiro sentido ao encontro é a busca, e é preciso andar muito para se alcançar o que está perto.”

José Saramago

Agradecimentos

A realização deste trabalho envolveu um conjunto de pessoas que de uma forma indireta ou direta permitiram a concretização do mesmo, às quais gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar, agradeço à minha orientadora, Engenheira Olga Castro, pela orientação, pela disponibilidade, conselhos e compreensão que demonstrou ao longo da realização deste trabalho e sugestões, tendo sido crucial a sua orientação para a concretização do mesmo.

À empresa S&P, em particular ao Engenheiro João Carraco, Engenheiro Marco Pereira pela atenção, disponibilidade ao longo de todo o trabalho, por me terem facultado toda informação necessária e um caso de estudo onde fosse possível desenvolver o meu trabalho. Quero agradecer também pela disponibilidade de realizar todos os ensaios e pelo esforço que implicou alterar algumas rotinas do dia-a-dia para que fosse possível realizar todos os ensaios necessários para o trabalho.

Ao Engenheiro Joaquim Monteiro, pela disponibilidade demonstrada em explicar o funcionamento de todos os aparelhos necessários para a realização da parte prática deste trabalho. Agradecer também pelos conselhos e partilha de conhecimentos sobre a metodologia a desenvolver neste trabalho e concretização do mesmo.

Ao Tiago, pelo bom amigo que foi e que me acompanhou desde o início ao fim sempre com os melhores conselhos, com a troca de ideias, com sugestões e por estar sempre disponível para me ajudar e aconselhar, sendo a sua ajuda crucial para a realização deste trabalho. Agradecer também pelas críticas construtivas, apoio e por me ajudar em todos os detalhes minuciosos na realização deste trabalho que sem a sua ajuda passariam despercebidos.

À Mariana, pelos seus conhecimentos e troca de ideias, na estrutura e na apresentação do trabalho, pelas dicas e conselhos e todo o apoio essencial ao longo da realização do trabalho.

Ao António, à Carlota, por não me terem deixado desistir, pelo apoio, pelos conselhos, pela troca de ideias e sugestões cruciais na realização do trabalho.

Por fim, mas não menos importantes, aos meus pais por me sustentarem nesta jornada e por todo o esforço para que nada me faltasse e pela educação que me deram, aos meus primos e família, por me acompanharem, pelo apoio e orgulho em mim que sempre demonstraram ao longo desta fase da minha vida. A todos os meus amigos, por estarem sempre presentes e me motivarem nas alturas mais difíceis neste caminho, pelo apoio incondicional, pelos conselhos e pela constante troca de ideias e sugestões, pois sem eles nada disto seria possível.

Resumo

A qualidade do ar interior é crucial para garantir o conforto, saúde e bem-estar dos ocupantes de edifícios, especialmente em espaços onde a sua predominância é significativa. A concentração de poluentes no ar interior pode causar impactos diretos na saúde dos ocupantes, como problemas respiratórios, fadiga e dores de cabeça, além de a longo prazo, contribuir para o aparecimento de doenças graves devido à exposição contínua destes poluentes. Esses efeitos são amplificados em ambientes com ventilação inadequada, que dificultam a renovação do ar, aumentando a concentração de poluentes, como o dióxido de carbono, partículas em suspensão, compostos orgânicos voláteis e monóxido de carbono, prejudicando a saúde e produtividade dos ocupantes. Este estudo propõe uma análise comparativa de duas ventilações, natural e mecânica controlada, com o objetivo de avaliar a sua necessidade e eficácia na manutenção da qualidade do ar interior. De forma a cumprir o seu propósito foram realizadas medições de dióxido de carbono, partículas em suspensão, monóxido de carbono, compostos orgânicos voláteis, temperatura e humidade relativa. A metodologia incluiu a utilização de equipamentos de leitura direta para a monitorização desses parâmetros, comparando cenários sem ventilação, com a ventilação natural e com ventilação mecânica controlada. Os resultados demonstram que a ausência de ventilação leva à acumulação dos poluentes no ar, com níveis de dióxido de carbono a atingir valores críticos, próximos dos limiares de proteção, 1656 ppm, com um valor máximo de 1221 ± 50 ppm na segunda campanha, evidenciando a necessidade de renovação do ar para evitar a deterioração da qualidade do ar interior. A ventilação natural, embora possa proporcionar uma rápida renovação do ar, com uma taxa de variação de CO_2 de $-7,11$ ppm/min, apresenta desvantagens, uma vez que está suscetível a variações nas condições climáticas e dependente da qualidade do ar exterior, verificando-se um aumento dos níveis de $\text{PM}_{2.5}$ para um valor máximo de 36 ± 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Em contrapartida, os sistemas de ventilação mecânica controlada garantem a renovação constante do ar com uma taxa de variação de CO_2 igual $-4,05$ ppm/min, embora possam, em alguns cenários, não garantir a rápida renovação do ar em comparação à ventilação natural. A ventilação natural mostrou-se eficaz na renovação do ar e na manutenção dos níveis saudáveis da QAI, bem como a opção mais viável economicamente devido à ausência de custos operacionais, tornando-se a melhor solução para o caso em estudo.

Palavras-chave: Qualidade do ar interior, ventilação natural, ventilação mecânica controlada, poluentes do ar interior, limiares de proteção, monitorização.

Abstract

Indoor air quality is crucial to ensure the comfort, health, and well-being of building occupants, especially in spaces where they spend significant amounts of time. Pollutant concentrations in indoor air can directly impact occupants' health, causing respiratory issues, fatigue, and headaches, and in the long term, contribute to the onset of severe diseases due to continuous exposure to these pollutants. These effects are amplified in poorly ventilated environments, which hinder air renewal and increase pollutant concentrations, such as carbon dioxide, particulate matter, volatile organic compounds, and carbon monoxide, adversely affecting occupants' health and productivity. This study proposes a comparative analysis of two ventilation types, natural and mechanically controlled, to assess their necessity and effectiveness in maintaining indoor air quality. To achieve this goal, measurements of carbon dioxide, particulate matter, carbon monoxide, volatile organic compounds, temperature, and relative humidity were conducted. The methodology involved using direct-reading equipment to monitor these parameters, comparing scenarios without ventilation, with natural ventilation, and with mechanically controlled ventilation. The results demonstrate that the absence of ventilation leads to pollutant accumulation in the air, with carbon dioxide levels reaching critical values, close to protection thresholds, at 1656 ppm, with a maximum value of 1221 ± 50 ppm during the second campaign. This highlights the need for air renewal to prevent indoor air quality deterioration. Natural ventilation, although capable of rapid air renewal with a CO_2 variation rate of -7.11 ppm/min, has drawbacks, as it is susceptible to variations in weather conditions and depends on the quality of the outside air, resulting in an increase in $\text{PM}_{2.5}$ levels to a maximum of 36 ± 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In contrast, mechanically controlled ventilation systems ensure constant air renewal with a CO_2 variation rate of -4.05 ppm/min, although they may not, in some scenarios, achieve as rapid air renewal as natural ventilation. Natural ventilation proved effective in air renewal and maintaining healthy IAQ levels, as well as being the most economically viable option due to the absence of operational costs, making it the best solution for this case study.

KEYWORDS: Indoor air quality, natural ventilation, controlled mechanical ventilation, indoor air pollutants, protection thresholds, monitoring.

Índice

Lista de Figuras.....	xiv
Lista de Tabelas.....	xviii
Acrónimos e Símbolos.....	xx
1. Introdução.....	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Objetivos do trabalho.....	1
1.3. Metodologia do trabalho.....	2
1.4. Empresa parceira.....	3
1.5. Organização e estrutura do trabalho.....	4
2. Revisão Bibliográfica.....	5
2.1. Sistemas de ventilação.....	5
2.1.1. Ventilação Natural.....	7
2.1.2. Ventilação Mecânica.....	11
2.1.3. Requisitos da ventilação.....	14
2.2. Qualidade do ar interior (QAI).....	19
2.2.1. Importância da QAI.....	20
2.2.2. Parâmetros condicionantes da QAI.....	21
2.3. Estratégias de ventilação para a QAI.....	28
2.3.1. Filtragem.....	31
2.3.2. Eficácia de remoção de poluentes.....	34
3. Métodos e Aplicação.....	39
3.1. Parâmetros relevantes da QAI.....	39
3.2. Aparelhos de medição.....	42
3.2.1. Descrição dos equipamentos.....	45
3.3. Caracterização do caso de estudo.....	47
3.4. Estratégia de medição.....	53
3.4.1. Plano de amostragem espacial e temporal.....	53
3.4.2. Planeamento de medição.....	55
4. Resultados e Discussão.....	59
4.1. Primeira Campanha.....	59
4.2. Segunda Campanha.....	65
4.3. Comparação da ventilação: natural e mecânica controlada.....	72
4.4. Análise Económica.....	78
5. Conclusão.....	81

5.1. Conclusões finais.....	81
5.2. Limitações e trabalhos futuros.....	83
Referências.....	84
Declaração de Integridade.....	91
Anexo A.....	94
Anexo B.....	97
Anexo C.....	102
Anexo D.....	107
Anexo E.....	112
Anexo F.....	115
Anexo G.....	118
Anexo H.....	120
Anexo I.....	122
Anexo J.....	127
Anexo K.....	130
Anexo L.....	132

Lista de Figuras

Figura 1 - Princípios de controlo da qualidade do ar para ventilação, (Vent Dis Course 2004) (E, 2016)	6
Figura 2 - Ventilação cruzada (Bownass, 2002)	8
Figura 3 - Ventilação natural (Bownass, 2002)	8
Figura 4 - Posicionamento de ventiladores contínuos (Adaptado de: (Bownass, 2002))	9
Figura 5 - Tipos de vão envidraçados. (a) Janela horizontal-pivot; (b) Janela de abertura lateral; (c) Janela pivot-vertical; (d) Janela oscilobatente; (e) Janela de correr (Bownass, 2002)	10
Figura 6 - Efeito chaminé (Santos, 2017)	11
Figura 7 - Sistema VMC de simples fluxo (Soler&Palau, 2023)	12
Figura 8 - (a,b) Terminal de extração de sistema autorregulável com membrana de silicone autoajustável; (c) Terminal de extração de sistema higrorregulável (Evola <i>et al.</i> , 2017).....	13
Figura 9 - Sistema de duplo fluxo (Soler&Palau, 2023).....	13
Figura 10 - Caudal mínimo necessário por ocupante consoante a tipologia do espaço de acordo com a Portaria n.º 353-A/2013 (Energ, 2024)	16
Figura 11 - Taxas metabólicas consoante o tipo de atividade (Energ, 2024).....	17
Figura 12 - Valores da área de DuBois e incremento de taxa de metabolismo atendendo a idade (Energ, 2024).....	18
Figura 13 - Valor de caudal de ar novo por unidade de área consoante a situação do edifício (Energ, 2024).....	19
Figura 14 - Influência do tamanho de uma partícula face à sua absorção (Edition, 2022).....	20
Figura 15 - Limiares de proteção e margem de tolerância para poluentes físico-químicos de acordo com a Portaria nº. 138-G/2021 (Diário da República, 2021).....	22
Figura 16 - Condições específicas para a verificação da conformidade do CO nas situações de excedência de acordo com a Portaria nº. 138-G/2021 (Diário da República, 2021)	22
Figura 17 - Fontes típicas de radão. (A1 – fendas no piso; A2 – Juntas de construção; A3 – Fendas nas paredes; A4- Fendas nas paredes da cave; A5 – Fendas no piso sobre a caixa de ar; A6 – Fendas em torno das canalizações; B – Emanações dos materiais de construção; C – Ar exterior; D – Água.) (Profile, 2015)	28
Figura 18 - Excedências ao valor limite diário de PM ₁₀ em 2021 ('Ambiente 2022/2023', 2023)	29
Figura 19 - Eficiência de filtragem de acordo com a EN 16798-3 no caso de poluentes sólidos (Guidebook, 2017)	31
Figura 20 - Eficiência de filtragem de acordo com a EN 16798-3 no caso de poluentes gasosos (M-, 2017)	32
Figura 21 - Classificação de filtros de acordo com EN 779:2012 (Guidebook, 2017)	33
Figura 22 - Classificação de filtros de acordo com EN ISO 16890-1:2016 (Guidebook, 2017)...	33
Figura 23 - Comparação entre a norma EN 779 e EN ISO 16890 (Edition, 2022)	34
Figura 24 - Requisitos mínimos de filtração (Guidebook, 2017).....	34
Figura 25 - (a) Mistura de ar uniforme (b) Não ocorre mistura de ar ('AIVC Guide to Ventilation i', no date)	36

Figura 26 - Mistura do ar num cenário de insuflação e extração pelo teto (Yang <i>et al.</i> , 2019).	36
Figura 27 - Esquema ilustrativo da metodologia utilizada	39
Figura 28 – Composição estrutural de um sensor NDIR (Hodgkinson <i>et al.</i> , 2013)	45
Figura 29 - Representação do funcionamento de um sensor eletroquímico (Co and Higrométrica, no date)	46
Figura 30 - Planta 2º Piso do edifício S&P	47
Figura 31 - Curva de desempenho SABIK 350 para o ponto de funcionamento selecionado	48
Figura 32 - Legenda da admissão de ar novo na sala de temperatura controlada	49
Figura 33 - Legenda das bocas e grelhas de extração e insuflação no sistema VMC	49
Figura 34 - Legenda dos equipamentos de VMC	50
Figura 35 - Estágios de filtragem na VMC	52
Figura 36 - Eficiência da filtragem G4 na VMC	52
Figura 37 - Legenda das janelas para a ventilação natural no caso de estudo	52
Figura 38 - Representação de janela aberta para ventilação natural	53
Figura 39 – Esquema ilustrativo do processo de medição da necessidade e eficiência da ventilação na QAI	53
Figura 40 - Ponto de medição dos poluentes físico-químicos	55
Figura 41 - Temperatura de conforto da ventilação natural (Standard, 2007)	58
Figura 42 - Variação temporal das concentrações de CO ₂ sem ventilação na 1ª campanha	60
Figura 43 - Variação temporal das concentrações de CO ₂ com ventilação natural na 1ª campanha	61
Figura 44 - Variação temporal da temperatura e humidade relativa sem ventilação na 1ª campanha	61
Figura 45 - Variação temporal da temperatura e humidade relativa com ventilação natural na 1ª campanha	62
Figura 46 - Resultados dos níveis de CO ₂ no ar interior da 1ª campanha	63
Figura 47 – Resultados dos níveis de PM _{2.5} no ar interior na primeira campanha	64
Figura 48 - Resultados dos níveis de PM ₁₀ no ar interior na primeira campanha	64
Figura 49 - Variação temporal das concentrações de CO ₂ sem ventilação na 2ª campanha	66
Figura 50 - Variação temporal das concentrações de CO ₂ com VMC na 2ª campanha	67
Figura 51 - Variação temporal da temperatura e humidade relativa sem ventilação na 2ª campanha	68
Figura 52 -Variação temporal da temperatura e humidade relativa na VMC na 2ª campanha	68
Figura 53 - Resultados dos níveis de CO ₂ no ar interior na 2ª campanha	69
Figura 54 - Resultados dos níveis de PM _{2,5} no ar interior na 2ª campanha	70
Figura 55 - Resultados dos níveis de PM ₁₀ no ar interior na 2ª campanha	71
Figura 56 - Análise comparativa dos níveis de CO ₂	73
Figura 57 - Análise comparativa dos níveis de temperatura na VMC e na ventilação natural	74
Figura 58 – Análise comparativa da humidade relativa na VMC e ventilação natural	75
Figura 59 - Resultados dos níveis de CO ₂ no ar interior na ventilação de cada campanha	75
Figura 60 - Resultados dos níveis de PM _{2,5} no ar interior na ventilação de cada campanha	76
Figura 61 - Resultados dos níveis de PM ₁₀ no ar interior na ventilação de cada campanha	77
Figura 63 - Comparação de um filtro saturado com um filtro novo	80

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Eficácia de remoção de poluentes (Adaptado de: (Energ, 2024)).....	15
Tabela 2 - Diretrizes para poluentes físico químicos da OMS (Adaptado de: (World Health Organization's, no date)).....	23
Tabela 3 - Classes de ODA de acordo com EN 16798-3 3 (Adaptado de: (M-, 2017))	32
Tabela 4 - Classificação de SUP de acordo com a norma EN 16798-3 (Adaptado de: (M-, 2017))	32
Tabela 5 - Classificação do ODA em função dos poluentes gasosos de acordo com a norma EN 16798-3	32
Tabela 6 - Limiares de proteção de acordo com a Portaria n.º 138-G/2021 para os poluentes físico-químicos	41
Tabela 7 - Métodos de referência e métodos equivalentes e requisitos mínimos para a leitura dos parâmetros poluentes (adaptado de: (Energ <i>et al.</i> , 2009))	43
Tabela 8 - Características técnicas e métodos dos equipamentos de medição	44
Tabela 9 - Características técnicas principais VMC	48
Tabela 10 - Grelhas/Bocas de extração e/ou insuflação.....	51
Tabela 11 - Fontes de emissão dos parâmetros a medir	54
Tabela 12 - Cálculo do caudal mínimo de ar novo pelo critério de ocupação	56
Tabela 13 - Cálculo do caudal mínimo de ar novo pelo critério de edifício.....	56
Tabela 14 - Caudal de ar novo mínimo corrigido	56
Tabela 15 - Limiares de proteção para a análise de resultados.....	57
Tabela 16 - Condições iniciais da sala em estudo na 1ª campanha	59
Tabela 17 - Condições do ar exterior na 1ª campanha	59
Tabela 18 - Valores máximos, mínimos e medianas dos parâmetros medidos na 1ª campanha	65
Tabela 19 - Condições iniciais da sala na 2ª campanha	66
Tabela 20 - Condições do ar de admissão do sistema VMC.....	66
Tabela 21 - Valores máximos, mínimos e mediana dos parâmetros medidos sem ventilação na 2ª campanha	72
Tabela 22 - Valores máximos, mínimos e médios dos parâmetros medidos para cada campanha e ventilação	78
Tabela 24 - Custo elétrico anual.....	79
Tabela 25 - Custos de manutenção em cada ventilação.....	79
Tabela 26 - Custos totais anuais associados a cada ventilação.....	80

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

QAI	Qualidade do ar interior
PM _{2,5}	Partículas de suspensão de fração 2,5
PM ₁₀	Partículas de suspensão de fração 10
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
VMC	Ventilação Mecânica Controlada
CSTB	<i>Centre Scientifique et Technique du Bâtiment</i>
DCV	Doenças cardiovasculares
DPOC	Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica
DALY	Ano de Vida Ajustado por Incapacidade (do inglês: <i>Disability Adjusted Life Year</i>)
UF	Ureia-formaldeído
UFFI	Isolamento de espuma de ureia-formaldeído
COVT	Compostos orgânicos voláteis totais
SBS	Síndrome do edifício doente (do inglês: <i>Sick Building Syndrome</i>)
OMS	Organização Mundial da Saúde
IQAr	Índice da Qualidade do Ar
PM	Partículas suspensas no ar
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar-condicionado
ODA	Qualidade do ar externo, do inglês: <i>Outdoor air Quality</i>
SUP	Ar tratado a insuflar (do inglês: <i>Supply air class</i>)
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
NDIR	Infra-vermelho não disperso (do inglês: <i>non-dispersive infrared</i>)
FTIR	Infra-vermelho por transformado de Fourier (do inglês: <i>Fourier-transform infrared spectroscopy</i>)
TEOM	Microbalança de oscilação de peso (do inglês: <i>Tapered element oscillating microbalance</i>)
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
FID	Detetor foto-ionização de chama (do inglês: <i>Flame Ionization Detector</i>)

PID Detetor de foto-ionização (do inglês: *proportional–integral–derivative controller*)

Lista de Símbolos

G	produção de CO ₂	l/s
M	atividade metabólica	W/m^2
HR	humidade relativa	%
P	potência	kW
Q	caudal	m^3/h
N_i	número de ponto de medida em zona i	-
A	área	m^2
C	concentração do poluente gasoso	ppm
\mathfrak{R}	constante universal dos gases perfeitos	$J/(kmol \cdot K)$
M_{mol}	massa molar do componente gasoso	$kg/kmol$
T	temperatura	$^{\circ}C$
P	pressão	Pa
ε_v	Eficácia de remoção de poluentes	-
Pd	pé direito	m
$CO_{2,limit}$	níveis de limiar de proteção de CO ₂ à temperatura de 20°C	ppm
$CO_{2,ext}$	concentração exterior de CO ₂	ppm

1. Introdução

Neste capítulo é feita uma pequena introdução ao trabalho realizado. Primeiro é feita uma breve contextualização do tema, seguido dos objetivos que este trabalho teve propósito, a metodologia necessária à realização do trabalho e por último é apresentada a estrutura do trabalho.

1.1. Contextualização

A QAI (qualidade do ar interior), tem vindo a ganhar cada vez mais atenção na saúde pública e conforto, especialmente em edifícios onde a predominância dos ocupantes é extensa, colocando em causa a sua produtividade, desempenho e saúde. A concentração de poluentes como CO₂ (dióxido de carbono), partículas suspensão, PM_{2.5} (de fração 2.5) e PM₁₀ (de fração 10), CO (monóxido de carbono), COV (compostos orgânicos voláteis) a níveis elevados em ambientes fechados pode ter impactos severos na saúde dos ocupantes, incluindo problemas respiratórios, fadiga e dores de cabeça. Estes efeitos adversos aumentam em edifícios onde a ventilação é insuficiente ou inadequada, permitindo a acumulação de poluentes e comprometendo a QAI.

De forma a dar resposta a este problema, a ventilação desempenha um papel crucial na manutenção da qualidade do ar interno. A ventilação natural, que está naturalmente dependente de orifícios na envolvente do edifício, como janelas, portas, grelhas, permite a renovação do ar, no entanto, está sujeita a variações climáticas e dependente da qualidade do ar externo. No entanto, os sistemas de ventilação mecânica controlada, garantem uma constante troca de ar e filtragem de poluentes, oferecendo um maior controlo sobre a qualidade do ar.

O trabalho desenvolvido surge na necessidade de analisar a necessidade de ventilação na QAI, assim como a análise comparativa experimental da ventilação natural e mecânica controlada na QAI em ambiente de palestra/formação. Através da monitorização dos parâmetros CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀, COV, CO, temperatura e humidade relativa, pretende-se avaliar como cada sistema de ventilação influencia a QAI e limitações de cada uma destas estratégias.

1.2. Objetivos do trabalho

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar a necessidade da ventilação na QAI e o estudo da ventilação natural e mecânica controlada na manutenção da qualidade do ar interior de um

Introdução

ambiente de palestra/formação. Para cumprir o seu propósito foi necessário definir os seguintes objetivos parciais:

- Estudar os poluentes existentes, as suas respetivas fontes de poluição que contribuem para a deterioração da QAI e as consequências dos diversos poluentes na saúde dos ocupantes e os limites legais dos níveis dos poluentes;
- Conhecer as técnicas de monitorização da QAI, compreender as metodologias, equipamentos utilizados para a medição e análise dos poluentes;
- Estudar o funcionamento de cada estratégia de ventilação, natural e mecânica controlada;
- Estudar o funcionamento da ventilação natural e mecânica controlada, avaliar as características de cada estratégia, os seus modos de operação e as suas limitações;
- Comparar a ventilação natural, com um sistema VMC (Ventilação mecânica controlada), avaliar o impacto direto que cada estratégia tem na diluição dos poluentes e controlo da QAI.
- Monitorizar a qualidade do ar interior, através de medições contínuas dos poluentes do interior da sala, e parâmetros ambientais, tais como CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀, COV, temperatura e humidade relativa.
- Análise e tratamento de todos os dados recolhidos durante as campanhas feitas, estabelecer uma comparação de um cenário sem ventilação, com ventilação natural e mecânica controlada verificando se os mesmos se encontram dentro dos limites legais;
- Analisar a temperatura e humidade relativa para concluir a eficácia da ventilação.

1.3. Metodologia do trabalho

A metodologia adotada para a realização do trabalho envolveu várias etapas, abrangendo desde o a revisão bibliográfica até à execução da componente experimental. Numa primeira etapa, foi necessário estudar a importância da QAI e identificar os principais poluentes que afetam a sua qualidade. Este estudo incluiu uma análise dos impactos dos poluentes na saúde dos ocupantes, fontes de poluição e limites legais estabelecidos para as suas concentrações em espaços fechados.

Em paralelo, foi feita uma revisão da ventilação natural e VMC. Foram analisados o funcionamento de cada sistema, as suas vantagens e restrições na QAI.

Com base na revisão bibliográfica, iniciou-se a etapa de desenvolvimento da componente experimental do trabalho. Inicialmente foi necessário adquirir conhecimento sobre as técnicas de monitorização da QAI e definir a abordagem a ser adotada. Para isso, foi necessário selecionar-se quais seriam os parâmetros relevantes a serem monitorizados, com base na sua influência direta pela ventilação.

Seguidamente, foi necessário a aquisição de conhecimentos sobre o funcionamento dos aparelhos de medição, de modo a garantir uma monitorização precisa e contínua dos parâmetros definidos. A partir disso, foram realizados os ensaios experimentais, divididos em três cenários: sem ventilação, com ventilação natural e com VMC.

Após a recolha dos dados obtidos, foi feito um tratamento dos dados registados e a análise comparativa dos resultados de forma a avaliar a necessidade de ventilação e eficácia de cada sistema na manutenção da QAI. Por fim, os resultados foram comparados com os limites legais e discutidos tendo por base toda a revisão bibliográfica e metodologia utilizada, resultando na elaboração de conclusões que vão de encontro com o objetivo principal do estudo.

1.4. Empresa parceira

Soler & Palau (S&P) é uma referência global no setor da ventilação mecânica, com mais de 70 anos de experiência. Fundada em 1951, a empresa espanhola distingue-se pelo seu compromisso com a inovação, qualidade e sustentabilidade. A S&P desenvolve soluções avançadas de ventilação para melhorar o conforto e a qualidade do ar em ambientes residenciais, comerciais e industriais, estando presente em mais de 90 países.

Um dos aspetos que consolidam a posição de liderança da S&P no mercado é o seu impressionante histórico de inovação tecnológica. Ao longo da sua história, a empresa registou 120 patentes próprias, além de mais de 59 modelos industriais e 4 modelos utilitários, mostrando o seu empenho na criação de soluções únicas e tecnologicamente avançadas.

Outro fator diferenciador é a política de crescimento constante da S&P, sustentada por uma estratégia sólida de reinvestimento de benefícios. A empresa direciona uma parte significativa dos seus lucros para as áreas de investigação, produção e comercialização, o que tem permitido o desenvolvimento contínuo de novas tecnologias e o aprimoramento da sua capacidade de produção. Esta abordagem assegura que a S&P continue a expandir-se de forma sustentável e a responder às crescentes exigências do mercado.

A S&P também se destaca pelo seu centro de pesquisa e desenvolvimento (R&D), um dos maiores e mais avançados no setor da ventilação. Este centro é o coração da inovação da empresa, onde são testadas e aperfeiçoadas novas tecnologias, com foco na eficiência energética e na sustentabilidade. A criação de ventiladores com consumo energético reduzido e sistemas de controlo inteligente são exemplos de como a empresa se mantém à frente das exigências atuais do mercado e das regulamentações ambientais.

Com uma oferta diversificada de produtos, a S&P cobre todas as necessidades de ventilação, desde soluções residenciais a aplicações comerciais e industriais, incluindo setores especializados como saúde e construção. O compromisso com a eficiência energética e a qualidade dos seus produtos permite aos clientes reduzir os custos operacionais e contribuir para a proteção do ambiente.

1.5. Organização e estrutura do trabalho

Esta dissertação está organizada em 5 capítulos, descritos a seguir:

- Capítulo 1 – Apresenta uma introdução geral, onde é feita uma contextualização do trabalho, definidos os principais objetivos do trabalho e a metodologia necessária à realização do trabalho, a empresa parceira, bem como a estrutura e organização do trabalho.
- Capítulo 2 – Fornece uma revisão bibliográfica sobre a importância da QAI, ventilação e estratégias de ventilação que impactam a QAI. O subcapítulo dedicado à QAI aborda os limites legais, principais poluentes, fontes de poluição e os seus impactos na saúde dos ocupantes. Já o subcapítulo da ventilação analisa tanto a ventilação natural quanto a VMC, descrevendo o funcionamento de cada sistema. O subcapítulo das estratégias da ventilação com uma breve introdução do impacto das mesmas na QAI e estudo da eficácia de remoção de poluentes.
- Capítulo 3 – Descreve detalhadamente a metodologia adotada no trabalho. Inclui os critérios para a seleção dos parâmetros a medir, como o CO, COV, CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀, temperatura e humidade. Inclui também caracterização do caso de estudo, os equipamentos de medição utilizados e as suas técnicas e uma explicação dos ensaios realizados bem com a estratégia de medição e considerações a ter em conta na componente experimental.
- Capítulo 4 – Apresenta todos os resultados obtidos nas campanhas de monitorização, divididos entre as 2 campanhas efetuadas e a análise comparativa das duas ventilações, natural e mecânica controlada. Os resultados são apresentados por meio de gráficos e tabelas, seguidos de uma análise comparativa sobre a eficácia de cada tipo de ventilação na manutenção da QAI e no controle de parâmetros como poluentes, temperatura e humidade.
- Capítulo 5 – Neste capítulo são expostas as principais conclusões do trabalho, com base nos resultados obtidos. Além disso, são feitas sugestões de possíveis trabalhos futuros, com foco de novos estudos para a otimização das estratégias de ventilação na QAI.

2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica aos temas subjacentes à necessidade e eficácia da ventilação natural e mecânica controlada para a QAI.

Este estudo abordou as diferentes estratégias de ventilação, como ventilação natural e mecânica controlada, destacando as vantagens da sua utilização na saúde e produtividade dos ocupantes. São também detalhados os sistemas de filtragem integrados na VMC e o processo de monitorização da QAI associado a cada tipo de ventilação. Esta análise permite o estudo sobre as soluções escolhidas para melhorar a qualidade dos ambientes internos, promovendo a otimização dos sistemas de ventilação.

2.1. Sistemas de ventilação

Os sistemas de ventilação permitem substituir o ar interior contaminado por ar fresco vindo do exterior do edifício. Esta troca de fluxos de ar pode ocorrer por infiltração de ar, através de frinchas na envolvente do edifício ou de ventilação natural através de aberturas na envolvente, através de ventilação mecânica prevista de forma intencional, ou ainda pela combinação de ambas, designando-se por sistemas de ventilação híbridos (Awbi, 2015).

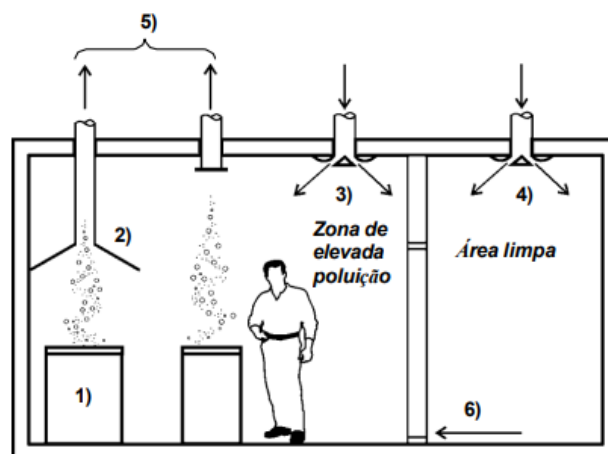
A ventilação, desempenha um papel fundamental na qualidade do ar interior, no conforto térmico para os utilizadores do espaço, bem como no consumo energético dos edifícios. A evolução feita no controlo da ventilação nos edifícios, tem vindo a tornar possível o dimensionamento da ventilação e a avaliação não só qualitativa (avaliação da qualidade do ar fornecido), mas também quantitativa (quantidade exata de ar renovado). Os avanços feitos nas estratégias da ventilação devem ser tidos em conta de forma a garantir que os edifícios sejam eficientes (Awbi, 2007).

A ventilação pode ter como objetivo:

- Controlo da qualidade do Ar: ao diluir os poluentes gerados internamente com ar externo mais puro, a ventilação consegue gerir a qualidade do ar interior;
- Arrefecimento Direto por Advecção: arrefecer diretamente o interior do edifício ao substituir ou diluir o ar quente interno com ar externo mais fresco, quando as condições são propícias;

- Arrefecimento Pessoal Direto: proporcionar arrefecimento direto aos ocupantes do edifício, direcionando ar externo mais fresco sobre eles, com velocidade suficiente para melhorar o transporte convectivo de calor e humidade dos ocupantes;
- Arrefecimento Noturno Indireto: arrefecer indiretamente o interior do edifício por meio do pré-arrefecimento de componentes termicamente massivos da estrutura do edifício ou de um sistema de armazenamento térmico, aproveitando o ar externo mais frio durante a noite (Emmerich, Dols and Axley, 2001).

O fluxo do ar e os fenómenos de transporte estão diretamente relacionados com os edifícios em si, uma vez que a função principal dos edifícios é criar um ambiente interior adequado para os ocupantes e/ou equipamentos neles contidos. Alguns parâmetros como a velocidade, turbulência, temperatura e humidade são importantes para o conforto térmico, além disso, também a composição do ar, conteúdo de partículas, odores etc., são igualmente parâmetros determinantes no dimensionamento da ventilação para garantir a qualidade do ar interior. Na Figura 1 são demonstrados os princípios de um sistema de ventilação para controlo da QAI (Awbi, 2007).



- 1) os processos de produção de poluição estão equipados com exaustão local;
- 2) as grelhas e aberturas de exaustão de ar estão localizadas acima das fontes de produção de poluição quente;
- 3) o ar é fornecido na zona ocupada nas divisões com elevada produção de poluição para reduzir a exposição dos ocupantes aos poluentes;
- 4) o ar limpo é fornecido às divisões sem produção específica de poluição;
- 5) o caudal total do ar de exaustão é superior ao do ar de alimentação nas salas com elevada produção de poluição;
- 6) o ar é transferido de zonas mais limpas para zonas mais poluídas através das aberturas nas paredes ou portas

Figura 1 - Princípios de controlo da qualidade do ar para ventilação, (Vent Dis Course 2004) (E, 2016)

A infiltração do ar pode resultar em efeitos indesejáveis, como o aumento das necessidades de aquecimento e arrefecimento de um espaço, e/ou introdução de correntes de ar em clima frio, uma vez que é muito difícil de ser controlada. Esses impactos podem ser minimizados por meio de métodos construtivos que impeçam a entrada não desejada de ar, contribuindo para a eficiência energética, mas é importante considerar que tais medidas podem ter impactos negativos na qualidade do ar interno e na integridade estrutural do edifício (Pinto, Manuel; da Silva, Fernando Marques; Freitas, 2005), (Bownass, 2002).

2.1.1. Ventilação Natural

A ventilação natural faz uso da diferença de temperaturas e das forças do vento, para estabelecer fluxos de ar entre o interior e o exterior. Apesar das forças do vento serem predominantes nos mecanismos desta ventilação, as variações de temperatura exercem uma grande influência nos padrões de fluxo dentro de um espaço e na natureza da troca com o exterior.

Este tipo de ventilação é atrativo para edifícios energeticamente eficientes em comparação a sistemas de ar condicionado. Apesar da ventilação natural estar muito condicionada pelas condições climáticas externas, a ventilação natural pode proporcionar condições de conforto térmico e QAI sem depender de sistemas mecânicos. Além disso, a ventilação natural, tem a vantagem de não ter consumos energéticos, baixo nível de ruído e baixa emissão de dióxido de carbono, sendo por isso mesmo cada vez mais considerada como alternativa à ventilação mecânica (Zhang *et al.*, 2021).

Embora a ventilação natural tenha as suas limitações, uma vez que dependem exclusivamente de processos naturais e sejam afetadas por flutuações de temperaturas e fatores de vento, os seus efeitos na conservação de energia e na saúde humana não devem ser ignorados. Estudos comprovam que sistemas de ventilação natural podem proporcionar aos ocupantes um ambiente interior confortável, atendendo aos requisitos de saúde respiratória se for bem projetada e com manutenção adequada (Zhang *et al.*, 2021).

O movimento do ar é causado por diferentes recursos de energia, incluindo o vento, o efeito de fluatibilidade (produzido por diferenças de densidade do ar interno e externo), ou ambos, diferença de humidade e energia mecânica que renovam o ar interior. O vento é, de longe, o componente mais significativo da força motriz na ventilação natural, especialmente nas estações quentes. A pressão de fluatibilidade em uma abertura ocorre devido à variação na densidade do ar como resultado da diferença de temperatura através da abertura. Para aberturas em alturas diferentes, a diferença de pressão entre elas deve-se ao gradiente vertical de densidade (Bownass, 2002; Zhang *et al.*, 2021).

A ventilação natural faz uso de várias estratégias de ventilação, tais como:

- Ventilação cruzada: ocorre quando o ar entra num espaço por uma ou mais aberturas de um lado, e o ar do ambiente sai por uma ou mais aberturas do outro lado do quarto ou edifício, conforme ilustrado na Figura 2. O fluxo de ar, nesse caso, ocorre principalmente devido à pressão do vento, e a pressão de fluatibilidade torna-se importante apenas se houver uma diferença significativa de altura entre as aberturas de entrada e saída. Os tipos de aberturas usadas para a ventilação cruzada podem ser aberturas pequenas, como ventiladores e grelhas, ou aberturas maiores, como janelas e portas (Bownass, 2002; Santos, 2017).

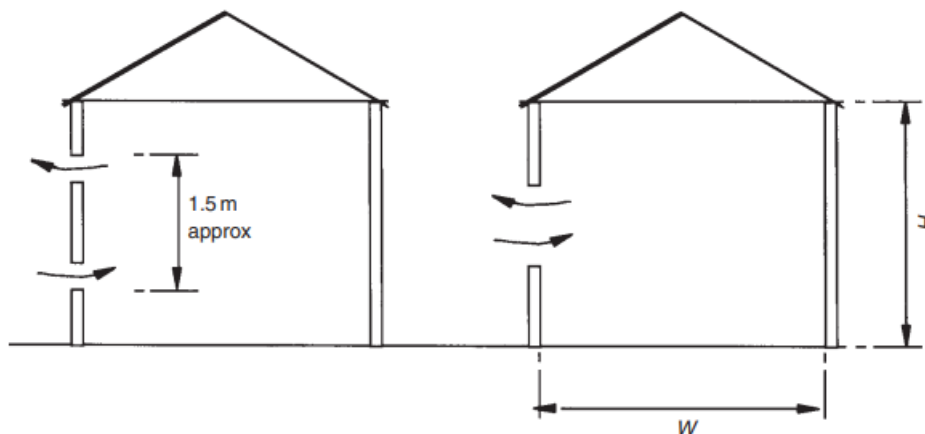


Figura 2 - Ventilação cruzada (Bownass, 2002)

- Ventilação unilateral: forma mais simples de ventilação natural de um edifício, em que uma abertura simples, como uma janela ou um dispositivo de ventilação, é usada para permitir que o ar exterior entre no edifício e que renove o ar interno, seja pela mesma abertura ou por outras localizadas na mesma parede, conforme mostrado na Figura 3. Com uma única abertura de ventilação, a principal força motriz é o vento, especialmente no caso de aberturas pequenas (Bownass, 2002; Santos, 2017).

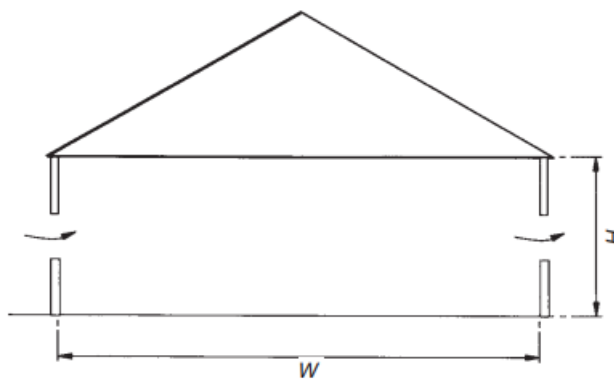


Figura 3 - Ventilação natural (Bownass, 2002)

Ventilação contínua

A ventilação contínua faz uso de dispositivos de entrada de ar usados para fornecer uma taxa mínima de ar fresco como ventilação de fundo (por exemplo, cerca de 5 l/s por ocupante). Embora alguns sejam equipados com amortecedores para abrir ou fechar, no uso normal, essas aberturas são mantidas constantemente abertas para fornecer um mínimo de ar fresco para manter uma qualidade de ar aceitável durante todo o período de ocupação. Para minimizar correntes de ar frio no inverno, essas aberturas devem estar localizadas em níveis elevados, no topo da estrutura da janela ou como parte do vão envidraçado em níveis elevados (Figura 4) (Bownass, 2002).

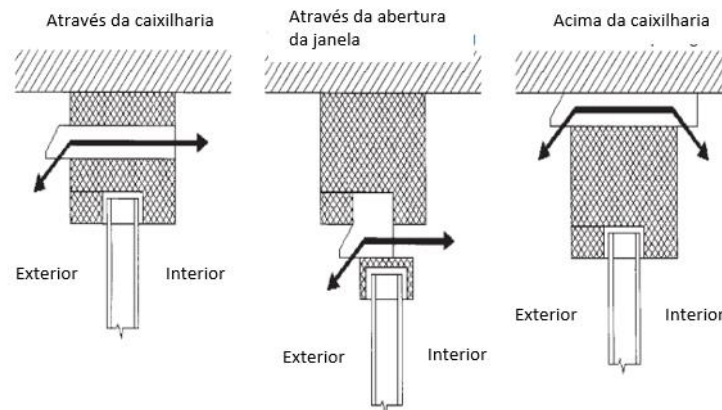


Figura 4 - Posicionamento de ventiladores contínuos (Adaptado de: (Bownass, 2002))

Estes dispositivos não conseguem lidar com elevadas concentrações de poluição que podem ocorrer durante os períodos de ocupação e atividade máxima, devendo ser utilizados em conjunto com outros tipos de aberturas de ventilação, como persianas ou janelas. Um dos problemas associados às aberturas de ventilação natural é a entrada de ruído do tráfego. Alguns ventiladores de fluxo contínuo vêm equipados com atenuadores de ruído, mas isso resulta numa maior queda de pressão e numa redução do fluxo de ar através destes (Bownass, 2002).

Vãos envidraçados

Existem uma variedade de tipos e tamanhos de vãos envidraçados, cada um com características de ventilação distintas. No entanto, o conhecimento sobre o desempenho específico de uma janela para ventilação natural é limitado, muitas vezes baseando-se em suposições teóricas sobre as forças motrizes e a área efetiva de abertura. Portanto, na prática, apenas é possível fazer uma estimativa aproximada da taxa de fluxo de ar através de uma abertura de janela. Embora alguns tipos de janelas sejam considerados superiores, essa avaliação geralmente se baseia em medidas qualitativas, tornando difícil quantificar as diferenças entre os tipos de janelas e suas limitações de aplicação (Bownass, 2002).

A característica do fluxo através de uma janela aberta está relacionada aos valores relativos das forças do vento e da flutuabilidade que atuam sobre ela. Se a pressão do vento for dominante e constante, o fluxo será unidirecional; no entanto, se a velocidade e a turbulência do vento variarem consideravelmente, ou se a força dominante for a flutuabilidade, ocorrerá um fluxo bidirecional pela janela aberta. Adicionalmente, o tipo de janela não apenas influenciará a área aberta para o fluxo de ar, mas também afetará as pressões do vento e da flutuabilidade na própria abertura da janela (Bownass, 2002).

Os principais tipos de janelas amplamente utilizados são ilustrados na Figura 5, com suas características apresentadas abaixo.

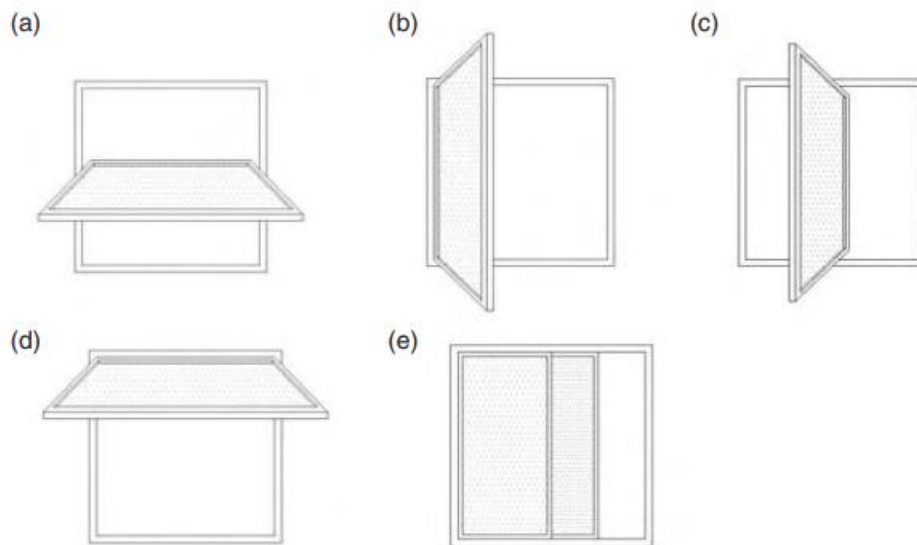


Figura 5 - Tipos de vão envidraçados. (a) Janela horizontal-pivot; (b) Janela de abertura lateral; (c) Janela pivot-vertical; (d) Janela oscilobatente; (e) Janela de correr (Bownass, 2002)

Caixas de estore

As persianas são aberturas de ventilação ajustáveis colocadas em uma abertura na fachada do edifício em diferentes locais e alturas para fornecer principalmente ventilação de fundo. As lâminas das persianas são feitas de vidro ou alumínio, sendo que alguns tipos incorporam atenuadores acústicos. Embora as aberturas das lâminas possam ser ajustadas, muitas vezes é difícil que estas sejam totalmente impermeáveis ao ar quando a ventilação não é necessária (Bownass, 2002).

Efeito chaminé

A diferença de temperaturas entre o ambiente externo e interno, provoca uma diferença de pressão entre estes dois ambientes, provocando o efeito chaminé. A distribuição de pressões na envolvente segue um padrão ilustrado na

Figura 6, assumindo-se, como hipótese, que a temperatura dentro do edifício é mais alta do que a temperatura exterior. Nessa situação, observa-se uma propensão para a entrada de ar frio do exterior nos níveis mais baixos da estrutura. Este ar é aquecido internamente, torna-se mais leve e tende a subir, saindo pelo topo do edifício. Esse processo é análogo ao mecanismo que impulsiona o funcionamento da chaminé de um fogão. Se a temperatura interna for inferior à atmosférica, a direção do movimento do ar dentro do edifício inverte-se em relação ao cenário descrito na

Figura 6 (Pinto, Manuel; da Silva, Fernando Marques;Freitas, 2005; Santos, 2017).

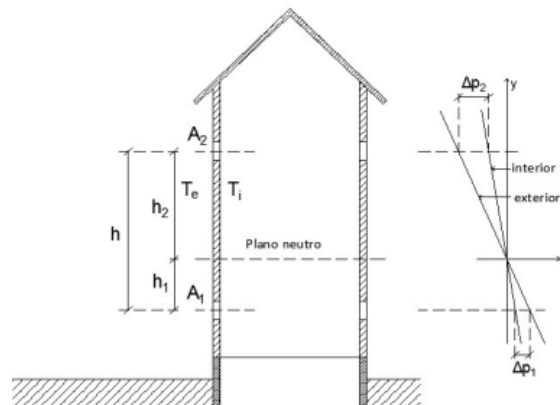


Figura 6 - Efeito chaminé (Santos, 2017)

2.1.2. Ventilação Mecânica

A ventilação mecânica é o processo de substituição do ar dentro de um espaço por meio de ventiladores mecânicos. Esses ventiladores garantem, de maneira controlada e contínua, a circulação do ar entre aberturas destinadas à entrada de ar exterior e aberturas conectadas a dutos para extração do ar. Há sistemas que envolvem tanto a introdução quanto a extração mecânica do ar, além de sistemas que utilizam apenas ventiladores para a extração. Na ventilação mecânica, o fluxo de ar é distribuído por meio de ventiladores e um arranjo de dutos em todo o edifício, sendo posteriormente distribuído no ambiente por meio de dispositivos terminais de ar ou difusores (ADENE, 2016),(Awbi, 2015).

Ventilação Mecânica Controlada (VMC)

A VMC, pode ser uma solução adequada uma vez que, consegue garantir a qualidade do ar interior e reduzir o desperdício de energia, enquanto introduzem a quantidade necessária de ar fresco nos espaços e conseqüentemente a extração do ar viciado, independentemente das condições do ar exterior em termos de pressão e temperatura. Ao fazer variar os caudais de insuflação entre um caudal máximo e mínimo, com base no sinal proveniente de um ou mais sensores de ambiente, estes dois parâmetros têm um impacto significativo na qualidade do ar interno e no consumo energético. Deste modo, a escolha destes caudais e a regulação dos mesmos, deve ser feita de forma estruturada de forma a não comprometer as vantagens da ventilação (Evola *et al.*, 2017; Soler&Palau, 2023).

Este tipo de ventilação é usualmente recomendado em habitações, ou seja, instalações unifamiliares, como moradias, e edifícios multifamiliares, tais como, prédios e apartamentos.

A vantagem dos sistemas de ventilação de mecânica controlada é que possibilitam a ventilação de toda a casa, tendo em conta as necessidades de cada divisão de acordo com o seu uso, de forma a garantir a qualidade do ar em cada espaço. Os sistemas de ventilação mecânica controlada fazem uso de duas tipologias: sistema de simples fluxo (por extração mecânica e

admissão natural) ou sistema de duplo fluxo (por extração e insuflação mecânica) (Soler&Palau, 2023).

No caso dos sistemas de simples fluxo presente na Figura 7, a admissão é feita por aberturas instaladas nas fachadas fazendo uso da pressão negativa criado pela extração do ar viciado. A extração ocorre através do uso de ventiladores, sendo estes instalados nas zonas húmidas, de forma a remover o ar saturado. Estes sistemas incluem um sistema de dutos que facilita a remoção do ar viciado dentro da habitação para o exterior. A principal diferença destes sistemas, que os distingue dos outros sistemas de ventilação, é a sua capacidade de renovar constantemente o ar, removendo por sua vez a humidade e odores desagradáveis, além de proporcionar facilidade na montagem da instalação (Soler&Palau, 2023)(Evola *et al.*, 2017).



Figura 7 - Sistema VMC de simples fluxo (Soler&Palau, 2023)

O sistema de simples fluxo que consta na Figura 7, pode ainda ser dividido em dois tipos: os autorreguláveis e os higrorreguláveis. Estes dois sistemas diferem na forma como ajustam a passagem de ar para atender às necessidades específicas.

Nos sistemas autorreguláveis, as aberturas de extração e os arejadores ajustam automaticamente a área de passagem de ar com base na pressão disponível, mantendo um fluxo constante de ventilação sem considerar diretamente a humidade do ambiente. No terminal existe uma membrana de silicone que responde às flutuações de pressão internas, mantendo a pressão estática e a taxa de ventilação quase constantes. A única exceção nesses sistemas é a unidade de extração na cozinha, que pode aumentar temporariamente o fluxo de ar até 135 m³/h, ativada por um interruptor ou controle remoto.

Nos sistemas higrorreguláveis, tanto os arejadores quanto as aberturas de extração ajustam automaticamente a superfície de passagem de ar com base na humidade da divisão em que estão localizados, assim como representado na Figura 8. Isso permite adaptar os caudais de ar às necessidades específicas do espaço, economizando energia e reduzindo o risco de condensação. Os terminais higrorreguláveis utilizam uma membrana de nylon que se expande ou contrai conforme a humidade do ar interno, ajustando a pressão estática percebida pelo ventilador e modificando seu ponto de operação na curva de desempenho. Estas unidades

conseguem variar o fluxo de ar entre 5 m³/h (HR≤30%) e 45 m³/h (HR≥70%) (Soler&Palau, 2023),(Evola *et al.*, 2016, 2017).

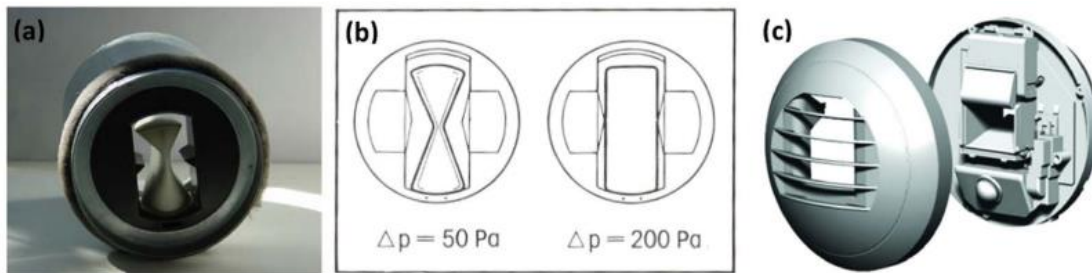


Figura 8 - (a,b) Terminal de extração de sistema autorregulável com membrana de silicone autoajustável; (c) Terminal de extração de sistema higrorregulável (Evola *et al.*, 2017)

No caso dos sistemas de duplo fluxo, a extração de ar ocorre nas zonas húmidas, como cozinhas e casas de banho, seguindo um processo semelhante aos sistemas convencionais, conforme ilustrado na Figura 9. A distinção principal está na substituição das entradas de ar da fachada por uma rede de condutas que direciona o ar fresco insuflado pelo ventilador para as áreas secas da habitação, como quartos e salas de estar (Soler&Palau, 2023).

É possível a colocação de um permutador de calor, com o objetivo de recuperar parte da energia do ar de extração para o ar de admissão. Isto permite aumentar a eficiência do sistema. Ao longo do ano, o diferencial térmico entre o ar extraído do interior da habitação e o ar exterior insuflado permite que o sistema funcione com eficiência. No inverno, o ar admitido é aquecido, enquanto no verão é arrefecido, utilizando o aproveitamento térmico do permutador de calor para reduzir o consumo de energia associado à climatização. Adicionalmente, os sistemas estão equipados com filtros incorporados, garantindo que o ar exterior insuflado nas áreas secas seja filtrado. Este aspeto é particularmente relevante em áreas mais poluídas, onde o ar externo pode conter partículas prejudiciais à saúde (Soler&Palau, 2023).



Figura 9 - Sistema de duplo fluxo (Soler&Palau, 2023)

A permeabilidade da envolvente do edifício é crucial para o desempenho desses sistemas, afetando tanto a qualidade do ar interno quanto o consumo de energia. Sistemas de simples fluxo têm dificuldades em manter a qualidade do ar em ambientes secos devido a infiltrações, enquanto sistemas de duplo fluxo com recuperação de calor são mais eficientes energeticamente, mas ainda dependem da permeabilidade para um desempenho ideal.

Análises de diferentes sistemas e níveis de permeabilidade mostram que a permeabilidade afeta principalmente a qualidade do ar nos sistemas de simples fluxo e o consumo de energia nos sistemas de duplo fluxo com recuperação de calor (Odriozola-maritorea *et al.*, 2015).

Os terminais higroajustáveis são ligeiramente mais caros do que os de autorreguláveis, mas o custo extra pode ser compensado pela economia de energia térmica. Na França, o CSTB (*Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*) estima que esses terminais podem reduzir as perdas de calor por ventilação entre 25% e 60%, dependendo das condições e do tipo de habitação. Além disso, o uso de sistemas VMC com recuperação de calor pode reduzir as necessidades energéticas totais em cerca de 20%. Sistemas VMC de duplo fluxo, se equipados com ventiladores de baixa energia e trocadores de calor eficientes, podem reduzir o consumo de energia primária em 25% em comparação aos sistemas de simples fluxo. No entanto, a eficiência desses sistemas é fortemente influenciada pela eficiência do aquecimento do espaço: quanto menor a eficiência do aquecimento, maior o benefício da recuperação de calor ('Impacts of Ventilation Strategies on Energy Consumption and Indoor Air Quality in Single-family Residences', 1986),(Evola *et al.*, 2017).

2.1.3. Requisitos da ventilação

Neste capítulo serão abordadas normas na legislação portuguesa que têm um impacto indireto na qualidade do ar interior que são requisitos da ventilação.

Caudal de ar novo

O caudal mínimo de ar novo para espaços comerciais e de serviços é determinado pelo valor máximo obtido a partir dos diferentes critérios, conforme o Manual SCE e o Decreto-Lei n.º 101-D/2020. De acordo com a Portaria n.º 138-I/2021: "Os seguintes espaços encontram-se isentos do cumprimento dos requisitos de caudal de ar novo previstos na alínea a): i) Corredores, balneários, instalações sanitárias, arrumos, armazéns, cozinhas, copas ou similares; ii) Espaços técnicos e locais sujeitos a requisitos de higiene e segurança no local de trabalho, relativos à renovação do ar interior, no âmbito da respetiva atividade, com fontes poluentes específicas e nos quais são manuseados produtos químicos ou biológicos. f) Nas situações em que exista recirculação de ar ou em que a ventilação do espaço se processe com recurso a ar transferido, este não deve ser proveniente de instalações sanitárias, cozinhas, arrecadações, parques de estacionamento, espaços com fumadores e outros espaços com fontes de contaminação identificadas."

Depois de determinado o caudal mínimo de ar novo este deve ser corrigido segundo a eficácia de remoção de poluentes da instalação, utilizando a Equação (1).

$$Q_{ANF} = \frac{Q_{AN_{min}}}{\varepsilon_v} \quad [m^3/h] \quad (1)$$

Na Equação (1) o Q_{ANF} é o caudal de ar novo mínimo em espaços dotados de ventilação mecânica expresso em $[m^3/h]$; $Q_{AN_{min}}$ é caudal de ar novo mínimo em $[m^3/h]$; ε_v corresponde ao à eficácia de remoção de poluentes.

Os valores de eficácia da remoção de poluentes a considerar de acordo com a Portaria n.º 353-A/2013 encontram-se na Tabela 1, sendo que no caso da ventilação for dotada de sistema de aquecimento e arrefecimento é necessário considerar o menor valor de ε_v .

Tabela 1 - Eficácia de remoção de poluentes (Adaptado de: (Energ, 2024))

Configuração da distribuição de ar na zona	ε_v
Insuflação pelo teto, ar frio	1
Insuflação pelo teto e extração junto ao pavimento, ar quente	1
Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8 °C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,8
Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8 °C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto, desde que o jato de ar de insuflação, tenha velocidade superior a 0,8 m/s e alcance até 1,4 m do pavimento	1 ⁽¹⁾
Insuflação de ar frio junto ao pavimento e extração/retorno junto ao teto, desde que o jato de ar de insuflação com uma velocidade de 0,8 m/s, tenha um alcance de 1,4 m ou mais, em relação ao pavimento	1
Insuflação de ar frio a baixa velocidade junto ao pavimento e extração junto ao teto, numa estratégia de ventilação do tipo deslocamento, proporcione um fluxo unidirecional e estratificação térmica	1,2
Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração junto ao pavimento, no lado oposto do compartimento	1
Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração/retorno junto ao teto	0,7
Admissão natural de ar no lado oposto do compartimento em relação ao ponto de extração/retorno mecânica	0,8
Admissão natural de ar junto ao ponto de extração/retorno mecânica	0,5
Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração/retorno junto ao teto, no mesmo lado do compartimento ou em localização próxima	0,5
Insuflação de ar frio junto ao teto e extração/retorno junto ao pavimento, do mesmo lado do compartimento ou em localização próxima	0,5

(1) Para velocidades mais baixas, $\varepsilon_v = 0,8$

Notas:

Ar frio – Ar insuflado a uma temperatura inferior ao ar do compartimento

Ar quente – Ar insuflado a uma temperatura superior ao ar do compartimento

“Junto ao teto” ou “pelo teto” – Inclui qualquer ponto acima da zona de respiração

“Junto ao pavimento” ou “no pavimento” – Inclui qualquer ponto abaixo da zona de respiração

Os critérios a ser considerados para o cálculo do caudal são:

1. Critério de Ocupação:

- **Método Prescritivo:** Utiliza a Equação (2) de acordo com a Portaria n.º 353-A/2013 para definir o caudal mínimo necessário para diluir poluentes gerados pelos ocupantes, com base no tipo de espaço e atividade dos ocupantes como consta a Figura 10.

$$Q_{AN} = n \cdot Q_{AN,M_{met}} \quad [m^3/h] \quad (2)$$

Na equação (2), Q_{AN} corresponde ao caudal de ar novo expresso em $[m^3/h]$; n corresponde ao número de ocupantes; $Q_{AN,M_{met}}$ é o caudal de ar novo por ocupante em $[m^3/(h \cdot \text{ocupante})]$, obtido através da Figura 10 (República, 2021; Energ, 2024).

Tipo de espaço	Tipo de atividade	Caudal de ar novo $[m^3/(h \cdot \text{ocupante})]$
Quartos, dormitórios e similares	Sono	16
Salas de repouso, salas de espera, salas de conferências, auditórios e similares, bibliotecas	Descanso	20
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	Sedentária	24
Salas de jardim de infância e pré-escolar e salas de creche		28
Laboratórios, <i>ateliers</i> , salas de desenho e trabalhos oficinais, cafés, bares, salas de jogos e similares	Moderada	35
Pista de dança, salas de ginásios, salas de <i>ballet</i> e similares	Ligeiramente alta	49
Salas de musculação, salas em ginásios e pavilhões desportivos e similares	Alta	98

Figura 10 - Caudal mínimo necessário por ocupante consoante a tipologia do espaço de acordo com a Portaria n.º 353-A/2013 (Energ, 2024)

Contudo, no caso de ser um espaço ocupado por pessoas com diversos tipos de atividade a equação (2) deixa de ser válida, e deve ser tido em conta a média ponderada do nível de atividade metabólica, recorrendo neste caso às equações (3) e (4) (Energ, 2024).

$$Q_{AN,ocupante} = M_{med} \cdot Q_{AN,1met} \quad [m^3/(h \cdot \text{ocupante})] \quad (3)$$

$$M_{med} = \frac{\sum_i (n_i \cdot M_{met_i})}{\sum_i n_i} \quad [met] \quad (4)$$

Na equação (3), $Q_{AN,ocupante}$ é o caudal de ar novo por ocupante corrigido pela atividade metabólica expressa em $[m^3/(h \cdot \text{ocupante})]$, M_{med} corresponde à média ponderada da taxa de metabolismo em $[met]$; $Q_{AN,1met}$ é o caudal de ar novo por ocupante para um nível de atividade metabólica igual a 1, assumindo o valor de 20 $[m^3/(h \cdot \text{ocupante})]$.

Na equação (4) n_i é o número de ocupantes do espaço com a atividade metabólica i em $[ocupantes]$; M_{met_i} é a taxa de metabolismo da atividade metabólica i expressa em $[met]$.

Os valores de taxa de metabolismo consoante o tipo de atividade do ocupante a considerar constam na Figura 11.

Tipo de atividade	M_{met} [met]
Sono	0,80
Descanso	1,00
Sedentária	1,20
Moderada	1,75
Ligeiramente alta	2,50
Alta	5,00

Figura 11 - Taxas metabólicas consoante o tipo de atividade (Energ, 2024)

- **Método Analítico:** Calcula o caudal necessário para manter os níveis de CO₂ dentro dos limites de proteção, considerando o perfil e as características físicas dos ocupantes, de acordo com o Manual SCE. Tendo isso por base, para a aplicação do método analítico é necessário definir a área e volume do espaço, número de ocupantes, taxa de metabolismo, área da superfície corporal e o perfil de ocupação do espaço.

Assumindo uma concentração de CO₂ exterior igual a 390 ppm, determina-se o caudal mínimo necessário para o cumprimento do limiar de proteção de níveis de CO₂ com o uso da equação (5) (Diário da República, 2021; Energ, 2024).

$$C_{int(t_i)} = C_{ext} + \frac{G_{CO_2}}{Q_{AN}} + \left(C_{int(t_{i-1})} - C_{ext} - \frac{G_{CO_2}}{Q_{AN}} \right) \cdot e^{-\left(\frac{Q_{AN}}{V}\right)(t_i - t_{i-1})} \quad [mg/m^3] \text{ ou } [m^3/m^3] \quad (5)$$

Na Equação (5), $C_{int(t_i)}$ corresponde à concentração de CO₂ no ar interior no instante t_i em $[mg/m^3]$ ou $[m^3/m^3]$; C_{ext} é o valor médio típico da concentração de CO₂ no ar exterior cuja unidade é $[mg/m^3]$ ou $[m^3/m^3]$; G_{CO_2} corresponde à taxa total de geração de CO₂ no espaço expressa em $[mg/h]$ ou $[m^3/h]$; Q_{AN} é o caudal de ar novo expresso em $[m^3/h]$; $C_{int(t_{i-1})}$ corresponde à concentração de CO₂ no ar interior no instante t_{i-1} de cada intervalo de tempo em $[mg/m^3]$ ou $[m^3/m^3]$; t é o instante genérico ou instante final de cada incremento de tempo em $[h]$; V corresponde ao volume de ar no interior do espaço em $[m^3]$.

Para o cálculo de G_{CO_2} , valor da taxa total de emissão de CO₂ pelos ocupantes, é necessário ter em conta o número de ocupantes bem como, a atividade metabólica e área corporal dos ocupantes, fazendo uso das equações (6), (7), (8) e os dados da Figura 12.

$$G_{CO_2} = (17000 \cdot A_{Du} \cdot M_{met,c}) \cdot n \quad (6)$$

$$G_{CO_2} = (0,0094 \cdot A_{Du} \cdot M_{met,c}) \cdot n \quad (7)$$

$$M_{met,c} = M_{met} + \Delta M_{met} \quad (8)$$

Nas equações (6), (7) e (8) A_{Du} é a área de DuBois da superfície corporal expressa em $[m^2]$; n é o número de ocupantes do espaço em [ocupantes]; $M_{met,c}$ corresponde à taxa de metabolismo corrigida em função da idade dos ocupantes expressa em [met]; ΔM_{met} é o acréscimo de taxa de metabolismo em função da idade. (Energ, 2024)

Idade dos ocupantes	A_{Du} [m ²]	ΔM_{met} [met]
Idade ≤ 3 anos	0,65	0,19
3 anos < Idade ≤ 6 anos	0,80	0,14
6 anos < Idade ≤ 9 anos	1,10	0,09
9 anos < Idade ≤ 11 anos	1,30	0,07
11 anos < Idade ≤ 14 anos	1,60	0,05
Idade > 14 anos	1,80	0,00

Figura 12 - Valores da área de DuBois e incremento de taxa de metabolismo atendendo a idade (Energ, 2024)

No caso de os ocupantes terem diversos tipos de composição corporal e atividade, deve ser feita a média ponderada do A_{Du} , área de DuBois da superfície corporal, e $M_{met,c}$, taxa de metabolismo dos ocupantes corrigida em função da idade, em função do número de ocupantes, tendo em conta os valores da Figura 11 (Energ, 2024).

Na condição da ausência de todos os dados necessários para o uso da equação (5), deve-se fazer uso da equação (9) em que é alcançado o regime estacionário para o cálculo do caudal de ar novo.

$$Q_{AN} = \frac{G_{CO_2}}{C_{lp} - C_{ext}} \quad [m^3/h] \quad (9)$$

Na equação (9), C_{lp} é o limiar de proteção para a concentração de CO₂ no ar interior expressa em [mg/m³] ou [m³/m³]; C_{ext} corresponde ao valor médio típico da concentração do CO₂ no ar exterior em [mg/m³] ou [m³/m³].

2. Critério do Edifício:

- Utiliza a equação (10) para determinar o caudal mínimo necessário para diluir poluentes provenientes dos materiais de construção, revestimentos e mobiliário, com base nas características específicas do edifício. No entanto, este critério de cálculo de caudal não se aplica a espaços cuja atividade pretendida seja “sono”, como consta nas diferentes tipologias de espaço da Figura 10 (República, 2021; Energ, 2024).

$$Q_{AN} = A_{espaço} \cdot Q_{AN,área} \quad [m^3/h] \quad (10)$$

Na equação (10), Q_{AN} corresponde ao caudal de ar novo expresso em [m³/h]; $A_{espaço}$ é a área de pavimento do espaço [m²]; $Q_{AN,área}$ é o caudal de ar novo por unidade de área expresso em [m³/(h.m²)].

Podendo-se consultar os valores a assumir de $Q_{AN,área}$, na Figura 13.

Situação do edifício	Caudal de ar novo [m ³ /(h.m ²)]
Sem atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos	3
Com atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos ⁽¹⁾	5
Com espaços em que a existência predominante (superior a 75%) de materiais de baixa emissão poluente ⁽²⁾	2
Piscinas (em que a área de referência é a área do plano de água)	20

(1) Lavandarias, perfumarias, farmácias, salões de beleza, lojas de animais, salas de aula de artes, laboratórios de escolas, estabelecimentos comerciais de mobiliário e de madeiras e outros similares

(2) Para a verificação da existência predominante de materiais de baixa emissão poluente deve ser considerada apenas a área exposta de revestimento de paredes, pavimentos e tetos, incluindo a superfície exposta de mobiliário fixo previsto em projeto

Figura 13 - Valor de caudal de ar novo por unidade de área consoante a situação do edifício (Energ, 2024)

2.2. Qualidade do ar interior (QAI)

A QAI, tem como principal objetivo garantir conforto e tornar o ar interior o mais saudável possível nos edifícios, através da ventilação nos mesmos. Com a ventilação do ar exterior é possível diluir os poluentes gerados nos espaços interiores de forma a garantir que são estabelecidas condições não prejudiciais à saúde humana e que não tenham impacto negativo no conforto dos utilizadores do espaço. Além da ventilação, a gestão da humidade, da filtragem e da exaustão do local, são fatores decisivos a ter em conta na redução dos poluentes (Persily, 2015).

A concentração dos poluentes no ar interior está diretamente relacionada com as características da ventilação e das condições exteriores ao edifício e as características do edifício em si. Para contrariar estas concentrações dos poluentes e proporcionar uma boa qualidade do ar interior é crucial ter uma ventilação de qualidade.

Os ocupantes de edifícios podem estar expostos a uma mistura de centenas ou milhares de poluentes no ar. O ar em um escritório moderno pode conter poluentes provenientes de diversas fontes, tanto dentro quanto fora do edifício. As concentrações de poluentes individuais frequentemente estão na ordem de milésimos dos limites de exposição ocupacional publicados, ou menos, mas ainda podem estar acima dos limiares de deteção de odores. Para conforto, a qualidade do ar interior pode ser considerada aceitável se:

- (a) não mais que 50% dos ocupantes conseguem detetar qualquer odor, e
- (b) não mais que 20% experimentam desconforto, e
- (c) não mais que 10% sofrem de irritação mucosa, e
- (d) não mais que 5% experimentam irritação, por menos de 2% do tempo (Humphreys and Nicol, 2015).

Apesar do arrefecimento e o aquecimento sejam igualmente fatores condicionantes do conforto, embora térmico também a QAI é determinante no conforto do utilizador. No entanto, ao contrário do conforto térmico, a QAI torna-se muito mais difícil para o utilizador perceber, e

especialmente quando as más condições do ar interior têm efeitos prejudiciais retardados. Contudo uma vez que certos poluentes não são possíveis de ser detetados pelo ocupante, é necessário recorrer métodos alternativos de controlo. A solução encontrada foi o estabelecimento de normas que os edifícios devem cumprir de forma a proporcionar uma QAI aceitável (Sherman, Walker and Logue, 2012).

2.2.1. Importância da QAI

O ar limpo em ambientes interiores tem uma influência muito importante na saúde humana. A grande maioria dos europeus passam mais de 90% do seu tempo em espaços interiores sendo que a maior parte dos >10 000 litros de ar que respiram diariamente é ar interior. Sendo que, a tendência será cada vez mais o uso de espaços interiores maioritariamente dentro das habitações da população por questões de comodidade.

As consequências da QAI na saúde humana dependem de vários fatores, contudo, estão diretamente relacionados com as concentrações de poluentes (tais como, poeiras, COV (compostos orgânicos voláteis), entre outros) e com as condições do ar em si (como por exemplo, a humidade e concentrações de dióxido de carbono) (Dodd and Donatello, 2020).

Existem vários estudos que provam a correlação entre a nossa saúde com a QAI, bem como, a influência da matéria particulada, isto é, pequenas partículas sólidas e líquidas encontradas no ar, face a outros poluentes.

Os principais elementos da matéria particulada incluem sulfatos, nitratos, cloreto de sódio, amônia, carbono negro, poeira mineral, partículas de combustão e água. Esta composição abrange uma mistura complexa de partículas sólidas e líquidas de substâncias orgânicas e inorgânicas suspensas no ar. O estudo do impacto destas partículas na saúde, veio a velar que a poeira fina pode representar um sério perigo para a saúde (Edition, 2022).

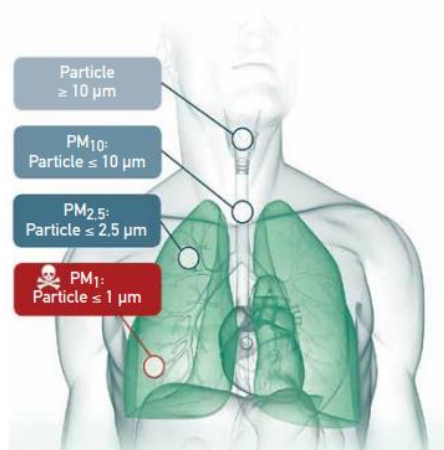


Figura 14 - Influência do tamanho de uma partícula face à sua absorção (Edition, 2022)

Analisando Figura 14, verifica-se que enquanto partículas com 10 μm , apenas atingem as condutas respiratórias, as partículas de 2,5 μm já conseguem penetrar os pulmões, no entanto, as partículas com 1 μm , são suficientemente pequenas para entrar na corrente sanguínea e ter um impacto negativo na saúde humana muito maior.

As doenças que mais se fazem notar associadas à exposição a ar interno contaminado por matéria particulada são:

- Alergias e Asma
- Cancro do pulmão
- DCV (Doenças Cardiovasculares)
- DPOC (Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica)
- Demência

Os estudos efetuados determinaram o impacto da QAI no peso das doenças. O peso das doenças é medido através do chamado DALY (Ano de Vida Ajustado por Incapacidade, do inglês: *Disability-Adjusted Life Year*). Esta medida baseada no tempo combina os anos de vida perdidos devido ao tempo vivido em estados de saúde inferiores ao pleno, tendo sido originalmente desenvolvida em 1990.

O peso total estimado das doenças atribuíveis à QAI na União Europeia é de aproximadamente 2 milhões de DALY por ano, o que significa que se perdem anualmente dois milhões de anos de vida saudável. À escala global, as perdas resultantes de uma QAI inadequada são grandes.

A poluição do ar exterior tem um significativo impacto na qualidade do ar interior, uma vez que a ventilação faz uso do ar exterior para a renovação do ar no interior dos edifícios. A exposição do ar interior a partículas finas prejudiciais para a saúde, provém principalmente de partículas contidas no ar exterior, sendo mais comum em zonas afetadas pelo tráfego intenso. A origem desta matéria está associada nomeadamente a fontes de combustão, tanto locais como distantes. Estas emissões são mais pronunciadas em áreas onde os níveis de poluição ultrapassam os valores típicos em ambientes rurais.

Contudo, por vezes é negligenciado um aspeto muito importante e determinante na diminuição do impacto negativo da saúde humana quanto à qualidade do ar interior. Em áreas fortemente poluídas, como zonas industriais intensas e centros urbanos com tráfego intenso, sem o uso de sistemas de filtragem do ar, mais de 90% das partículas nocivas do ar exterior, acabam a entrar nos ambientes internos.

De forma a contrariar a exposição destas partículas nocivas provenientes do ar exterior nos ambientes internos, é importante a correta aplicação de filtros de ar que tornem eficientes os sistemas de ventilação na redução da presença destas partículas (Edition, 2022).

2.2.2. Parâmetros condicionantes da QAI

A análise dos poluentes mais importantes deve ser realizada se houver alguma preocupação com a qualidade do ar que pode entrar no edifício através de janelas ou entradas de ar da ventilação (Humphreys and Nicol, 2015).

De acordo com a Portaria n.º 138-G/2021 foram estabelecidos valores limite da concentração de poluentes físico-químicos, representados na Figura 15 para edifícios de comércio e serviços novos que devem fazer o cumprimento dos limiares de proteção (Diário da República, 2021).

Revisão Bibliográfica

Poluentes	Unidade	Limiar de proteção	Margem de tolerância [%]
Partículas em suspensão (fração PM ₁₀)	[µg/m ³]	50	100
Partículas em suspensão (fração PM _{2,5})	[µg/m ³]	25	100
COV	[µg/m ³]	600	100
CO	[mg/m ³]	10	-
	[ppmv]	9	
CH ₂ O	[µg/m ³]	100	-
	[ppmv]	0,08	
CO ₂	[mg/m ³]	2250	30
	[ppmv]	1250	
Radão	[Bq/m ³]	300 i)	-

Figura 15 - Limiares de proteção e margem de tolerância para poluentes físico-químicos de acordo com a Portaria nº. 138-G/2021 (Diário da República, 2021)

Na Figura 16 é apresentado os limites de conformidade de acordo com a Portaria nº. 138-G/2021 para a concentração de CO em condições específicas em diferentes períodos.

Condição	Média temporal
[CO]Med < 100 [mg/m ³] (90 ppm)	15 min
[CO]Med ≤ 35 [mg/m ³] (30 ppm)	1 h
[CO]Med ≤ 10 [mg/m ³] (9 ppm)	8 h
[CO]Med ≤ 7 [mg/m ³] (6 ppm)	24 h

Figura 16 - Condições específicas para a verificação da conformidade do CO nas situações de excedência de acordo com a Portaria nº. 138-G/2021 (Diário da República, 2021)

Os limiares de proteção para os poluentes físico-químicos referem-se à temperatura de 20°C e à pressão de 1 atm (101,325 kPa), estando as margens de tolerância aplicáveis a edifícios novos e existentes, incluindo os renovados, sem sistemas mecânicos de ventilação de acordo com o previsto na Portaria nº. 138-G/2021. Embora os limiares de proteção indicados dizem respeito a um cenário de maior ocupação possível e a uma média de oito horas por dia estes valores continuam a ser valores de referência para a saúde dos ocupantes em ambiente interiores, uma vez que estão estabelecidos para serem adotados em edifícios de comércio e serviços em funcionamento. Além disso, está previsto Despacho n.º 1618/2022 definido que as amostragens devem ser realizadas durante um período mínimo de trinta minutos de forma a garantir a estabilização dos resultados, no caso dos poluentes físico-químicos, usando os limiares de proteção para os poluentes físico-químicos como referência nas medições (Diário da República, 2021; Edif, Jorge and Interior, 2022).

A OMS (Organização Mundial da Saúde), estabelece como diretrizes recomendadas da qualidade do ar os valores da Tabela 2. Nenhuma destas diretrizes está definida para exposição de curtos períodos, sendo estas diretrizes usadas como base para a legislação dos parâmetros físico-químicos da QAI por cada governo, dependendo da sua capacidade económica, técnica e de fatores sociais e políticos locais (World Health Organization's, no date).

Tabela 2 - Diretrizes para poluentes físico químicos da OMS (Adaptado de: (World Health Organization's, no date)

Poluente	Tempo de exposição	AQG [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
PM _{2.5}	Anual	5
	24 horas ^a	15
PM ₁₀	Anual	15
	24 horas ^a	45
O ₃	Média da concentração máxima diária ^b	60
	8 horas ^a	100
CO	24 horas ^a	4

^a Percentil 99 (ou seja, 3–4 dias de excedência por ano).

^bMédia da concentração máxima diária de O₃ em 8 horas nos seis meses consecutivos com a maior média móvel de seis meses da concentração de O₃.

Nota: A exposição anual e na média da concentração máxima diária é de longo prazo, enquanto a exposição de 24 horas e 8 horas é de curto prazo.

Os valores recomendados na Tabela 2, não fazem distinção entre a o ar externo e interior. Contudo, um recente estudo de Gunnarsen Lars, de diretrizes da QAI de todo o mundo mostra que para os poluentes físico-químicos mencionados na Portaria nº. 138-G/2021, não consta nenhuma diretriz para um curto período de exposição, inferior a oito horas, a não ser no caso do formaldeído, CH₂O. Existem diretrizes que definem que a concentração máxima de exposição a este poluente não deverá ser superior a 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, num período de quinze minutos, deverá estar entre abaixo de 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ em algumas diretrizes enquanto outras definem 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como valor máximo num período de trinta minutos. Num período de uma hora existem diretrizes que indicam que a concentração de CH₂O não deverá ser superior de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ enquanto outras definem como valor máximo 123 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pelo que o uso dos limiares de proteção definidos na Portaria nº. 128-G/2021, é relevante para o estudo da QAI em Portugal uma vez que está definido para as condições locais e apropriado aos fatores sociais e políticos locais, não havendo diretrizes que definam os limites recomendados por curtos períodos de exposição (Gunnarsen *et al.*, 2023).

Odores

O odor num espaço está associado à ocupação, cozinhar e atividades na casa de banho, contudo, é um parâmetro considerado para a qualidade do ar interior não tanto pelo seu impacto negativo na saúde dos ocupantes, mas antes pelo conforto. A capacidade olfativa humana permite detetar concentrações extremamente baixas de odores, embora essa sensibilidade varie de pessoa para pessoa. Indivíduos expostos a odores por longos períodos tendem a se tornar menos sensíveis a eles. O odor corporal é gerado por todas as pessoas devido à combinação de secreções de suor e sebáceas pela pele, bem como, pelo sistema digestivo humano. Geralmente, a redução do odor para níveis aceitáveis é alcançada ao introduzir ar fresco proveniente do ambiente externo no espaço ocupado (Bownass, 2002).

Dióxido de Carbono (CO₂)

A produção de dióxido de carbono (CO₂) através da respiração humana, pode ser calculada através da equação (11), que relaciona a taxa de produção de dióxido de carbono com a atividade metabólica.

$$G = 4 \times 10^{-5} \times M \times A \quad (11)$$

Na Equação (11), G é a produção de CO₂ [l/s]; M é a atividade metabólica [W/m²]; A corresponde à área de superfície corporal [m²].

Uma pessoa adulta média com uma atividade metabólica sedentária (M=70 W/m² e A = 1,8m²) gera aproximadamente 0,005 litros por segundo (18 litros por hora) de CO₂ (Dióxido de carbono) através da respiração. O seu ar expirado vai conter cerca de 4,4% de CO₂ em volume. Isto explica por que a concentração de CO₂ é frequentemente utilizada como indicador para controlar as taxas de ventilação do ar externo em um edifício, algo muito frequente na VMC. Quando há pessoas em um ambiente fechado, a concentração de CO₂ aumenta a partir de um valor médio de cerca de 0,04% no ar externo para um valor que depende da densidade populacional, taxa de ventilação do ar externo e eficiência do sistema de ventilação. Ao contrário de alguns outros poluentes (por exemplo, fumaça de tabaco), o CO₂ não pode ser filtrado, adsorvido ou absorvido, tornando-o um bom indicador da qualidade do ar interno. A concentração de CO₂ durante 8 horas de ocupação, deve ser abaixo de 0,1% (1000 partes por milhão, ppm) para evitar desconforto e dores de cabeça (Bownass, 2002).

Tabaco

O ato de fumar tabaco gera odores desagradáveis, especialmente para aqueles que não fumam, e alguns dos elementos presentes no fumo podem causar irritação nos olhos e nas vias nasais, com destaque para a acroleína. Produtos como alcatrão, nicotina e monóxido de carbono podem ter sérias consequências para a saúde dos fumantes e também para não fumantes expostos a ambientes com ventilação inadequada (fumo passivo). Alguns estudos indicam que a exposição ao fumo passivo pode estar relacionada ao desenvolvimento de câncer de pulmão. As recomendações para as taxas de introdução de ar externo com o objetivo de diluir o fumo do tabaco, apresentam variações. Em espaços amplos, como teatros, salas de reuniões públicas e escritórios de planta aberta, dados estatísticos sobre a população fumante podem ser utilizados para calcular as taxas de fluxo. Entretanto, em salas menores, será necessário empregar taxas de fluxo de ar mais elevadas para contemplar uma população fumante mais densa ou uma taxa de consumo de cigarros mais alta por pessoa (Bownass, 2002).

Monóxido de Carbono (CO)

A formação de monóxido de carbono é resultante de processos de combustão, especialmente em ambientes com baixas concentrações de oxigénio. Este gás caracteriza-se por ser um gás inodoro, insabor e incolor. Pode ser encontrado em fogões, tabaco e automóveis.

O monóxido de carbono tem impactos sérios na saúde humana, em concentrações baixas pode provocar dores de cabeça e sonolência, contudo, quanto maior a concentração deste gás mais sérios são os impactos na saúde humana. Em concentrações mais altas este gás pode provocar

problemas de concentração, visão e náuseas e em situações extremas pode mesmo levar à morte (Amaral, 2008).

A concentração de monóxido de carbono no ar interior pode variar significativamente num curto espaço de tempo, o que torna essenciais estratégias de medição contínua. Embora frequentemente monitorizado, o CO raramente é o foco principal dos estudos sobre qualidade do ar interior e exterior, possivelmente devido ao facto de ser impercetível aos nossos sentidos e de a sua inalação em níveis moderados não causar efeitos pulmonares imediatos. No entanto, a ausência de sintomas visíveis aumenta o risco de intoxicação gradual, que, em concentrações muito altas, pode resultar em morte súbita. Por isso, o monóxido de carbono é um poluente crucial na avaliação da qualidade do ar interior (Salthammer, 2024).

Formaldeído (CH₂O)

O formaldeído, também conhecido pela fórmula química CH₂O, é uma substância química amplamente presente nos ambientes tecnológicos modernos. Desempenha um papel significativo como conservante em cosméticos, produtos de higiene pessoal e embalagens de alimentos, frequentemente em concentrações de até 1%. A resina de UF (ureia-formaldeído), utilizada como agente de ligação em produtos laminados e como adesivo em produtos de madeira prensada, ganhou popularidade na década de 1970 devido às medidas de conservação de energia. Embora o UFFI (o isolamento de espuma de ureia-formaldeído) tenha sido amplamente utilizado em edifícios devido às suas propriedades térmicas e facilidade de moldagem, sua aplicação diminuiu devido à conscientização sobre os efeitos adversos à saúde associados à exposição ao formaldeído. No entanto, resinas de formaldeído continuam sendo amplamente empregadas na fabricação de materiais de construção, móveis, papel de parede, carpetes e têxteis. Além disso, produtos de consumo como papel, cosméticos, colas e desodorizantes também podem conter formaldeído. A queima de combustíveis e a fumaça do tabaco são fontes adicionais de formaldeído, este último podendo atingir até 40 ppm (Bownass, 2002).

É um gás incolor, contudo, contém um odor forte, tornando-o facilmente detetado pelo homem. A sua concentração em ambientes interiores pode variar entre 0,03 mg/m³ (0,02 ppm) e 0,06 mg/m³ (0,05 ppm). Sendo que para uma pessoa a exposição a este composto varia entre 0,3 e 0,6 mg, no entanto, se for fumador a exposição já pode chegar a 2 mg, considerando que fuma 20 cigarros por dia.

Os efeitos decorrentes da exposição ao formaldeído incluem sintomas como irritação nos olhos, dores de cabeça, náuseas e sensação de fadiga. Este poluente é comumente encontrado em concentrações nas atmosferas internas que podem causar irritação perceptível nos olhos e no sistema respiratório. A concentração mínima detetável por odor é de 0,06 mg/m³ (0,05 ppm), enquanto a concentração mínima de formaldeído que provoca irritação perceptível é de aproximadamente 0,1 ppm. Embora estes efeitos sejam a curto prazo a exposição a este poluente pode ter riscos a longo prazo, como doenças respiratórias crônicas, distúrbios menstruais em mulheres, síndrome gestacional, redução da aptidão em recém-nascidos, anomalias cromossômicas podendo até causar cancro nas cavidades nasal e oral, nasofaringe, garganta, pele e trato digestivo. Este poluente é comumente encontrado em concentrações nas

atmosferas internas que podem causar irritação perceptível nos olhos e no sistema respiratório. A concentração mínima detetável por odor é de 0,06 mg/m³ (0,05 ppm), enquanto a concentração mínima de formaldeído que provoca irritação perceptível é de aproximadamente 0,1 ppm (Amaral, 2008),(Huijbregts *et al.*, 2005),(Fang *et al.*, 2022),(Amaral, 2008).

Composto Orgânicos Voláteis (COV)

Os COV (Compostos Orgânicos Voláteis) são produzidos em ambientes internos a partir de diversas fontes. No entanto, não há uma definição clara das classes de COV presentes no ar interno, embora os pesquisadores os definam como compostos com pontos de ebulição entre 50 e 260 °C. Embora o formaldeído seja considerado um COV, ele geralmente é tratado separadamente porque requer técnicas de medição diferentes das usadas para a maioria dos outros COV. Em medições de ar interno, os COV muitas vezes são relatados como COVT (compostos orgânicos voláteis totais). Esses são geralmente dados como a soma das concentrações dos COV individuais. As principais origens de COV incluem os materiais utilizados no revestimento interno de edifícios, seus componentes e mobiliário, como aglomerados de madeira, colas, solventes e tintas. Além disso, produtos de limpeza e tabaco também são fontes de COV. Exemplos comuns de COV em ambientes internos incluem acetona, benzeno, fenol e tolueno. Os efeitos adversos decorrentes da exposição a concentrações elevadas desses compostos variam de acordo com o composto específico. Em geral, os sintomas mais comuns incluem dores de cabeça, fadiga, outros sintomas depressivos do sistema nervoso central, arritmias cardíacas, problemas hepáticos, irritação no sistema respiratório e irritação nos olhos. De ressaltar que alguns COV são reconhecidos como carcinogênicos, como é o caso do benzeno e do cloreto de vinilo (Bownass, 2002; Amaral, 2008).

Além disso, um estudo realizado por Andrzej Szczurek, sobre o uso dos COVs e CO₂ como indicadores da QAI, mostra que a concentração de COV deve ser considerada como indicador da QAI, apesar das limitações associadas aos métodos de medição deste poluente (Szczurek, Maciejewska and Pietrucha, 2015).

Ozono (O₃)

Ozono (O₃), está naturalmente presente no ar exterior, sendo sua concentração dependente da altitude e clima. Também é produzido em ambientes internos por aparelhos eletrostáticos e equipamentos de escritório, como fotocopiadoras e impressoras a laser. O O₃ é considerado um dos poluentes mais tóxicos regulamentados no ar interior, com potencial para efeitos adversos agudos e crônicos em seres humanos quando presente em altas concentrações. Parece causar alterações fisiológicas e patológicas significativas em animais e humanos expostos a concentrações encontradas em ambientes internos poluídos. A exposição de curto prazo (de horas a dias) a concentrações elevadas de O₃ pode provocar sintomas agudos, como asma, infecções respiratórias, ataques cardíacos e parada cardíaca. Por outro lado, a exposição prolongada (por anos) pode resultar em problemas de saúde crônicos, como parto prematuro, derrame, doenças pulmonares obstrutivas crônicas e doenças cerebrovasculares (Bownass, 2002), [21].

Radão

O radão é um gás radioativo natural, sem cor cheiro ou sabor, que se origina na degradação de Ra (rádio), presente em materiais de construção e em pequenas quantidades na crosta superior da Terra. O radão é gerado em rochas e solos em estado gasoso (exalação), sendo possível a sua concentração na atmosfera através de poros ou fissuras no solo. Ao ar livre, as concentrações deste gás são muito baixas pelo que não provoca risco na população. Contudo, a acumulação deste gás em ambientes internos a concentrações elevadas com exposição por períodos prolongados representa um risco à saúde. Os produtos resultantes do decaimento em estado sólido, acumulam-se em partículas de poeira e podem ser inalados e, conseqüentemente, depositados no tecido pulmonar, interagindo com este. A OMS afirma que, seguido do tabaco, o radão é um dos agentes que mais impacto tem no cancro do pulmão, especialmente em fumadores e ex-fumadores. Estima-se que a exposição de radão em ambientes internos a uma concentração de 0,100 ou 800 Bq/m³ a pessoas que nunca fumaram está associado um risco de morrer de cancro de pulmão antes dos 75 anos de idade de 4, 5 ou por mil, respetivamente. Em contrapartida, para um fumador, os riscos respetivos seriam de 100,120 e 220 por mil. Embora para ex-fumadores os riscos associados às concentrações de radão sejam menores que para fumadores, estes são mais elevados que para não fumadores (Font and Baixeras, 2003; Briones *et al.*, 2023),(Salud, no date).

A concentração deste gás em ambientes internos depende de fatores intrínsecos naturais, tais como, a composição e permeabilidade dos solos, a permeabilidade da envolvente do edifício em contato com o solo e a estanqueidade da envolvente do edifício. Além destes fatores, também o regime de ocupação, ventilação, variáveis meteorológicas contribuem para a variação das concentrações do radão. O movimento do radão para o interior dos edifícios dá-se por difusão (diferenças de concentração), convecção (diferenças de pressão) (Javier, González and Adán, 2009).

Cerca de 50% da radiação à qual os seres humanos são expostos é proveniente desse gás. Os níveis de concentração deste gás num edifício dependem da localização do edifício, bem como os materiais utilizados na construção. Algumas das fontes típicas de radão nos ambientes interiores podem ser consideradas na Figura 17 (Briones *et al.*, 2023).

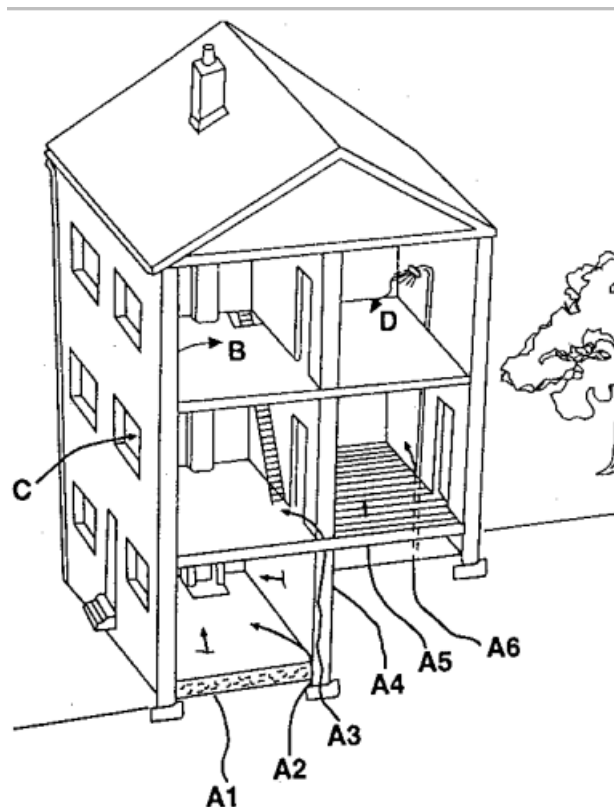


Figura 17 - Fontes típicas de radão. (A1 – fendas no piso; A2 – Juntas de construção; A3 – Fendas nas paredes; A4- Fendas nas paredes da cave; A5 – Fendas no piso sobre a caixa de ar; A6 – Fendas em torno das canalizações; B – Emissões dos materiais de construção; C – Ar exterior; D – Água.) (Profile, 2015)

2.3. Estratégias de ventilação para a QAI

A ventilação desempenha um papel fundamental na manutenção da qualidade do ar interior.

Seppänen e Fisk (2004) e Fisk e Seppänen (2007) resumem o efeito da ventilação no que respeita à saúde e à produtividade:

- Uma maior ventilação reduz a prevalência de doenças infecciosas transmitidas pelo ar;
- As taxas de ventilação inferiores a 10 L/s por pessoa estão associadas a uma prevalência significativamente mais elevada de um ou mais problemas de saúde ou de percepção da qualidade do ar;
- Os aumentos das taxas de ventilação acima de 10 L/s por pessoa, até cerca de 20 L/s por pessoa, estão associados a uma diminuição significativa da prevalência dos sintomas da SBS (Síndrome do edifício doente, do inglês: Sick Building Syndrome) ou a melhorias na percepção da qualidade do ar;
- O aumento da ventilação até 17 L/s pode melhorar o desempenho das tarefas e a produtividade (Ç, 2016).

A percepção da qualidade do ar não considera os impactos na saúde dos poluentes. Certas substâncias têm impactos na saúde abaixo dos limiares de odor e irritação, sendo, portanto, a qualidade do ar perceptível um indicador não fiável para os riscos associados à saúde. O surto de doenças respiratórias infecciosas, especialmente o COVID-19, salientou a importância de ventilação nos edifícios. Neste caso, os níveis de CO₂ podiam ser utilizados como um indicador de exposição ao ar exalado pelos ocupantes, e por sua vez à concentração de organismos prejudiciais à saúde transportados pelo ar (Yang *et al.*, 2021).

Deste modo, o dimensionamento correto de ventilação é essencial para uma boa qualidade do ar. A ventilação permite a introdução de ar novo e a diluição dos poluentes gerados pelos ocupantes no interior dos espaços, assim como COV, formaldeído e CO₂. Contudo, a ventilação pode permitir o aumento de concentrações de poluentes provenientes do ar exterior, assim como, PM_{2.5}. A avaliação destes poluentes no ar interior é determinante em zonas onde a concentração destes poluentes é elevada no ar exterior (Ji, Chen and Zhao, 2021).

Em Portugal, o IQAr (Índice da Qualidade do Ar), tem sido “Bom”, algo que se manteve no ano 2021. Contudo em 2022, constata-se um decréscimo de 3,3% de dias com índice de qualidade do ar “Muito bom” e “Bom” face ao ano 2022 e um aumento de 0,9% na quantidade de dias em que o índice de qualidade do ar foi classificado como “Fraco” e “Mau”. Estes resultados indicam um leve agravamento na qualidade do ar em comparação a 2020, isto deve-se ao facto de em 2021 ter ocorrido um retorno às atividades sociais e económicas do país para níveis mais próximos da realidade, após a interrupção causada pela pandemia de COVID-19. As concentrações de partículas inaláveis, como por exemplo PM₁₀, de acordo com o Decreto-Lei n.º 102/2010 não devem exceder a concentração média diária de PM₁₀ DE 50 µg/m³, concentração esta que não deve ser excedida mais de 35 vezes por ano civil. De acordo com o Relatório do Estado do Ambiente 2022/2023, no ano 2021 na maior parte das zonas e aglomerações que monitorizam as PM₁₀ verificou-se que os valores obtidos não ultrapassavam o limite diário permitido. Nas poucas zonas onde houve excedências, o número de dias em que esses valores foram ultrapassados foi bastante inferior ao máximo permitido. Ao analisar a Figura 18, verifica-se esta situação, mostrando que, na maior parte das zonas, o valor limite diário de PM₁₀ foi respeitado, e nas zonas onde este valor limite foi excedido, o número de dias de excedência é bastante reduzido (Ambiente, no date; ‘Ambiente 2022/2023’, 2023).

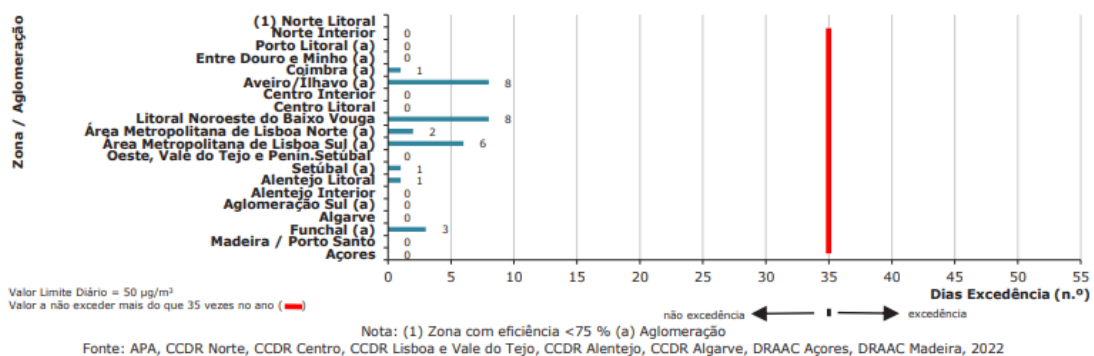


Figura 18 - Excedências ao valor limite diário de PM₁₀ em 2021 (‘Ambiente 2022/2023’, 2023)

Estudos realizados na investigação da influência de PM_{2.5} na utilização da ventilação natural em nove cidades europeias, inclusive em Lisboa, concluem que nas horas mais adequadas para a ventilação natural por razões climáticas, os níveis de PM_{2.5} ao ar livre tendiam a ser baixos (Chen *et al.*, 2019).

Embora sejam estabelecidos valores limite na Portaria n.º 138-G/2021 de forma a assegurar a QAI por meio da ventilação, o impacto efetivo na QAI é mais complexo. Quanto mais ar externo se introduz, a ventilação pode aumentar as concentrações internas de poluentes originários do exterior, enquanto reduz os emitidos internamente. Deste modo a qualidade do ar externo da zona em estudo é um fator importante, especialmente, no uso de ventilação natural (Ben-David and Waring, 2016).

Existe uma diferença considerável nos efeitos da ventilação natural face à ventilação mecânica nas exposições internas. A ventilação natural permite o aumento de concentração de poluentes do ar externo no ar interno, devido a uma taxa de renovação de ar mais elevada, especialmente quando o nível de concentração de poluentes de ar externo é desfavorável. Um estudo realizado por Ben-David and Waring, mostra que as taxas de renovação de ar na ventilação mecânica apenas variaram no intervalo de 38% a 40% enquanto, na ventilação natural são registados os valores mais elevados e mais dispersos, a variarem entre 26% a 53 %. Edifícios com ventilação mecânica têm a capacidade de reduzir as concentrações de PM (partículas suspensas no ar) em ambientes internos utilizando estratégias de ventilação que espaços ventilados naturalmente não conseguem, mesmo quando as taxas de ventilação são elevadas. Isto deve-se ao facto dos edifícios com ventilação mecânica fazem uso de filtros de PM no ar fornecido que purificam o ar externo de poluentes, já na ventilação natural não ocorre este processo de filtragem. Foram efetuados estudos em três escritórios com ventilação mecânica nos quais os filtros se revelaram eficazes no controle das concentrações internas de PM de origem externa, alcançando eficiências entre 26% e 47% para partículas finas e ultrafinas (Ben-David and Waring, 2016; Chen *et al.*, 2019).

Apesar dos problemas associados à ventilação natural do ar no que respeita à qualidade do ar interior, este tipo de ventilação, tem a vantagem de ser uma alternativa mais sustentável em comparação à ventilação mecânica para manter o conforto térmico e fornecer ar fresco aos ocupantes do edifício. Em Portugal, os edifícios representam aproximadamente 30% do consumo total de energia. Do total de energia consumida, o aquecimento, a ventilação e o ar condicionado representa 50% da energia consumida num edifício. A ventilação natural como única forma de ventilação não é viável, visto que, está condicionada pelas estações e clima em todas as épocas do ano. No entanto, abordagens híbridas também são possíveis, utilizando um sistema de recirculação mecânica para complementar a ventilação natural e satisfazer as necessidades do edifício. Quando os edifícios são projetados de forma a tirar total proveito dos efeitos do vento natural e da ascendência na troca de ar, a utilização da ventilação natural não só contribui para a economia de energia, visto que diminui o consumo energético de ventilação mecânica, mas também pode ter efeitos consideráveis na saúde dos ocupantes, diminuído os problemas de saúde associados ao ar interior (Alves, Alves and Lobarinhas, 2017; Chen *et al.*, 2019).

Se um edifício com ventilação natural estiver localizado numa área com poluição considerável, o impacto na saúde dos ocupantes supera os benefícios energéticos deste tipo de ventilação. Para garantir a saúde dos ocupantes a longo prazo, é essencial considerar a influência dos poluentes do ar externo no uso da ventilação natural no dimensionamento da ventilação. Pode ser exceção situações em que existem fontes significativas de poluentes do ar interno, como materiais de construção altamente emissivos. Nestes casos, a ventilação natural revela-se mais eficiente na diminuição das concentrações de poluentes no ar interno, em comparação à ventilação mecânica (Chen *et al.*, 2019).

2.3.1. Filtragem

O principal objetivo da estratégia de ventilação é proporcionar aos ocupantes um fornecimento de ar saudável. Isto implica a filtragem dos poluentes prejudiciais à saúde que poderiam ser expostos através das entradas de ar exterior (Dodd and Donatello, 2020).

A qualidade de um filtro depende da percentagem de poeira que este é capaz de reter.

A eficiência de um filtro na separação de partículas pode ser descrita como a eficiência de separação, isto é, eficiência fracionária. Esta eficiência define-se como a razão entre o número de partículas de um tamanho específico, que se depositaram no filtro, e o número total de partículas desse tamanho a montante do filtro. Ao especificar o desempenho do filtro é importante ter a certeza sobre o tamanho das partículas no qual os dados estão baseados e se estão definidos em termos de quantidade ou massa. Usualmente, a aplicação de filtros em sistemas AVAC e ventilação de edifícios, utiliza um meio de filtrante de fibra, onde o tamanho médio dos poros é significativamente maior do que o tamanho da partícula a ser retida (Guidebook, 2017).

Para a correta seleção do filtro a utilizar na ventilação, existem vários parâmetros que devem ter sido em conta. De acordo com a EN 16798-3, a seleção dos diferentes níveis de filtragem presente na Figura 19, deve ser feita em função da ODA (qualidade do ar exterior, do inglês: *Outdoor air quality*) e da qualidade pretendida para o SUP (ar tratado a insuflar, do inglês: *Supply air class*). A classificação da ODA e a qualidade pretendida para o SUP, devem ser feitas através da Tabela 3 e Tabela 4, respetivamente (Guidebook, 2017).

Outdoor air quality	Supply air class				
	SUP1 (Highest)	SUP2	SUP3	SUP4	SUP5 (lowest)
ODA (P) 1	88%	80%	80%	80%	Not specified
ODA (P) 2	96%	88%	80%	80%	60%
ODA (P) 3	99%	96%	92%	80%	80%

Figura 19 - Eficiência de filtragem de acordo com a EN 16798-3 no caso de poluentes sólidos (Guidebook, 2017)

Tabela 3 - Classes de ODA de acordo com EN 16798-3 3 (Adaptado de: (M-, 2017))

Categoria	Caracterização
ODA 1	ar puro, temporariamente com poeiras (p.e., pólen)
ODA 2	ar com altas concentrações de partículas e/ou poluentes gasosos
ODA 3	ar com muito altas concentrações de poluentes gasosos e/ou partículas em suspensão

Tabela 4 - Classificação de SUP de acordo com a norma EN 16798-3 (Adaptado de: (M-, 2017))

Categoria	Descrição
SUP 1	Ar com muito baixo nível de concentração de partículas e/ou gases
SUP 2	Ar com baixo nível de concentração de partículas e/ou gases
SUP 3	Ar com um nível médio de concentração de partículas e/ou gases
SUP 4	Ar com alto nível de concentração de partículas e/ou gases
SUP 5	Ar com muito alto nível de concentração de partículas e/ou gases

No caso de poluentes gasosos a norma propõe a seleção da filtragem de acordo com a Figura 20. A classificação do ODA em relação aos poluentes gasosos, deve ser feita de acordo com a Tabela 5, considerando-se ODA 1, ODA 2 e ODA 3 a corresponder a ODA (G)1, ODA (G)2 e ODA (G)3, respetivamente.

Outdoor air quality					
	SUP 1	SUP 2	SUP 3	SUP 4	SUP 5
ODA (G)1	recommended				
ODA (G) 2	required	recommended			
ODA (G)3	required	required	recommended		
G = Gas filtration; should be considered if design SUP quality category is above design ODA quality category. Dimensioning should be done in accordance with EN ISO 10121-1 and EN ISO 10121-2.					

Figura 20 - Eficiência de filtragem de acordo com a EN 16798-3 no caso de poluentes gasosos (M-, 2017)

Tabela 5 - Classificação do ODA em função dos poluentes gasosos de acordo com a norma EN 16798-3

Categoria	Descrição
ODA 1	Aplica-se quando as diretrizes da OMS ou os padrões nacionais de qualidade do ar são cumpridas
ODA 2	Aplica-se quando as concentrações de poluentes excedem as diretrizes da OMS ou os padrões nacionais por até 1,5 vezes.
ODA 3	Aplica-se quando as concentrações de poluentes excedem as diretrizes da OMS ou os padrões nacionais por mais de 1,5 vezes.

Ao classificar o ODA em função dos poluentes gasosos, é importante considerar não só poluentes individuais, mas também misturas de poluentes, levando em conta tanto a toxicidade quanto a reatividade dos gases, como monóxido de carbono, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogénio e COVs.

Atualmente, a norma europeia em vigor EN 16890 relativa a filtros veio a criar algumas alterações relativamente á classificação de eficiência para filtros, enquanto, na norma EN 779 a classificação de filtros médios e finos é baseada em partículas de 0,4 µm tal como consta na Figura 21, a norma EN 16890, Figura 22, define a eficiência de acordo com as várias frações de tamanho de partícula, isto é PM₁₀, PM_{2.5} e PM₁. Apesar dos métodos de medição e os dispositivos de teste serem semelhantes entre as normas, existem diferenças conforme o estudado na Figura 23 que devem ser salientadas (Guidebook, 2017; Edition, 2022).

Filter Type	EN 779 Class	Average Arrestance (Am) (%)	Average Efficiency (Em), 0,4 µm (%)	Final Test Pressure Drop (Pa)	Minimum Efficiency 0,4 µm (%)
Coarse filter	G1	50 ≤ Am < 65	-	250	-
	G2	65 ≤ Am < 80	-	250	-
	G3	80 ≤ Am < 90	-	250	-
	G4	90 ≤ Am	-	250	-
Medium filter	M5		40 ≤ Em < 60	450	-
	M6		60 ≤ Em < 80	450	-
Fine filter	F7	-	80 ≤ Em < 90	450	35
	F8	-	90 ≤ Em < 95	450	55
	F9	-	95 ≤ Em	450	70

Figura 21 - Classificação de filtros de acordo com EN 779:2012 (Guidebook, 2017)

PM1 classification	PM2,5 classification	PM10 classification	Coarse
ePM1[95%]	ePM2.5[95%]	ePM10[95%]	Arrestance reported in full 5%
ePM1[90%]	ePM2.5[90%]	ePM10[90%]	
ePM1[85%]	ePM2.5[85%]	ePM10[85%]	
ePM1[80%]	ePM2.5[80%]	ePM10[80%]	
ePM1[75%]	ePM2.5[75%]	ePM10[75%]	
ePM1[70%]	ePM2.5[70%]	ePM10[70%]	
ePM1[65%]	ePM2.5[65%]	ePM10[65%]	
ePM1[60%]	ePM2.5[60%]	ePM10[60%]	
ePM1[55%]	ePM2.5[55%]	ePM10[55%]	
ePM1[50%]	ePM2.5[50%]	ePM10[50%]	
Requirement	Requirement	Requirement	No discharge requirement
> 50% initial eff	> 50% initial eff	> 50% initial eff	
> 50% discharged eff	> 50% discharged eff	No minimum discharge efficiency	

Figura 22 - Classificação de filtros de acordo com EN ISO 16890-1:2016 (Guidebook, 2017)

EN 779: 2012	EN ISO 16890 – range of actual measured average efficiencies		
Filter class	ePM ₁	ePM _{2,5}	ePM ₁₀
M5	5% - 35%	10% - 45%	40% - 70%
M6	10% - 40%	20% - 50%	60% - 80%
F7	40% - 65%	65% - 75%	80% - 90%
F8	65% - 90%	75% - 95%	90% - 100%
F9	80% - 90%	85% - 95%	90% - 100%

Figura 23 - Comparação entre a norma EN 779 e EN ISO 16890 (Edition, 2022)

De forma a garantir a eficiência mínima que consta na Figura 24, é importante fazer uso de mais do que uma classe de filtros, isto é, a filtração numa primeira instância com o uso de filtros de classe mais grosseira, G1 a G4, antes dos filtros médios e finos da classe M e F (Guidebook, 2017).

Group designation	Requirement			Class reporting value
	ePM _{1,min}	ePM _{2,5,min}	ePM ₁₀	
ISO Coarse	-	-	50%	Initial grav. arrestance
ISO ePM ₁₀	-	-	50%	ePM ₁₀
ISO ePM _{2,5}	-	50%	-	ePM _{2,5}
ISO ePM ₁	50%	-	-	ePM ₁

Figura 24 - Requisitos mínimos de filtração (Guidebook, 2017)

Além do uso de filtros, são estabelecidas taxas mínimas de trocas de ar para evitar que os níveis de CO₂, humidade e poluentes provenientes de matérias ou atividades no interior se tornem num desconforto para o utilizador, tendo por base a ocupação de pessoas nos espaços e na utilização do espaço em si (Godishi, 1996; Dodd and Donatello, 2020).

2.3.2. Eficácia de remoção de poluentes

A eficácia de remoção de poluentes através da ventilação envolve a caracterização do comportamento de mistura do ar e a distribuição de poluentes em um espaço. Ela é dividida em eficiência de troca de ar, que mede a mistura do ar novo com o existente, e eficácia na remoção de poluentes, que avalia a diluição e remoção de poluentes internos.

A aplicação desses conceitos é complexa em estruturas com ventilação natural ou vazamentos, devido à variabilidade do fluxo de ar causada por condições climáticas. A falta de uniformidade na terminologia também complica o tema. Há índices que utilizam valores médios da sala para avaliar o desempenho geral do sistema de ventilação, enquanto valores específicos indicam áreas onde a ventilação pode ser inadequada. Esses conceitos podem ser aplicados a edifícios

inteiros, zonas específicas ou áreas dentro de uma zona, como a "zona de ocupação". ('AIVC Guide to Ventilation i', no date)

A eficiência de um sistema de distribuição de ar depende de sua capacidade para remover poluentes do espaço ventilado e distribuir a energia térmica do ar de insuflação. A ventilação geral pode ser eficaz para manter os bioefluentes humanos, como CO₂, em níveis aceitáveis e também controlar outros poluentes gerados nos espaços dos edifícios. No entanto, a mistura do ar muitas vezes não é uniforme, e podem existir áreas dentro de um espaço fechado onde o ar de insuflação não penetra adequadamente. A eficiência da ventilação é influenciada pelo caudal de ar e pelo comportamento de mistura do ar, que pode ser afetado por muitos fatores, como a escala de turbulência, o layout e as dimensões da sala, a distribuição e o tamanho dos caminhos de infiltração, a configuração das entradas e saídas de ar, as características dos difusores, a velocidade do ar de entrada e o caudal de ar, bem como a localização e o tamanho das fontes de calor. Esses fatores fazem com que o padrão de fluxo de ar seja único para cada espaço e varie continuamente em resposta a mudanças na taxa de ventilação, na taxa de infiltração e nas variações térmicas. Conceitos de eficiência de troca de ar medem o grau de mistura do ar sob condições específicas. Fenômenos de curto-circuito, associados ao tipo e localização dos difusores e grelhas, temperaturas elevadas do ar e baixas velocidades de descarga, podem comprometer essa mistura e, conseqüentemente, a eficácia da ventilação. Apesar de reconhecidos como problemas em edifícios, poucos estudos avaliaram a adequação da mistura do ar de ventilação externa (Godishi, 1996), ('AIVC Guide to Ventilation i', no date), (Awbi, 2017).

A eficácia na remoção de poluentes é influenciada não apenas pela posição dos poluentes em relação ao padrão de fluxo de ar, mas também pela área da fonte de poluição e suas propriedades, como a densidade. A mistura inadequada do ar representada na Figura 25 pode ocorrer devido a fenômenos como curto-circuito, onde o ar de insuflação não penetra de forma eficiente em todas as áreas do ambiente, resultando em áreas onde a ventilação não alcança de maneira adequada. A eficácia na remoção de poluentes é medida pela relação entre a concentração de poluentes no ponto de exaustão e a concentração média na sala ou zona. Em casos de mistura completa, essa eficácia é 100%, enquanto para o fluxo de pistão, a eficácia pode ser maior ou igual a 100%, dependendo da localização da fonte de poluição. No entanto, quando ocorrem fenômenos de curto-circuito, a concentração de poluentes pode ser maior na sala do que no ponto de exaustão, resultando em uma eficácia de remoção que varia entre zero e 100% ('AIVC Guide to Ventilation i', no date; Skaaret, 1986; Novoselac, 2003).

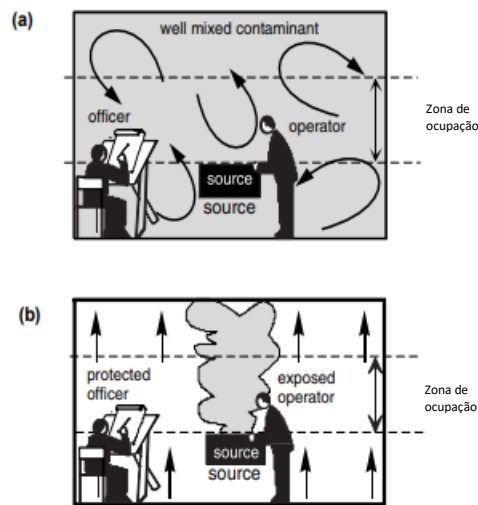


Figura 25 - (a) Mistura de ar uniforme (b) Não ocorre mistura de ar ('AIVC Guide to Ventilation i', no date)

No caso da insuflação e extração pelo teto a mistura do ar encontra-se representada na Figura 26. Este sistema de ventilação utiliza o impulso do ar insuflado e a flutuabilidade térmica para direcionar o fluxo de ar no ambiente interior. O ar insuflado é impulsionado ao longo de uma superfície (geralmente parede ou teto), enquanto a flutuabilidade térmica – causada pela diferença de temperaturas entre o ar insuflado e o ar ambiente – reforça esse movimento. (Yang *et al.*, 2019)

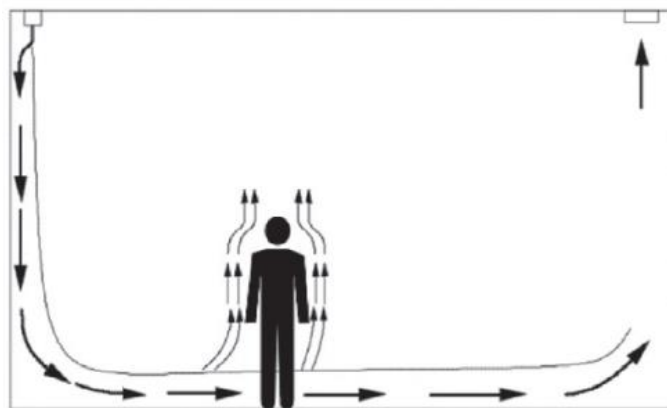


Figura 26 - Mistura do ar num cenário de insuflação e extração pelo teto (Yang *et al.*, 2019)

A distribuição do fluxo de ar é definida pela difusão do impulso do ar e pela elevação da pluma térmica, caracterizada por uma diferença de temperatura significativa e uma velocidade do ar relativamente alta. Este tipo de ventilação é projetado de forma a assegurar o conforto térmico na área ocupada, promovendo a estratificação da temperatura e da concentração de poluentes. A qualidade do ar entre os pontos de insuflação e extração permanece próxima à do ar que está a ser insuflado, contribuindo assim para um ambiente interior saudável para os seus ocupantes. A eficácia na remoção de poluentes varia entre os 50 a 100%, sendo particularmente eficaz em ambientes como escritórios, onde a diferença de temperatura entre a cabeça e os pés dos

ocupantes é mínima e as correntes de ar são reduzidas. Em ambiente de escritório a eficiência desta ventilação varia entre 1.1 e 1.4, o que indica que este tipo de ventilação remove 10% a 40% a mais de poluente do ar na zona de ocupação do que o sistema de ventilação neutro (Yang *et al.*, 2019).

De acordo com a configuração da distribuição de ar na zona a Portaria n.º 353-A/2013 estabelece os valores de eficácia de remoção de poluentes, presentes na Tabela 1, estando a consideração de diferentes valores de eficácia sujeitos a devida justificação através de resultados de simulação numérica ou física do espaço em causa (Energ, Energ and Europeu, 2013).

Revisão Bibliográfica

3. Métodos e Aplicação

Este capítulo tem como propósito descrever detalhadamente os procedimentos adotados, os métodos utilizados e as considerações necessárias ao estudo. Na Figura 27 está representada a estruturação da metodologia exigida para o estudo.

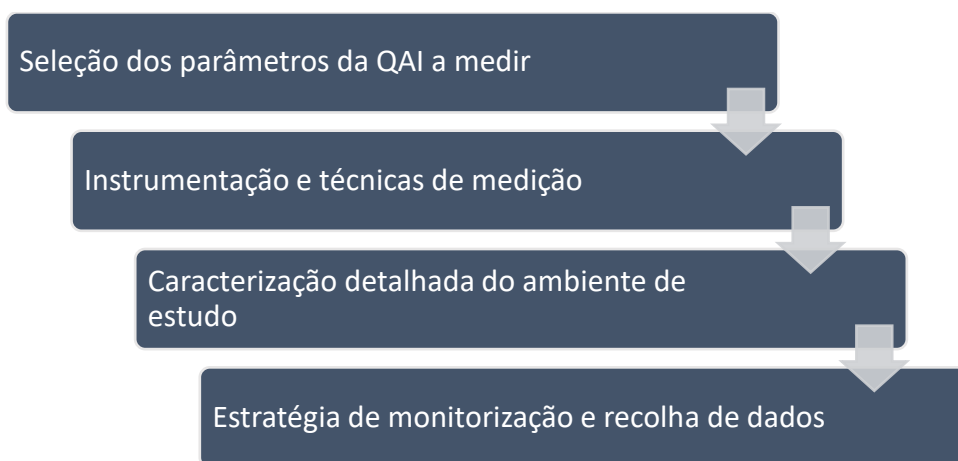


Figura 27 - Esquema ilustrativo da metodologia utilizada

A metodologia adotada neste estudo foi cuidadosamente estruturada para avaliar a necessidade e eficácia de diferentes estratégias de ventilação na QAI em ambientes de escritório. Foi necessário medir a capacidade dessas estratégias de diluir poluentes comuns em um ambiente fechado, durante atividades que envolvem a presença de várias pessoas. Foram selecionados parâmetros que afetam diretamente a QAI, como CO₂, CO, PM_{2.5}, PM₁₀, COV. A recolha de dados foi realizada em dois cenários distintos de ventilação: natural (através da abertura de janelas) e mecânica (com o uso de um sistema VMC). Esta abordagem permite uma análise comparativa de forma a obter conclusões sobre a temática em estudo.

3.1. Parâmetros relevantes da QAI

Para o estudo das estratégias de ventilação foi necessário selecionar quais os parâmetros que se aplicavam a medir na qualidade do ar interior no caso em estudo.

À luz da revisão bibliográfica apresentada, a relevância de medir os parâmetros PM_{2.5}, PM₁₀, COV, CO e CO₂ no presente estudo é justificado pelas referências incluídas no capítulo 2.2.2.. Relativamente às partículas em suspensão: “A poluição do ar exterior tem um significativo impacto na qualidade do ar interior, uma vez que a ventilação faz uso do ar exterior para a

renovação do ar no interior dos edifícios. A exposição do ar interior a partículas finas prejudiciais para a saúde, provém principalmente de partículas contidas no ar exterior, sendo mais comum em zonas afetadas pelo tráfego intenso (Edition, 2022).”.

No que diz respeito ao CO₂, “Ao contrário de alguns outros poluentes (por exemplo, fumaça de tabaco), o CO₂ não pode ser filtrado, adsorvido ou absorvido, tornando-o um bom indicador da qualidade do ar interno (Bownass, 2002).”.

Em relação ao CO, “Embora frequentemente monitorizado, o CO raramente é o foco principal dos estudos sobre qualidade do ar interior e exterior, possivelmente devido ao facto de ser impercetível aos nossos sentidos e de a sua inalação em níveis moderados não causar efeitos pulmonares imediatos(Salthammer, 2024)”.

Por fim em relação aos COV, “Os COV (Compostos Orgânicos Voláteis) são produzidos em ambientes internos a partir de diversas fontes (Bownass, 2002; Amaral, 2008).”; “Além disso, um estudo realizado por Andrzej Szczurek, sobre o uso dos COVs e CO₂ como indicadores da QAI, mostra que a concentração de COV deve ser considerada como indicador da QAI, apesar das limitações associadas aos métodos de medição deste poluente (Szczurek, Maciejewska and Pietrucha, 2015)”.

Não foi relevante a medição do radão uma vez que a origem do radão está diretamente relacionada com a localização geográfica, ou seja, o tipo de solo e a sua geologia respetivamente. O radão é originado na crosta terrestre e a sua decomposição nas formações geológicas transporta este gás para a superfície da terra por convecção e difusão. Estando por isso mesmo a sua presença no ar atmosférico relacionada com a localização e condições atmosféricas (pressão, força e direção do vento, humidade, etc.). Solos graníticos têm um teor mais alto de radão face a rochas sedimentares (Grzywa-Celińska *et al.*, 2020), (Pulinets *et al.*, 2024).

Embora na zona norte de Portugal os níveis médios de radão sejam elevados devido aos solos serem predominantemente graníticos isto não é condição necessária para garantir a sua presença num edifício. Num edifício as concentrações de radão são mais elevadas no interior das caves, pisos subterrâneos do que em pisos superiores, devido a infiltrações deste gás através de fendas, passagens de cabos e canalizações. Embora a presença deste gás no interior de edifícios se possa dever à concentração deste gás em materiais de construção a sua principal fonte é o subsolo dos edifícios. Tendo isto em conta, uma vez que o local a medir se situava em pisos superiores do edifício não se justifica a utilização dos equipamentos (Carvalho, 2005; APA, 2021).

Considerou-se por isso importante a medição de CO, CO₂, COV, PM_{2.5}, PM₁₀ uma vez que a concentração destes poluentes em edifícios de comércio e serviços está diretamente relacionada e por isso em diversos estudos da qualidade do ar interior neste tipo de espaços é frequente a sua medição. Além disso, as concentrações destes poluentes são indicadoras da qualidade do ar interno, especialmente o CO₂. Isso significa que, em edifícios cujo propósito é servir pessoas, onde os ocupantes são a principal fonte de poluentes do ar interno, a concentração de CO₂ pode ser um bom indicador quanto aos níveis de poluentes do ar interno. A avaliação e monitorização dos níveis de CO₂ consegue não só dar uma indicação da qualidade

do ar interior assim como a eficiência da ventilação do sistema. Contudo, a capacidade de diluição dos poluentes é também um indicador da eficiência da ventilação. Juntamente com a monitorização destes poluentes é relevante referir que foram monitorizados em contínuo a temperatura do ar e humidade relativa (Chung and Hsu, 2001; Halgamuge, Chan and Mendis, 2009; Owen *et al.*, 2011; Mannan and Al-ghamdi, 2021).

Na Tabela 6 são apresentados os valores de limiares de proteção para todos os poluentes físico-químicos de acordo com a Portaria n.º 138-G/2021.

Tabela 6 - Limiares de proteção de acordo com a Portaria n.º 138-G/2021 para os poluentes físico-químicos

Parâmetro	Unidade	Limiar de proteção
PM ₁₀	[µg/m ³]	50
PM _{2.5}	[µg/m ³]	25
COV	[µg/m ³]	600
CO	[mg/m ³]	10
	[ppmv]	9
CH ₂ O	[µg/m ³]	100
	[ppmv]	0,08
CO ₂	[mg/m ³]	2250
	[ppmv]	1250
Radão	[Bq/m ³]	300 i)

i) Artigo 145.º do Decreto-Lei n.º 108/2018, de 3 de dezembro, na sua redação atual

A medição do formaldeído não foi pertinente para o caso de estudo. O formaldeído é uma substância natural presente tanto no ambiente quanto no corpo humano. No ambiente, é um gás incolor com cheiro forte que se bio-degrada rapidamente no ar, na água e no solo. As principais origens de exposição ocupacional ao formaldeído incluem a produção industrial de resinas, compostos de moldagem, fertilizantes, papel, produtos de madeira, móveis, laminados, plásticos, pesticidas, produtos químicos, borracha, couro, fundições de ferro, filmes fotográficos, têxteis, suprimentos científicos, desinfetantes e cosméticos. No setor agroalimentar, o formaldeído está presente na produção de açúcar e na preservação de grãos e sementes. Procedimentos de embalsamamento e ambientes de saúde, onde são utilizados tecidos e espécimes preservados, também são fontes de exposição. Além disso, a construção com produtos de madeira manufaturados, e o transporte e combustíveis, como resultado da combustão de automóveis, refinarias e usinas de energia, contribuem para a exposição ao formaldeído (Castellani *et al.*, 2024).

O decaimento da concentração do formaldeído é influenciado pela ventilação, mas não só, isto é, a concentração de formaldeído libertada por um material é maior assim que este é produzido havendo um decaimento da libertação desta substância com o passar do tempo. Sendo por isso mais eficiente o envelhecimento do material ao invés da ventilação quer mecânica quer natural, na diminuição da concentração deste poluente no ambiente anterior, assim como comprova o estudo de Mahammad Dehghani (Dehghani *et al.*, 2020).

A forma mais eficaz de reduzir a concentração de formaldeído no ar interior é a remoção ou possível substituição das fontes deste. Uma vez que o estudo em questão não visa

exclusivamente o estudo da QAI no caso de estudo, mas sim a influência da VMC e ventilação natural na QAI não é um parâmetro relevante a medir (Castellani *et al.*, 2024).

A avaliação da concentração de ozono no espaço em estudo não foi possível devido à falta de equipamentos para a medição do mesmo, contudo, não é um parâmetro de grande relevância no que toca à influência da ventilação na QAI. O ozono é poluente inorgânico do ar interno, uma vez que consegue reagir com diferentes tipos de poluentes orgânicos no ambiente interno, consequentemente ocorre a formação de poluentes orgânicos secundários. Podendo a exposição a estes produtos de reação ser mais prejudicial à saúde (Mar, Monika and Namie, 2018).

A presença do ozono no ambiente interno é originada principalmente de ozono ambiente que entra nos edifícios e de fontes internas, como fotocopiadoras, impressoras a laser, lavadores de frutas e vegetais, e purificadores de ar. Esses dispositivos, amplamente usados em ambientes internos, incluindo escritórios, libertam O_3 durante seu funcionamento, com destaque para o processo eletrofotográfico em impressoras a laser. Sendo que, a principal fonte de exposição de ozono nos ambientes internos dos edifícios está associada infiltração do ozono do ar externo. Contudo a diluição das concentrações de ozono em ambientes internos pode não ser suficiente, uma vez que os níveis de ozono podem exceder os limites de exposição. Sendo por isso frequentemente removido por purificação do ar fazendo uso de tecnologias tais como: filtros à base de carvão ativado, decomposição fotocatalítica e decomposição catalítica (Mar, Monika and Namie, 2018; Guo, Gao and Shen, 2019; Othman *et al.*, 2020; Namdari, Lee and Haghighat, 2021; Nazaroff and Weschler, 2022). A ausência de fontes de poluição de ozono mencionadas anteriormente no caso em estudo, torna este parâmetro irrelevante de ser medido no presente estudo.

3.2. Aparelhos de medição

Para a avaliação dos parâmetros da qualidade do ar no caso em estudo foi necessário o estudo dos métodos e princípios de medição dos equipamentos de medição apresentados na Tabela 7, tendo por base o Despacho n.º 1618/2022 onde é definido métodos de referência na monitorização de parâmetros da qualidade do ar.

Tabela 7 - Métodos de referência e métodos equivalentes e requisitos mínimos para a leitura dos parâmetros poluentes (adaptado de: (Energ *et al.*, 2009))

Parâmetro	Método/Princípio de referência	Métodos/Princípios Equivalentes	Características técnicas para os monitores de leitura direta	
			<i>Erro</i> _{máx,adm} ¹	Resolução
CO₂	Leitura direta com sensor Infravermelho Não Dispersivo (NDIR)	Leitura direta com sensor: Electroquímico Infravermelho por transformada de Fourier (FTIR ⁴) PAS -Sensor Foto Acústico	50 ppm ou 10 % da leitura, o maior	1 ppm
CO	Leitura direta com sensor Infravermelho Não Dispersivo (NDIR)	Leitura direta com sensor: Eletroquímico Infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) PAS -sensor foto acústico	4 ppm ou 4 % da leitura, o maior	1 ppm
Partículas atmosféricas (PM₁₀ e PM_{2,5})	Amostragem ativa em filtro colocado em amostrador seletivo para PM ₁₀ ou PM _{2,5} e análise gravimétrica.	Leitura direta por: Dispersão ótica (UV, laser) Absorção por radiação Beta Microbalança de oscilação de peso (TEOM) Ressonância piezoelétrica	10 µg/m ³ ou 10% da leitura, o maior.	1 µg/m ³
COV²	Amostragem ativa (TENAX) e análise por TD-GC-MS/FID	Leitura direta com sensor: FID — Detetor de Foto Ionização de Chama PID — Detetor de Foto Ionização PAS — Sensor Foto Acústico Infravermelho por Transformadas de Fourier (FTIR)	50 µg/m ³ ou 10% da leitura, o maior	10 µg/m ³

¹ Erro máximo admissível (EMA) = |erro equipamento| + |incerteza de calibração/verificação|

² COV (Compostos orgânicos voláteis): compostos orgânicos cujo ponto de ebulição está na gama de (50 °C a 100 °C) a (240 °C a 260 °C). Para comparação com o limiar de proteção constante do Anexo I à Portaria n.º 138 -G/2021, de 1 de julho, os resultados a apresentar são a soma dos compostos orgânicos voláteis (COVT), sendo a concentração mássica expressa em equivalentes de tolueno.

Na Tabela 8 apresentam-se os equipamentos de medição utilizados para a medição de cada parâmetro assim como características técnicas dos mesmos.

Tabela 8 - Características técnicas e métodos dos equipamentos de medição

Parâmetro	Equipamento	Método de análise	Características técnicas			Limiars de proteção
			Gamas de medição	Exatidão	Resolução	
Dióxido de carbono (CO ₂)	KIMO AQ200 com sonda CO ₂	NDIR	De -20 a +80°C	±0.4% da leitura ±0.3°C	0,1 °C	1230 ppm
			De 0 a 5000 ppm	±3% da leitura ±50ppm	1 ppm	
			De 5 a 95%HR	±1,8%HR (de 15°C à 25°C)	0,1 %HR	
Monóxido de carbono (CO)	KiMO AQ200 com sonda CO	Método eletroquímico	De -20 a +80°C	±0.4% da leitura ±0.3°C	0,1 °C	9 ppm
			De 0 a 100 ppm	±3 ppm	0,1 ppm	
			De 100 a 500 ppm	±3% da leitura	-	
Partículas atmosféricas (PM ₁₀ e PM _{2,5})	TSI DUSTTRAK DRX 8534	Dispersão ótica (UV; Laser)	0.001 to 150 mg/m ³	±0.1% da leitura ou 0.001 mg/m ³	-	PM ₁₀ =0,05 mg/m ³ PM _{2,5} =0,25 mg/m ³
Compostos Orgânicos Voláteis (COV)	TSI 9565-P-984KIT	PID	10 to 20,000 ppb	-	10 ppb	261 ppb

A medição da temperatura e humidade relativa foi possível através do aparelho KIMO AQ200 com a utilização da sonda de CO₂.

A conversão dos limiars de proteção do CO e CO₂ na Tabela 8 foi feita através Equação (12) presente na nota técnica NT-SCE-02 que faz a conversão da concentração do poluente de mg/m³ para ppm. Considerou-se a temperatura de 20°C e a pressão 101,325 kPa, em conformidade com os valores de limiars de proteção estabelecidos pela Portaria n.º 138-G/2021 para essas condições. Para a massa molar, foi considerado 44,01 kg/kmol no caso do CO₂ e 28,01 kg/kmol no caso do CO (Energ *et al.*, 2009; Diário da República, 2021)

$$C (ppm) = C (mg/m^3) \times \frac{\mathfrak{R} \times (273,15 + T)}{M_{mol} \times P} \quad (12)$$

Na Equação (12), C é a concentração do poluente em [ppm] ou [mg/m³], \mathfrak{R} é a constante universal dos gases perfeitos de valor 8314,5 J/(kmol.K), T é a temperatura em [°C], M_{mol} corresponde à massa molar do composto gasoso em [kg/kmol] e P a pressão do gás em [Pa].

Para o caso dos limiares de proteção dos COV foi utilizado um fator de conversão específico para o isobutileno (56,1 kg/kmol), uma vez que o método PID faz uso deste gás para a calibração, cuja sua conversão é de 1 ppb = 2,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Em and De, 2019).

3.2.1. Descrição dos equipamentos

Para a medição do CO_2 e CO foi utilizado o equipamento KIMO AQ200, cuja ficha técnica se encontra no Anexo B, com uma sonda de CO_2 e sonda CO, respetivamente. No caso do CO_2 , a sonda faz uso da técnica NDIR, infravermelho não dispersivo (do inglês: non-dispersive infrared) para deteção de CO_2 . É uma técnica amplamente utilizada para a deteção de vários poluentes do ar tais emitidos de fontes como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogénio (NO_x), óxido nitroso (N_2O), amoníaco (NH_3), cloreto de hidrogênio (HCl), fluoreto de hidrogênio (HF) e metano (CH_4), entre outros (Dinh *et al.*, 2016).

O método NDIR, é uma técnica baseada nas vibrações dos átomos de uma molécula. A luz infravermelha que atravessa o gás é absorvida em uma banda espectral específica devido às vibrações dos átomos do gás. O tipo e a concentração do gás determinam a fração de energia absorvida da radiação incidente. Um espectro de infravermelho é normalmente obtido ao passar radiação infravermelha através de uma amostra e determinar qual a fração da radiação incidente é absorvida pelo gás numa determinada energia. Em suma, esta técnica foca na absorção de comprimento de onda no espectro infravermelho como uma forma de identificar gases específicos. A Figura 28 demonstra a estrutura característica de um sensor NDIR (Dinh *et al.*, 2016),(Maza *et al.*, 2019; Liang *et al.*, 2023).

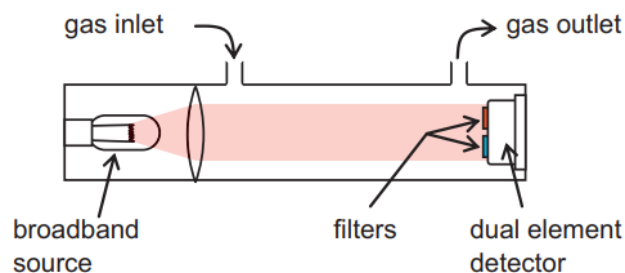


Figura 28 – Composição estrutural de um sensor NDIR (Hodgkinson *et al.*, 2013)

Na medição do CO foi utilizada uma sonda eletroquímica. Este método é frequentemente utilizado na medição de CO. O funcionamento do sensor eletroquímico representado na Figura 29 baseia-se na medição da mudança de potencial entre o elétrodo de trabalho e o elétrodo de contraposição, ocorrendo a oxidação e redução simultaneamente. Na sua estrutura este tipo de sensor possui tipicamente um elétrodo sensor (onde ocorre a oxidação do gás) e um elétrodo de contraposição (onde ocorre a redução), e uma carcaça contendo um eletrólito alcalino que garante a eficiência das reações. Ao estabelecer contacto com o elétrodo de trabalho ocorre a oxidação gerando corrente elétrica. Durante essa reação, ocorre a mudança no potencial elétrico sendo esta proporcional à concentração do gás (Mead *et al.*, 2013; Afshar-Mohajer *et al.*, 2018; Majder-Łopatka *et al.*, 2020).

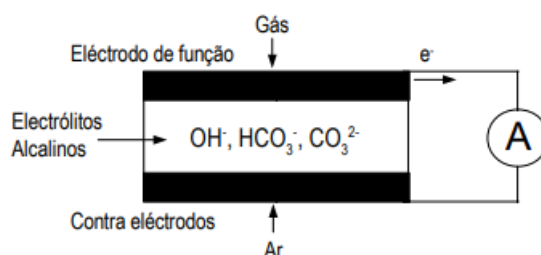


Figura 29 - Representação do funcionamento de um sensor eletroquímico (Co and Higrométrica, no date)

A monitorização dos COV foi feita através do equipamento TSI 9565-P-984KIT, cuja ficha técnica da sonda utilizada se encontra no Anexo A. Para a utilização deste equipamento é necessário a calibração do mesmo. Antes de cada medição é necessária a calibração. Para o equipamento KIMO AQ200 a calibração das duas sondas é efetuada periodicamente em laboratórios acreditados para o efeito.

Para a calibração do equipamento TSI 9564-P-984KIT conecta-se a o gás de calibração ao sensor, e posteriormente o gás zero, isto é, uma botija sem poluentes ou concentrações de gases alvo. Como gás de calibração foi utilizado uma botija de isobutileno, isto deve-se ao facto de o sensor do aparelho utilizar a tecnologia PID como método de medição. Porém esta calibração não restringe o aparelho à deteção apenas de isobutileno, mas sim de outros COV (Salthammer, 2022), (*PID / VOC Monitors: Questions, Myths and their Proper Use*, no date).

O PID, Detetor de Fotoionização, é o detetor de COV mais utilizado, devido ao seu melhor desempenho em diferentes condições ambientais, seletividade e maior sensibilidade na medição da concentração de COV em comparação com outros detetores. Ele é seletivo porque mede apenas as concentrações de COV, e é mais sensível porque consegue detetar COV em baixos limiares tóxicos (por exemplo, 0,1 ppm) com mais de 250 gases e misturas de gases. O método PID pode ser usado separadamente ou em conjunto com outros equipamentos. O dispositivo contém uma lâmpada UV e um par de placas de eléctrodos. As placas de eléctrodos estão posicionadas próximas à janela da lâmpada UV, onde a luz UV é emitida. À medida que as moléculas de gás entram no campo radiado no espaço entre os eléctrodos, elas são ionizadas e os eletrões livres são recolhidos nos eléctrodos, resultando num fluxo de corrente cuja magnitude é diretamente proporcional à concentração do gás. A concentração do gás é então detetada e reportada como concentração em ppb ou ppm (Nataša Lukić, Frank M. Schurr, Tanja Trifković, 2023).

O equipamento TSI DustTrak DRX 8534, cuja ficha técnica é possível consultar no Anexo C, também foi utilizado para medir a concentração de PM. O TSI DustTrak é um fotómetro a laser que utiliza a dispersão de luz para medir a quantidade de luz dispersa em relação às concentrações volumétricas de aerossóis, a fim de determinar a concentração de massa. O monitor de mesa TSI DustTrak é operado a bateria e com registo de dados, medindo simultaneamente as concentrações das frações de massa segregadas por tamanho correspondentes a PM₁, PM_{2.5}, PM₅, PM₁₀ e PM total. A concentração de massa de partículas em tempo real é determinada pela intensidade da luz dispersa pelas partículas no fluxo de aerossóis (Themistocleous *et al.*, 2012; Cavaliere *et al.*, 2018).

3.3. Caracterização do caso de estudo

O presente estudo foi realizado no concelho da Maia no distrito do Porto, no edifício comercial da empresa Soler & Palau (S&P), mais especificamente numa sala de escritório utilizada para palestras e formações. Está localizado na zona industrial da Maia estando rodeado de mais edifícios comerciais. Este edifício é constituído por R/Chão, 1º piso e 2º piso e o seu ano de construção foi 2017. Esta sala está situada no 2º andar do edifício, assinalado a verde na Figura 30, com a sua fachada orientada para sul e este. Os espaços adjacentes ao caso em estudo são uma sala de temperatura controlada e um corredor que faz ligação aos restantes escritórios, casas de banho do 2º Piso e elevador. É de salientar que no corredor em frente ao elevador podemos encontrar uma zona comum com uma máquina de café onde a sua ocupação é habitual nas pausas das palestras e/ou formações da sala em estudo.

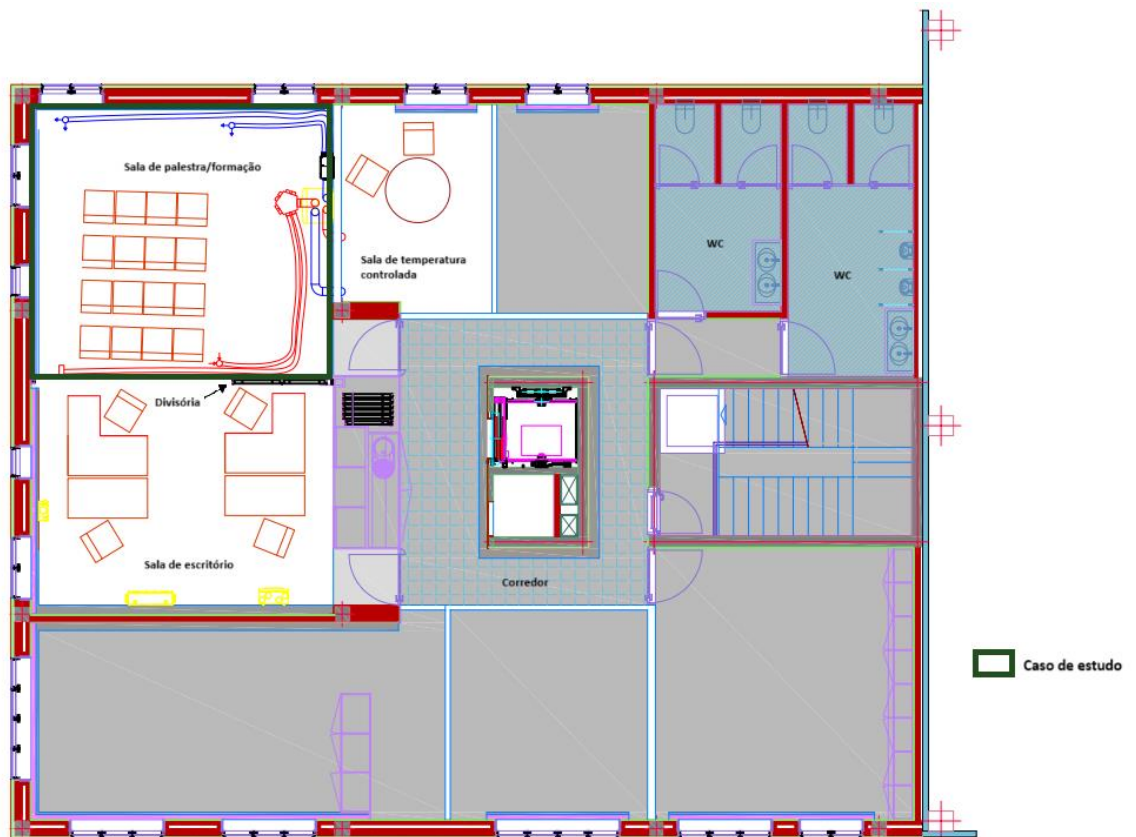


Figura 30 - Planta 2º Piso do edifício S&P

A sala tem uma área de 60 m², contudo, no contexto de palestra e formações esta é dividida a meio sendo por isso a sua área de 30 m². Está equipada com um sistema VMC de duplo fluxo com permutador de calor do tipo contrafluxo de alto rendimento (até 92%), através do equipamento SABIK 350, as suas características técnicas encontram-se representadas na Tabela 9 e a sua ficha técnica no Anexo D. Este equipamento faz uso de dois modos de funcionamento: manual e automático. No funcionamento manual é introduzido manualmente pelo utilizador o caudal a ser debitado sendo esse caudal constantemente debitado independentemente das condições externas, contudo no funcionamento automático este caudal embora seja

introduzido manualmente é variável. No modo automático é possível a escolha de 3 velocidades e o valor de caudal em cada configuração de velocidade depende da pressão estática da instalação, que para o ponto de funcionamento selecionado, assim como representado na Figura 31, verificou-se uma pressão estática de 45Pa.

Tabela 9 - Características técnicas principais VMC

Equipamento	Marca	Modelo	Localização	$P_{máx,saída}$ [kW]	$Q_{insuf,máx}$ [m ³ /h]
VMC de fluxo duplo	S&P	SABIK 350	2º Piso	0,15	420

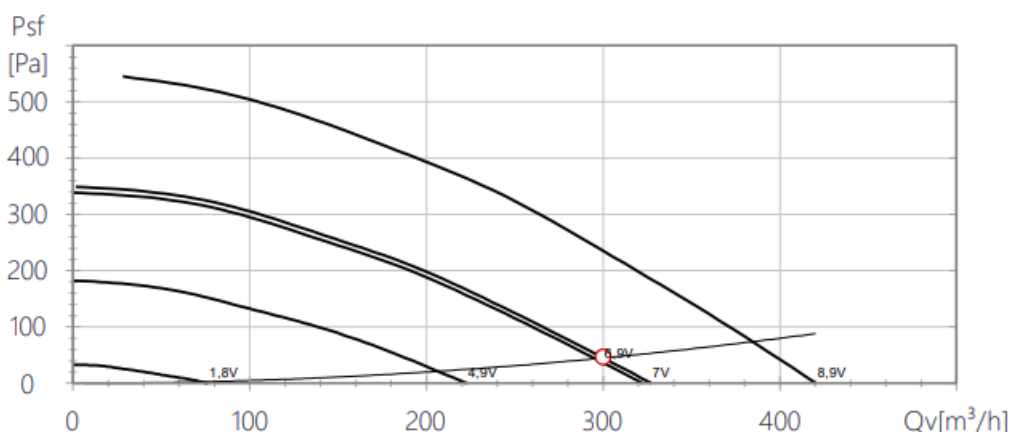


Figura 31 - Curva de desempenho SABIK 350 para o ponto de funcionamento selecionado

A admissão de ar novo é feita através de uma grelha com proteção exterior, assinalada a azul na Figura 32, sendo o ar exterior admitido não diretamente do exterior, mas sim de uma sala a temperatura controlada, onde é sempre mantida a janela aberta de forma a obter condições semelhantes às do exterior, assinalado a verde na Figura 32. Este ar faz trocas de energia com o ar de retorno no recuperador de calor e posteriormente é insuflado na sala através de 2 bocas de insuflação, assinaladas a azul na Figura 33. Posteriormente, o ar viciado é extraído com o uso novamente de uma boca de extração e de uma grelha de extração, assinalados a vermelho na Figura 33, efetuando permuta de calor com o ar a ser insuflado no recuperador de calor, sendo assim libertado para através de uma grelha com proteção exterior para a sala de temperatura controlada, assinalada a vermelho na Figura 32. Na Figura 34 encontra-se representado o sistema VMC com as respetivas legendas dos equipamentos e acessórios, as características técnicas dos equipamentos e acessórios da VMC na Tabela 10 e as fichas técnicas respetivas nos Anexos: E,F,G,H,I,JK e L.

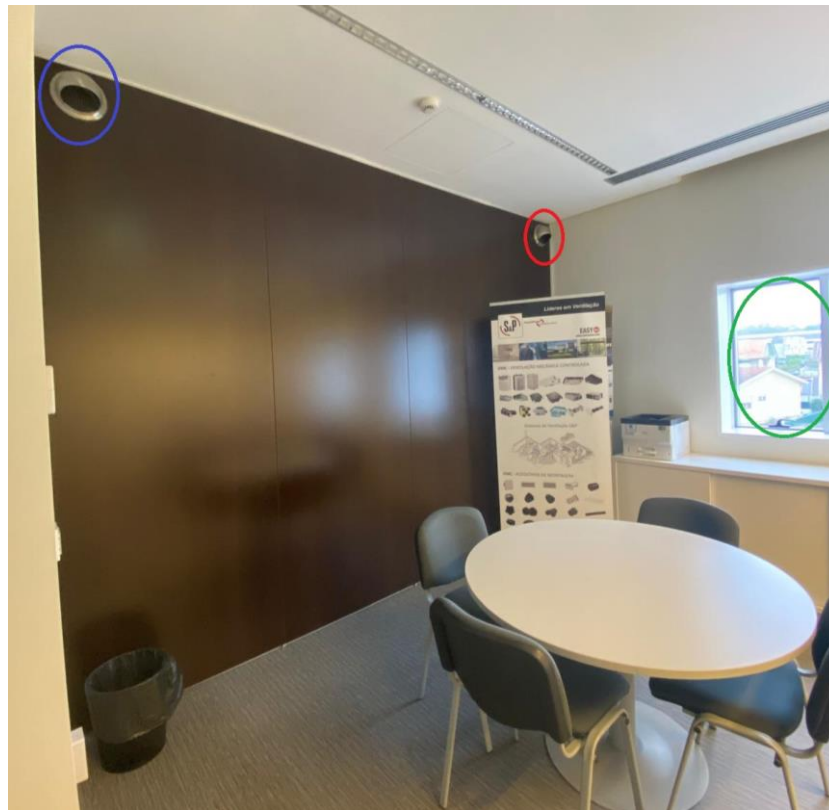


Figura 32 - Legenda da admissão de ar novo na sala de temperatura controlada

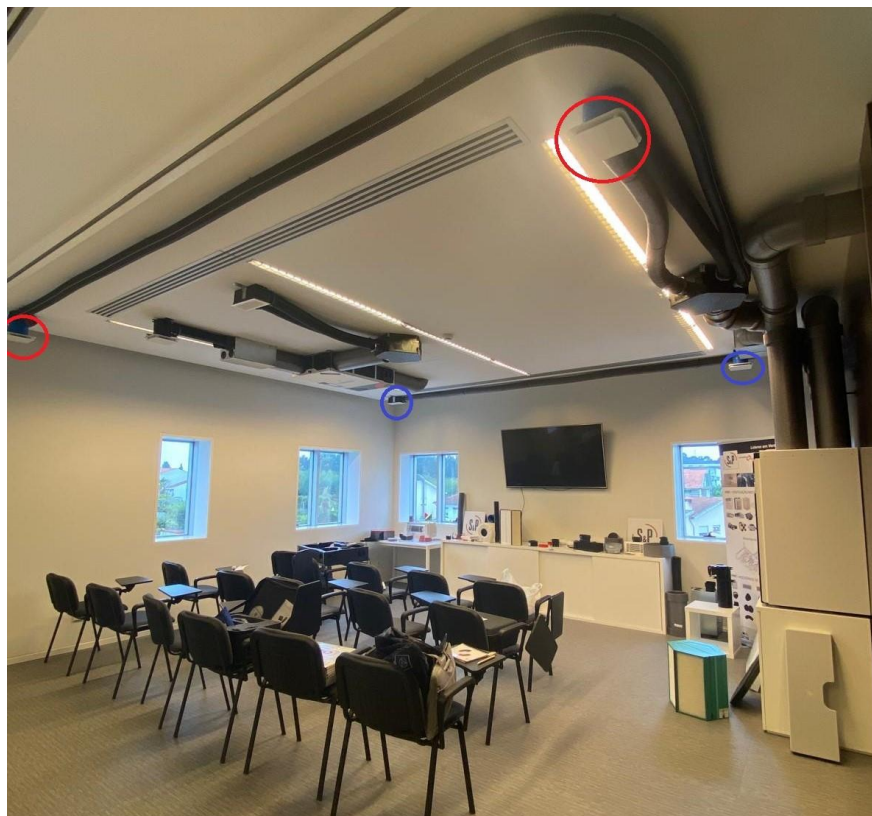


Figura 33 - Legenda das bocas e grelhas de extração e insuflação no sistema VMC

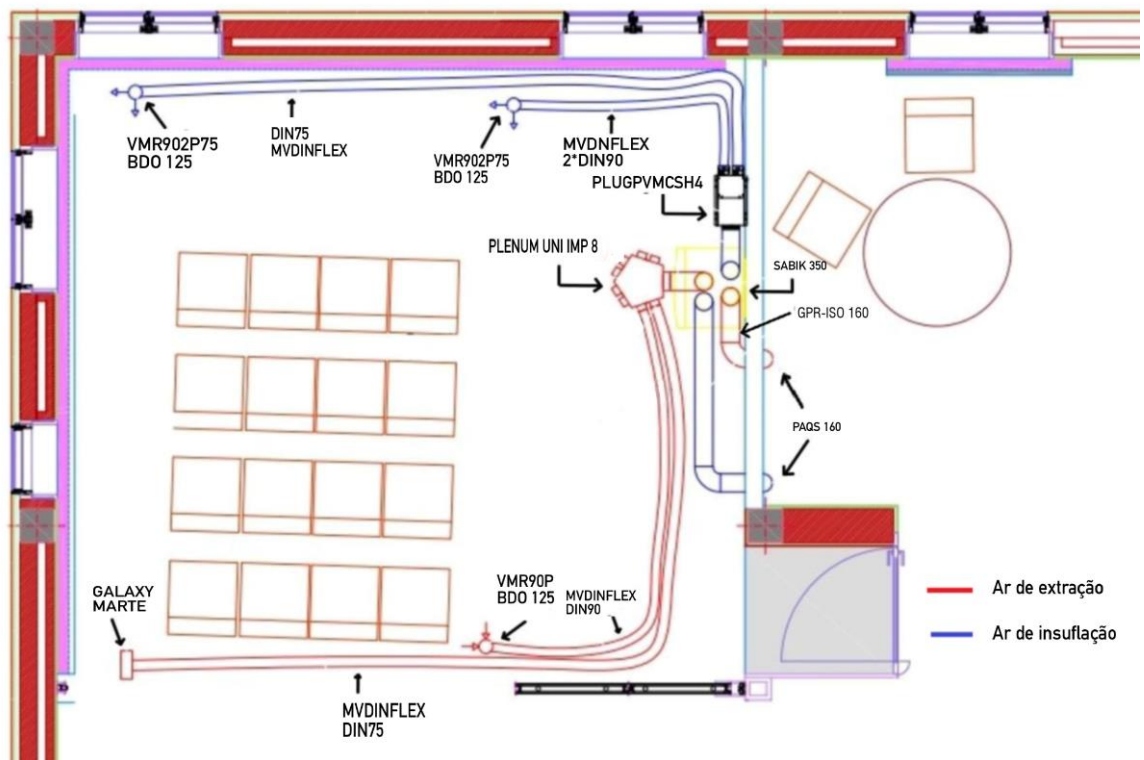


Figura 34 - Legenda dos equipamentos de VMC

Tabela 10 - Grelhas/Bocas de extração e/ou insuflação

Equipamento	Marca	Caudal [m ³ /h]	Diâmetro [mm]
Boca de extração e/ou insuflação	BDO 125 	45-150	-
Grelha de admissão de ar novo	PAQS 160 	-	160
Grelha de insuflação	GALAXY MARTE 	10-50	-
Plenum isolado	PLENUM UNI IMP 8 	-	125/150-160
Plenum para a distribuição do ar para os seus terminais	PLUGGALAXY 	-	75-90
Duto-flexível	MVDNIFLEX 	-	75-90
Conduitas e acessórios rígidos isolados com polietileno	GPR-ISO160 	-	160

Este equipamento possui 2 estágios de filtragem, um filtro G4 a montante do permutador de calor e um filtro G4 a jusante do permutador de calor, representado na Figura 35. Na Figura 36,

Métodos e Aplicação

é possível ver a eficiência dos filtros utilizado na filtração das partículas que no caso dos PM_{10} , é de apenas 35% e nos $PM_{2.5}$ é de apenas 20%.



Figura 35 - Estágios de filtração na VMC

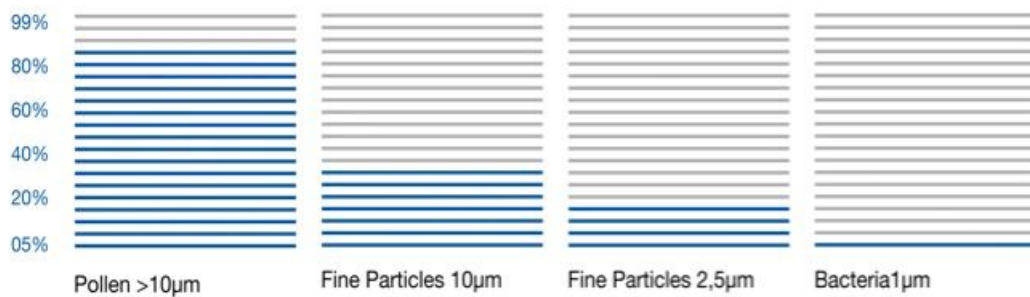


Figura 36 - Eficiência da filtração G4 na VMC

A ventilação natural é feita através da abertura de 3 janelas na sala, na Figura 38 encontra-se ilustrada uma janela aberta utilizada para a ventilação natural. A sala é constituída por 4 janelas de caixilharia com vidro duplo e com corte térmico sem qualquer tipo de proteção dos vãos, assinaladas na Figura 37 as janelas utilizadas para a ventilação natural da sala.



Figura 37 - Legenda das janelas para a ventilação natural no caso de estudo



Figura 38 - Representação de janela aberta para ventilação natural

3.4. Estratégia de medição

Para avaliar a necessidade e eficiência da ventilação natural, face a uma ventilação mecânica, neste caso VMC, em garantir uma boa qualidade do ar interior foi necessário definir uma estratégia de medição que permitisse tirar tais conclusões, a abordagem ao tema está representada na Figura 39.

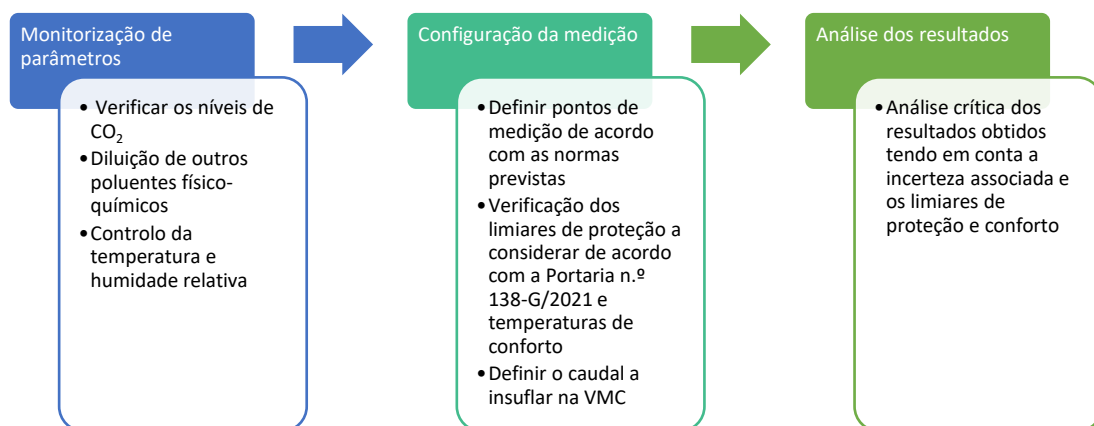


Figura 39 – Esquema ilustrativo do processo de medição da necessidade e eficiência da ventilação na QAI

3.4.1. Plano de amostragem espacial e temporal

O ponto de medição foi definido tendo por base critérios da Norma Técnica NSCE-02 e estudos da qualidade do ar interior. O número mínimo de pontos de amostragem/medição foi definido tendo em conta a Equação (13) prevista no Anexo V da nota técnica NT-SCE-02. Considerando-se a área do espaço de 30 m² foi obtido um ponto de medição para o caso de estudo.

$$N_i = 0,15 \times \sqrt{A_i} \quad (13)$$

Na equação (13) considera-se: N_i o número de ponto de medida na zona i , em que $N_i \geq 1$; A_i corresponde à área da zona i expressa em m^2 .

A localização do ponto de medição foi feita ao nível da zona de ocupação, com base na norma europeia EN 13779, a zona ocupada é definida como o volume de um espaço onde há presença humana, situado entre o nível do pavimento e uma altura de 2 metros e longe. Além disso no Despacho n.º 1618/2022 é definido que as amostragens realizadas devem ser feitas ao nível das vias respiratórias dos ocupantes de 0,5 a 1,5 m acima do pavimento, para ocupantes sentados e à distância de 1 a 2m das paredes, janelas, portas, divisórias ou barreiras verticais. Devendo ser sempre garantido que os equipamentos não se encontra sob a influência direta de grelhas de insuflação, aquecedores, difusores de ar e ventoinhas (Nichtwohngebäuden and Grundlagen, 2006; Edif, Jorge and Interior, 2022).

Para a escolha do ponto de medição escolhido este deve respeitar o critério de não estar a menos de 1 metro de possíveis fontes de contaminação. Para tal foi tido em conta as informações na Tabela 11.

Tabela 11 - Fontes de emissão dos parâmetros a medir

Parâmetro	Fontes de contaminação
CO	Emissões de veículos de garagens integradas, fogões a gás, sistemas de aquecimento, lareiras a lenha, lareiras e tabaco. (Nichtwohngebäuden and Grundlagen, 2006; Mihucz and Záray, 2016; Francisco <i>et al.</i> , 2018; Salthammer, 2024)
COVs	Purificadores do ar, produtos de limpeza, materiais de construção, móveis, tintas, vernizes, fotocopiadoras, impressoras, colas, adesivos, fumo de tabaco. (Mannan and Al-ghamdi, 2021; Maung <i>et al.</i> , 2022; Braish <i>et al.</i> , 2023)
Partículas em suspensão	Fumos, cozinhar, aquecimento, velas e inseticidas, tarefas domésticas e movimentos das pessoas (Vardoulakis <i>et al.</i> , 2020; Maung <i>et al.</i> , 2022)
CO ₂	Cozinhar, tabaco, atividade humana (Satish <i>et al.</i> , 2012; Shen <i>et al.</i> , 2020; López <i>et al.</i> , 2023)

No caso de estudo, não foi identificada a presença de fontes de contaminação mencionada para os poluentes físico-químicos, CO, COVs, partículas em suspensão, mencionados na Tabela 8, visto que se trata de uma sala destinada a palestras e formações. Embora essa sala partilhe uma divisória com uma sala de escritório, também nesse ambiente não se observam fontes de poluição associadas aos mesmos poluentes. A única exceção é o CO₂, cuja concentração é influenciada pela presença de pessoas na sala, um fator necessário a ter em conta na escolha do ponto de medição.

O ponto de medição selecionado foi no centro da sala, posicionado a uma altura de 1 metro do pavimento e a uma distância de 1,2 metros da janela mais próxima e 1,5 metros da porta, garantindo que não estivesse diretamente sob as grelhas de insuflação da VMC. Esta localização

foi utilizada para a medição de todos os poluentes, assegurando também um distanciamento adequado das pessoas presentes, de modo a não influenciar os resultados obtidos, assinalado a azul na Figura 40.

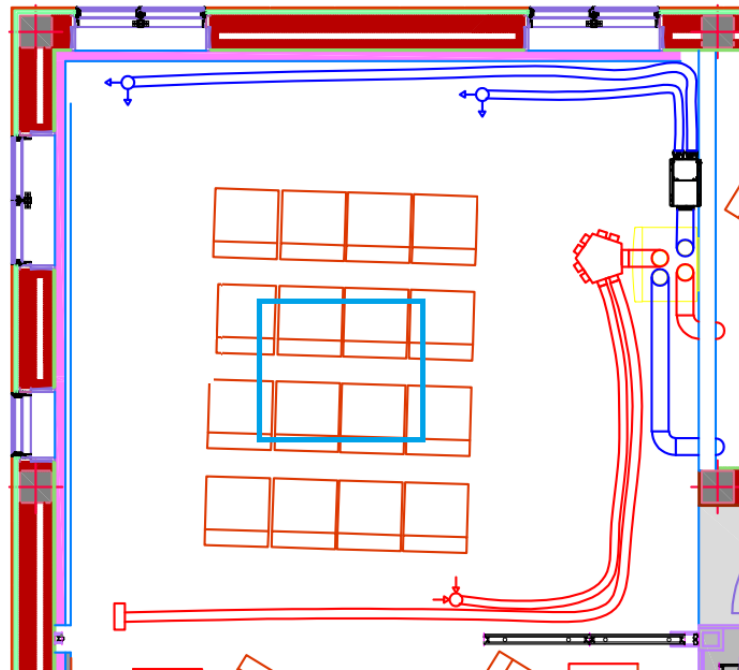


Figura 40 - Ponto de medição dos poluentes físico-químicos

3.4.2. Planeamento de medição

Os ensaios foram realizados em duas campanhas distintas, nos dias 21 de junho e 8 de agosto de 2024, em contexto de formação/palestra, com a presença de 10 pessoas em cada campanha numa sala de 30 m². A estratégia de medição focou-se na monitorização contínua dos parâmetros físico-químicos do ar interior, assim como a temperatura e humidade relativa, dividindo-se cada campanha em duas partes: primeira parte da palestra sem ventilação e a segunda com diferentes estratégias de ventilação.

No início de cada campanha, foram registadas as condições iniciais da sala, com o sistema VMC desligado, janelas fechadas e apenas a porta aberta, estabelecendo uma linha base para comparação. Na primeira parte da palestra de ambas as campanhas, com uma duração de 33 minutos no dia 21 de junho e de 45 minutos no dia 8 de agosto, os parâmetros foram monitorizados sem ventilação, registando-se os valores em ambiente fechado.

Na segunda parte da campanha de 21 de junho, com duração de 45 minutos, foi utilizada a ventilação natural. As quatro janelas da sala foram abertas, mantendo a porta fechada para garantir a renovação do ar exclusivamente pelas janelas. Além disso, foram recolhidos dados de temperatura e humidade relativa do ar exterior para garantir a conformidade com os valores medidos no interior.

Durante a campanha de 8 de agosto, as condições iniciais foram novamente registadas sob as mesmas condições que a primeira campanha. Na primeira parte da palestra manteve-se o cenário de ausência de ventilação, igual à 1ª campanha. Antes do início da segunda parte, mediu-se os poluentes físico-químicos, a temperatura e a humidade relativa do ar admitido pela sala de temperatura controlada, que permanece com a janela aberta e porta fechada de forma a obter condições semelhantes às do ar exterior. Nesta segunda parte, com duração de 1 hora e 35 minutos, o sistema VMC foi ativado, mantendo a sala com portas e janelas fechadas, avaliando-se assim a eficácia do sistema na remoção de poluentes.

Para o cálculo do caudal de insuflação do sistema de VMC foi necessário o cálculo pelo critério de ocupação (método prescritivo, método analítico) de acordo com a Portaria n.º 353-A/2013. Os valores utilizados no cálculo pelo critério de ocupação e critério de edifício encontram-se nas Tabela 12 e Tabela 13 (Energ, 2021).

Tabela 12 - Cálculo do caudal mínimo de ar novo pelo critério de ocupação

Critério de ocupação									
Método analítico			Método prescritivo						
n	$Q_{AN, M_{met}}$ [m³/h]	Q_{AN} [m³/h]	A [m²]	Pd [m]	n	M_{met} [met]	CO _{2,limit} [ppm]	CO _{2,ext} [ppm]	Idade
10	24	240	30	2,7	10	1,2	1250	390	Até 18 anos e adultos

Tabela 13 - Cálculo do caudal mínimo de ar novo pelo critério de edifício

Critério de edifício		
A [m²]	$Q_{AN, \text{área}}$ [m³/h]	Q_{AN} [m³/h]
30	2	60

Os valores do caudal corrigido de acordo com a eficácia de remoção de poluentes encontram-se na Tabela 14, sendo o caudal mínimo de ar novo a considerar o máximo para cada critério.

Tabela 14 - Caudal de ar novo mínimo corrigido

		ϵ_v	Q_{ANF} [m³/h]
Critério de ocupação	Método prescritivo	0,8	300
	Método analítico	0,8	75
Critério de edifício		0,8	75

O caudal de insuflação, para o sistema VMC, escolhido foi de 300 m³/h. A seleção deste caudal permite estudar a eficácia do sistema dentro dos limites legais, uma vez que cumpre os requisitos mínimos da legislação, minimizando o impacto energético e económico, sem comprometer a conformidade com a legislação e uma sobrecarga desnecessária.

Para a monitorização dos parâmetros foi tido em conta os limites legais e margens de tolerância previstos na Portaria n.º 138-G/2021. No entanto, no caso dos poluentes gasosos, neste caso

específico CO₂ e CO, estes valores estão legislados para uma temperatura de 20°C e à pressão atmosférica 101,325 kPa, pelo que foi necessário recalculá-lo para as temperaturas interiores da sala registadas e pressão registadas, para tal fez-se uso da equação (12). Foi calculado o valor de limiar de proteção para cada ponto registado, considerando a temperatura correspondente. A média dos limiares de proteção foi adotada como o valor representativo para cada cenário medido (ventilação natural, sistema VMC e ausência de ventilação). Esta abordagem permite uma visão uniforme da conformidade dos resultados ao longo do tempo. Para comparação entre os diferentes cenários, utilizou-se a média dos limiares de proteção de cada cenário considerando a margem de tolerância associada a cada poluente físico-químico, uma vez que está previsto na Portaria n.º 138-G/2021 que a margem de tolerância pode ser considerada no caso de edifícios existentes e de edifícios novos sem sistemas mecânicos de ventilação, segundo a seguinte expressão: $[\text{Poluente}]_{\text{Max}} \leq [\text{Poluente}]_{\text{LP}} \times (1 + \text{MT})$, em que MT corresponde à margem de tolerância em percentagem. De acordo com esta informação na é apresentado os limiares de proteção considerados para cada poluente físico-químico, tendo em conta os limiares de proteção para as temperaturas e pressão registadas e as percentagens de margens de tolerância associadas aos poluentes PM_{2.5}, PM₁₀, COV e CO₂.

Tabela 15 - Limiares de proteção para a análise de resultados

Parâmetro	Unidade	$LP_{T,P}^1$	Margem de tolerância	LP
PM ₁₀	[µg/m ³]	50	100%	100
PM _{2.5}	[µg/m ³]	25	100%	50
COV	[µg/m ³]	600	100%	1200
CO	[ppm]	9	-	9
CO ₂	[ppm]	1274	30%	1656

¹Limiares de proteção Portaria n.º 138-G/2021 da dos poluentes físico químicos tendo em conta a temperatura e pressão associada apenas no CO e CO₂

Nos cálculos dos limiares de proteção, optou-se pelo uso da média, uma vez que esta considera todos os valores, incluindo os extremos, que são fundamentais para garantir que nenhum ponto ultrapasse os limites legais de qualidade do ar. Assim, a média assegura uma avaliação abrangente, garantindo que todos os pontos registados estejam dentro dos limiares de proteção. Por outro lado, na apresentação dos resultados, a mediana mostrou-se mais vantajosa, pois, ao não ser influenciada pelos valores extremos, oferece uma melhor perceção de onde os resultados estiveram mais concentrados, refletindo de forma mais fiel o comportamento típico dos resultados obtidos. Além disso, o uso da mediana nos diagramas de caixa de bigodes mantém a conformidade na apresentação dos resultados do uso da mediana, uma vez que a mediana é mais adequada para este tipo de gráfico.

No caso da temperatura, foi tido como referência a temperatura de 27°C como conforto na sala com o sistema VMC ligado, para a época de verão, considerando 0,5 clo. Para a obtenção deste valor foi considerado que a sala de formações pertence à categoria III de ambiente térmico (“An acceptable, moderate level of expectation and may be used for existing buildings”) e quanto ao tipo de espaço foi considerado do tipo “Conference room” (Standard, 2007).

Tendo em conta a temperatura exterior de 20°C de acordo com a norma EN 15251, considerando um ambiente de categoria III de ambiente térmico (“An acceptable, moderate

level of expectation and may be used for existing buildings”), a temperatura conforto na ausência de ventilação mecânica é de 29,5°C, de acordo com a Figura 41, onde θ_{rm} e θ_o , correspondem à temperatura do ar exterior e à temperatura de conforto, respetivamente (Standard, 2007).

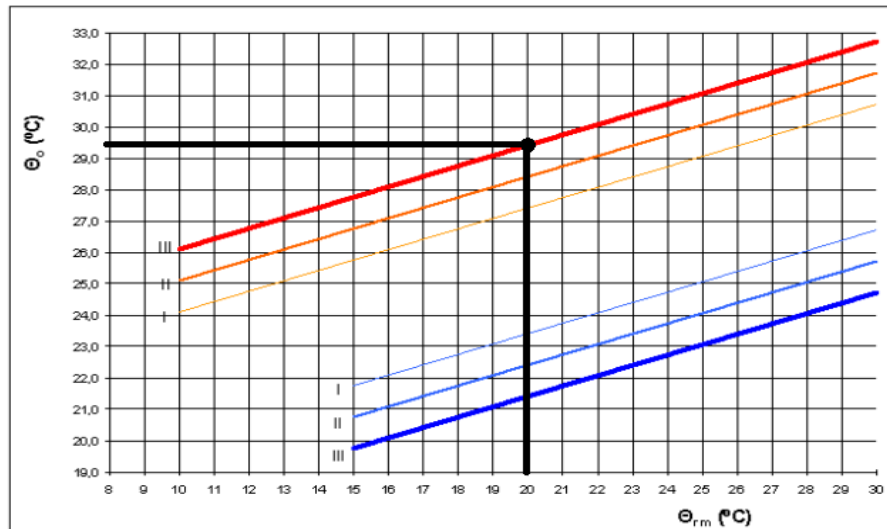


Figura 41 - Temperatura de conforto da ventilação natural (Standard, 2007)

Os níveis de conforto e sem consequências adversas na saúde de humidade relativa como referência foi de 40-60% (Albelda-Estellés Ness, 2023).

4. Resultados e Discussão

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos na monitorização dos parâmetros da QAI nas duas campanhas realizadas na sala de palestras/formações do edifício de serviços e comércio S&P. É apresentada uma análise temporal das concentrações de CO₂, temperatura e humidade em cada situação, isto é, sem ventilação, com ventilação natural e com a VMC. Uma análise global das partículas em suspensão e CO₂ e por fim a apresentação resumida dos valores máximos, mínimos e médios registados de todos os poluentes da QAI nas campanhas em cada parte da palestra.

4.1. Primeira Campanha

Foram registados os valores na Tabela 16 iniciais de cada parâmetro da sala desocupada, com janelas fechadas, sistema VMC desligado e com a porta aberta. Além disso foram registadas as condições do ar exterior, apresentadas na Tabela 17.

Tabela 16 - Condições iniciais da sala em estudo na 1ª campanha

Condições iniciais da sala – 21 de junho						
T [°C]	HR [%]	Parâmetros QAI				
		CO ₂ [ppm]	COV [µg/m ³]	CO [ppm]	PM _{2.5} [µg/m ³]	PM ₁₀ [µg/m ³]
23,9±0,3	55±1,8	551±50	0	0	24±1	28±1

Tabela 17 - Condições do ar exterior na 1ª campanha

Condições do ar exterior – 21 de junho						
T [°C]	HR [%]	Parâmetros QAI				
		CO ₂ [ppm]	COV [µg/m ³]	CO [ppm]	PM _{2.5} [µg/m ³]	PM ₁₀ [µg/m ³]
20±0,3	75±1,8	374±50	0	0	44±1	53±1

Comparando as condições iniciais da sala e do ar exterior verifica-se que a concentração de PM_{2.5} e PM₁₀, são maiores no ar exterior, de 44±1 µg/m³ e 53±1 µg/m³, respetivamente, enquanto no ar interior estes valores são de PM_{2.5} e PM₁₀, são de 24±1 µg/m³ e 28±1 µg/m³.

Verifica-se também a ausência de fontes de poluição de CO e COV próximas do edifício do caso de estudo. A presença de CO está geralmente relacionada com situações de combustão. Considerando que num raio de 1 km não existe nenhuma indústria ativa, com libertação de

poluentes para o exterior, justifica-se o valor registado de CO. Além disso, não se encontra próximo de nenhuma via expressa.

No caso dos COV, não foram detetadas concentrações significativas deste poluente. O método PID utilizado faz uso do gás isobutileno para calibração. Embora a calibração com gás isobutileno permita avaliar a concentração de COV, a ausência de concentração deste poluente no ar exterior indica que a perceção de COV no ar exterior é extremamente baixa, e no caso do isobutileno é nula.

Foi realizada uma análise temporal de CO₂ da 1ª parte da palestra sem ventilação e da 2ª parte, com ventilação natural representadas na Figura 42 e Figura 43, respetivamente.

Verifica-se um aumento da concentração inicial de CO₂, de 702±50 ppm, face às condições iniciais da sala, 551±50 ppm devido à presença de pessoas na sala, uma vez que a atividade humana é uma fonte de poluição deste poluente. Analisando a evolução das concentrações de CO₂ sem ventilação, verifica-se a tendência de um crescimento linear das concentrações de CO₂ ficando cada vez mais próximos do limite legal, 1656 ppm, com uma taxa de variação de CO₂ de 15,64 ppm/min num espaço temporal de 33 minutos.

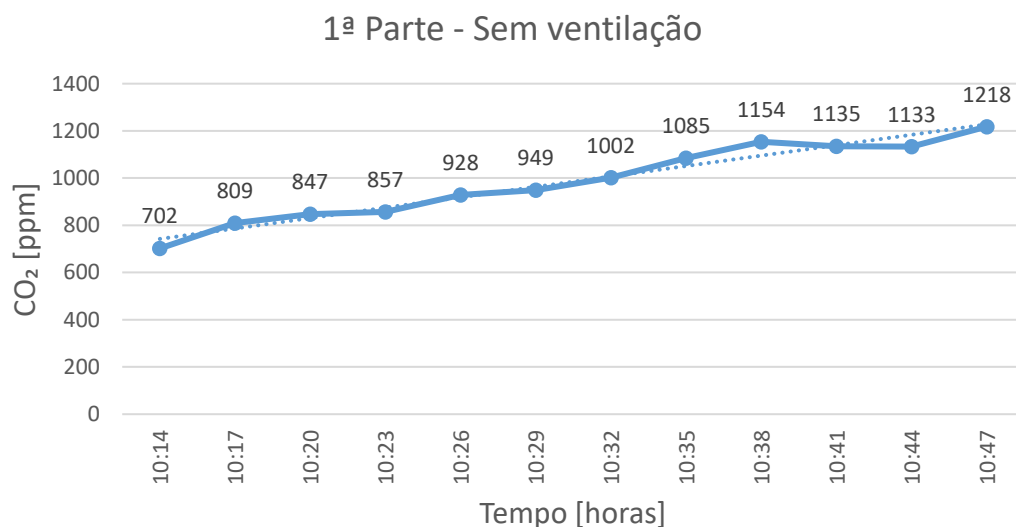


Figura 42 - Variação temporal das concentrações de CO₂ sem ventilação na 1ª campanha

No caso da ventilação natural, as concentrações de CO₂ apresentam um valor inicial de 802±50 ppm semelhante ao ponto inicial da 1ª parte da palestra, que foi de 702±50 ppm, devido à presença das pessoas na sala. Contudo, a recirculação de ar permite a estabilização dos valores para um valor mediano de 487±50 ppm, conforme representado na Figura 43, aproximando-se das concentrações de CO₂ no ar exterior, que são de 374±50 ppm, num espaço temporal de 45 minutos. Observa-se uma taxa de variação de CO₂, correspondente a -7,11 ppm/min, indicando um decaimento da concentração de CO₂ ao longo do tempo, comparado ao cenário de ausência de ventilação.

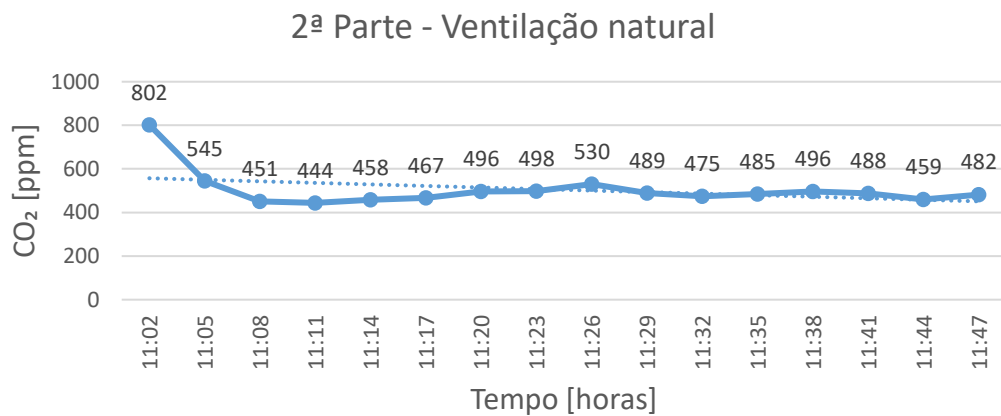


Figura 43 - Variação temporal das concentrações de CO₂ com ventilação natural na 1ª campanha

A análise temporal do espaço sem ventilação representada na Figura 44, permite perceber que houve um aumento de 1,5°C de temperatura de 24,5±0,3°C para 26±0,3°C, enquanto a humidade relativa se manteve constante com um valor mediano 54,1±1,8%. Os valores de humidade estiveram dentro dos níveis de conforto, 40-60%, contudo a temperatura estava abaixo dos 29°C de conforto no caso da ventilação natural.

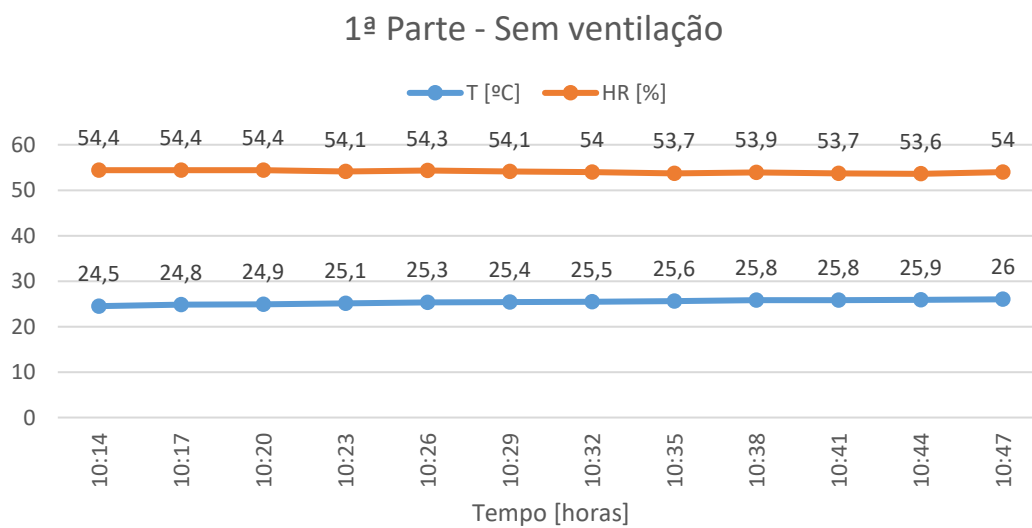


Figura 44 - Variação temporal da temperatura e humidade relativa sem ventilação na 1ª campanha

Na 2ª parte da palestra, verifica-se na Figura 45 que a temperatura diminuiu de 25,3±0,3°C para 23,4±0,3°C, assemelhando-se às condições exteriores de 20°C. Contudo, os valores de humidade estabilizaram face à humidade relativa, foi possível verificar a estabilização dos níveis de humidade para um valor mediano de 51,8±1,8%, encontrando-se dentro dos níveis de conforto de humidade, 40-60%. Contudo a temperatura esteve bastante abaixo dos níveis de conforto, 29°C.

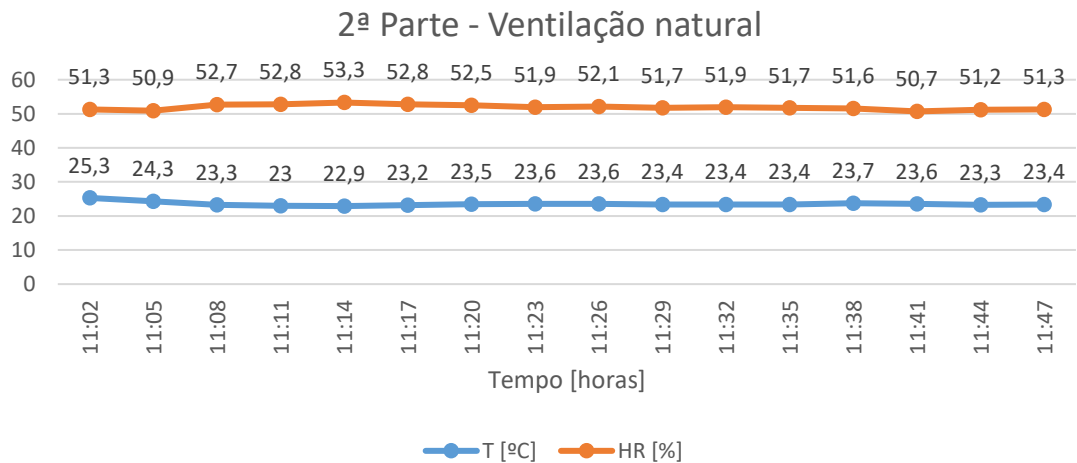


Figura 45 - Variação temporal da temperatura e humidade relativa com ventilação natural na 1ª campanha

Na análise representada na Figura 46 da primeira campanha, verifica-se uma diferença significativa nas concentrações de CO₂ na ausência de ventilação e com ventilação natural. Os intervalos de concentração sem ventilação foram especialmente elevados, tendo sido registado valores entre 702±50ppm e 1218±50 ppm, e uma mediana de 976±50 ppm. Com a ventilação natural, os valores diminuem drasticamente, apresentando um intervalo entre 802±50 ppm e 444±50 ppm, com uma mediana de 487±50 ppm. Esses resultados indicam que, na ventilação natural, as concentrações de CO₂ foram cerca de 2 vezes menores em comparação com os níveis de CO₂ sem ventilação.

Estes dados tornam-se claros ao analisar-se as taxas de variação: na ausência de ventilação a concentração de CO₂ aumentou a uma taxa de variação significativamente alta de 15,64 ppm/min, demonstrando a acumulação contínua desse poluente devido à atividade humana. Por outro lado, a ventilação natural, apresenta uma taxa de variação negativa de -7,11 ppm/min, demonstrando a rápida redução das concentrações de CO₂. No entanto, é relevante salientar que em ambos os casos, os valores obtidos permaneceram dentro do limite legal de 1656 ppm.

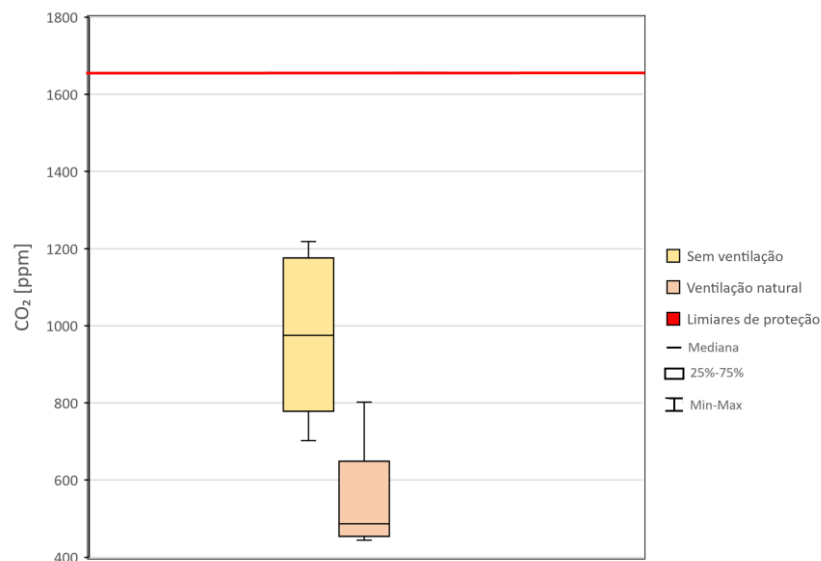


Figura 46 - Resultados dos níveis de CO₂ no ar interior da 1ª campanha

A análise global dos dois cenários de ventilação representada na Figura 47 das partículas em suspensão, PM_{2.5}, permitiu verificar que os resultados se encontravam dentro do limite legal de 50 µg/m³.

Os valores registados de PM_{2.5} sem ventilação, encontram-se dentro do intervalo 28±1 a 30±1 µg/m³, cujo valor de mediana foi de 28±1 µg/m³. No caso da ventilação natural, os valores registados de PM_{2.5} aumentaram, registando-se valores entre 30±1 a 36±1 µg/m³, com a respetiva mediana de valor 31±1 µg/m³. Embora exista um aumento significativo dos níveis de PM_{2.5} na ventilação natural, é importante considerar que, mesmo na ventilação natural, os valores se mantiveram abaixo do limite legal de 50 µg/m³.

Contudo, os níveis registados no ar interior mais elevados na ventilação natural, devem-se à entrada de poluentes externos, uma vez que as concentrações deste poluente no ar exterior são de 44±1 µg/m³.

Resultados e Discussão

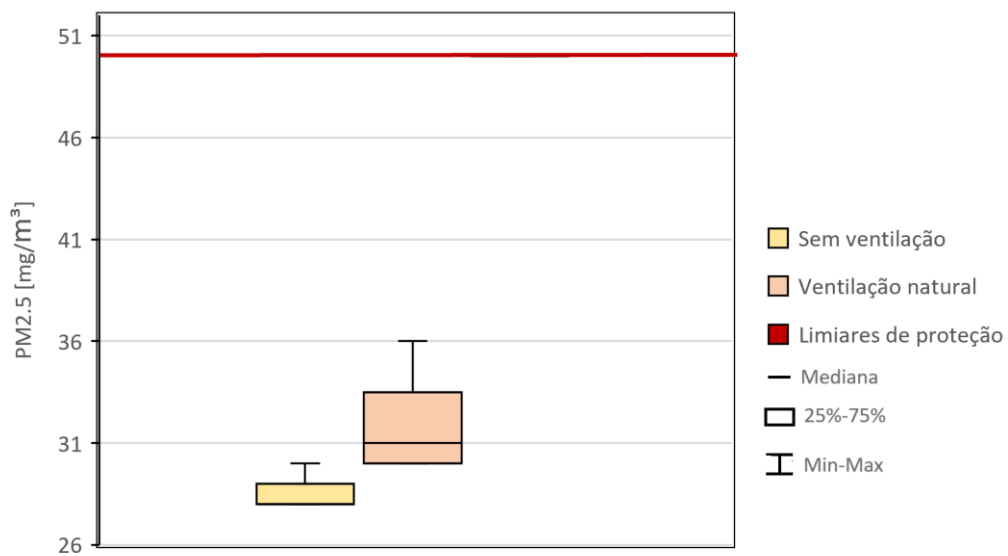


Figura 47 – Resultados dos níveis de PM_{2.5} no ar interior na primeira campanha

A análise da concentração de PM₁₀ da primeira campanha representada na Figura 48, ilustra que quer num cenário de ausência de ventilação quer na ventilação natural, os resultados encontram-se dentro do limite legal, 100 µg/m³. A variação dos valores sem ventilação foi muito baixa, situando-se num intervalo de 33±1 a 36±1 µg/m³, com uma mediana de 34±1 µg/m³. Essa pouca variação é ilustrada na Figura 48, onde os quadris de 25%-75% praticamente se sobrepõem à linha da mediana. No caso da ventilação natural, houve uma maior variação nas concentrações de PM₁₀, num intervalo de 32±1 a 40±1 µg/m³, e uma mediana de 35±1 µg/m³.

Embora as concentrações de PM₁₀ apresentem um leve aumento, devido à introdução de partículas externas do ar exterior, cuja concentração deste poluente no ar exterior foi de 53±1 µg/m³, os valores obtidos mantiveram-se dentro do limite legal de 100 µg/m³.

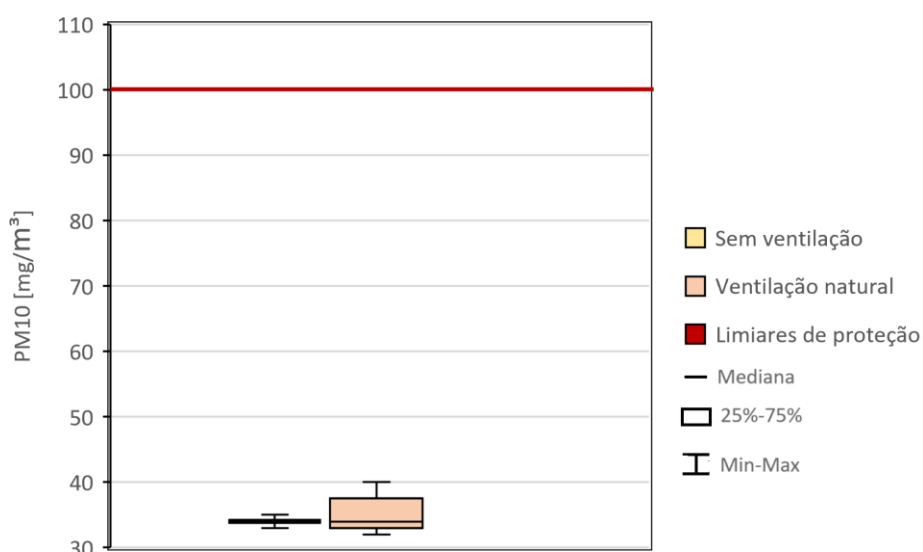


Figura 48 - Resultados dos níveis de PM₁₀ no ar interior na primeira campanha

Não se justificou a análise temporal dos níveis registados de CO e COV, uma vez que em ambas as situações, os valores registados foram nulos assim como representado na Tabela 18, encontrando-se por isso mesmo dentro dos limites de proteção. Os valores de CO e COV registados foram nulos devido à ausência de fontes de emissão destes poluentes na sala em estudo.

Entre os poluentes avaliados, verificou-se o cumprimento dos limites legais em todos os cenários de medição, tendo em conta as margens de tolerância e os limiares de proteção para os valores de temperatura e pressão, registadas, de acordo com a Portaria n.º 138-G/2021. Contudo, é importante de salientar que, na ausência de ventilação, foi registado o valor de 1218 ± 50 ppm de CO_2 , que se aproxima dos limiares de proteção. Além disso, a taxa de variação de CO_2 foi significativamente maior na ausência de ventilação, com um incremento de 15,64 ppm por minuto de medição. Por outro lado, na ventilação natural verifica-se a diminuição de 7,11 ppm por cada minuto de medição, com uma estabilização das concentrações de CO_2 numa mediana de 487 ± 50 ppm.

Tabela 18 - Valores máximos, mínimos e medianas dos parâmetros medidos na 1ª campanha

1ª Parte - Sem ventilação						
Parâmetro	CO [ppm]	CO ₂ [ppm]	COV [µg/m ³]	PM _{2.5} [µg/m ³]	PM ₁₀ [µg/m ³]	Taxa de variação de CO ₂ [ppm/min]
Mínimo	0	702±50	0	28±1	33±1	15,64
Máximo	0	1218±50	0	30±1	36±1	
Mediana	0	976±50	0	28±1	34±1	
Limiares de proteção	9	1656	1200	50	100	
2ª Parte - Ventilação natural						
Parâmetro	CO [ppm]	CO ₂ [ppm]	COV [µg/m ³]	PM _{2.5} [µg/m ³]	PM ₁₀ [µg/m ³]	Taxa de variação de CO ₂ [ppm/min]
Mínimo	0	444±50	0	30±1	32±1	-7,11
Máximo	0	802±50	0	36±1	40±1	
Mediana	0	487±50	0	31±1	35±1	
Limiares de proteção	9	1656	1200	50	100	

4.2. Segunda Campanha

Inicialmente registou-se os valores de cada parâmetro representados na Tabela 19 da sala novamente sem ocupantes, com janelas fechadas, sistema VMC desligado e com apenas a porta aberta. Na Tabela 20, encontra-se os valores de cada parâmetro registados na sala de temperatura controlada da qual a VMC faz uso para admissão de ar novo no sistema. Os registos foram feitos com a janela da sala aberta e porta fechada.

Tabela 19 - Condições iniciais da sala na 2ª campanha

Condições iniciais da sala – 8 de agosto						
T [°C]	HR [%]	Parâmetros QAI				
		CO ₂ [ppm]	COV [µg/m ³]	CO [ppm]	PM _{2.5} [µg/m ³]	PM ₁₀ [µg/m ³]
26,6±0,3	54±1,8	583±50	0	0	26±1	33±1

Tabela 20 - Condições do ar de admissão do sistema VMC

Condições do ar de admissão – 8 de agosto						
T [°C]	HR [%]	Parâmetros QAI				
		CO ₂ [ppm]	COV [µg/m ³]	CO [ppm]	PM _{2.5} [µg/m ³]	PM ₁₀ [µg/m ³]
25,2±0,3	56±1,8	450±50	0	0	29±1	34±1

A análise temporal dos níveis de CO₂ na 2ª parte da palestra, ilustrada na Figura 49, mostra o aumento tendencial das concentrações de CO₂ ao longo do tempo. Com a sala desocupada, os níveis de CO₂ da sala inicialmente atingem os 583±50 ppm. No entanto, a presença das pessoas na sala e a sua atividade metabólica rapidamente faz subir os níveis de CO₂ para 807±50 ppm, sendo este o primeiro valor registado no início da palestra. Num espaço temporal de 45 minutos, com níveis de CO₂ a aumentar de uma forma linear, os valores registados rapidamente se aproximam dos níveis de limiar de proteção, 1656 ppm, atingindo assim o pico cujo valor corresponde a 1221±50 ppm. Assim como mencionando no capítulo anterior, estes resultados seriam expectáveis devido à falta de renovação de ar.

Neste caso a taxa de variação de CO₂ obtida é de 9,2 ppm/min, ligeiramente inferior ao valor obtido na primeira campanha, de 15,64 ppm/min, contudo, esta taxa de variação confirma o aumento das concentrações de CO₂ na ausência da ventilação ao longo do tempo.

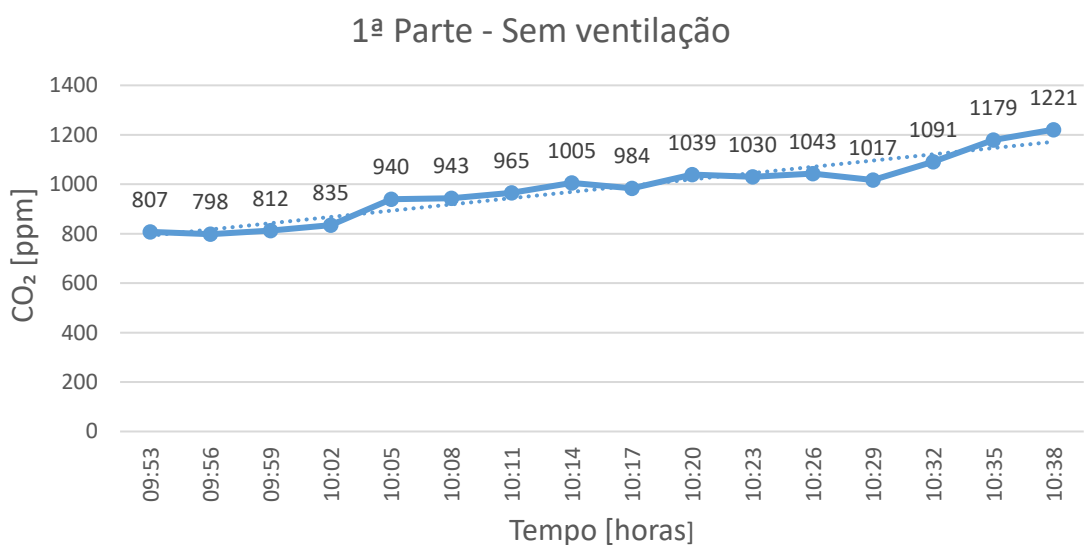


Figura 49 - Variação temporal das concentrações de CO₂ sem ventilação na 2ª campanha

Na segunda parte da palestra, foi ativado o sistema VMC a insuflar a sala de formações/palestras com um caudal de 300 m³/h, que corresponde a um caudal de 8,33 l/s por pessoa, considerando a presença de 10 ocupantes na sala. Na Figura 50 é apresentada a análise temporal das concentrações de CO₂ ao longo da segunda parte da palestra. O sistema VMC foi capaz de reduzir os níveis de CO₂ para valores próximos das condições iniciais da sala sem ventilação. Há uma redução significativa de um valor inicial de CO₂ de 1141±50 ppm para a estabilização da concentração de CO₂ para cerca de 750±50 ppm, tendo esta estabilização demorado cerca de 55 minutos, estabilizando a partir do valor de 806±50ppm.

Ao contrário da ausência de ventilação, em que os níveis de CO₂ tendem a aumentar, a VMC permitiu a renovação contínua do ar, resultando numa diminuição gradual das concentrações de CO₂. A taxa de variação do CO₂ com a VMC foi de -4,05 ppm/min, refletindo a tendência de queda nas concentrações, enquanto, na ausência de ventilação, os valores apresentam apenas tendência a aumentar.

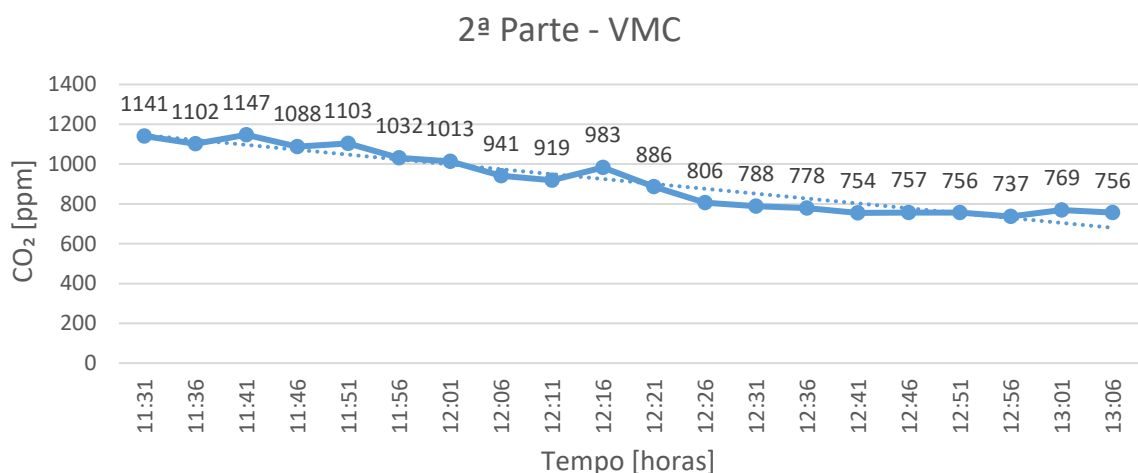


Figura 50 - Variação temporal das concentrações de CO₂ com VMC na 2ª campanha

No caso da temperatura, a análise temporal ilustrada na Figura 51, permite perceber que ao longo do tempo a temperatura do ar interior apresenta um ligeiro aumento, de um valor inicial de 26,9±0,3°C para um valor de 28,3±0,3°C. Contudo, a humidade relativa apresenta algumas oscilações de valores, compreendidos entre 50,5±1,8% a 54±1,8%, com uma respetiva mediana de 53±1,8%. No entanto, as variações não foram significativas, tendo em conta a incerteza associada aos dados, estando os valores registados quer de temperatura e humidade dentro dos parâmetros de conforto, no caso da humidade de 40-60%, e na temperatura de 27°C.

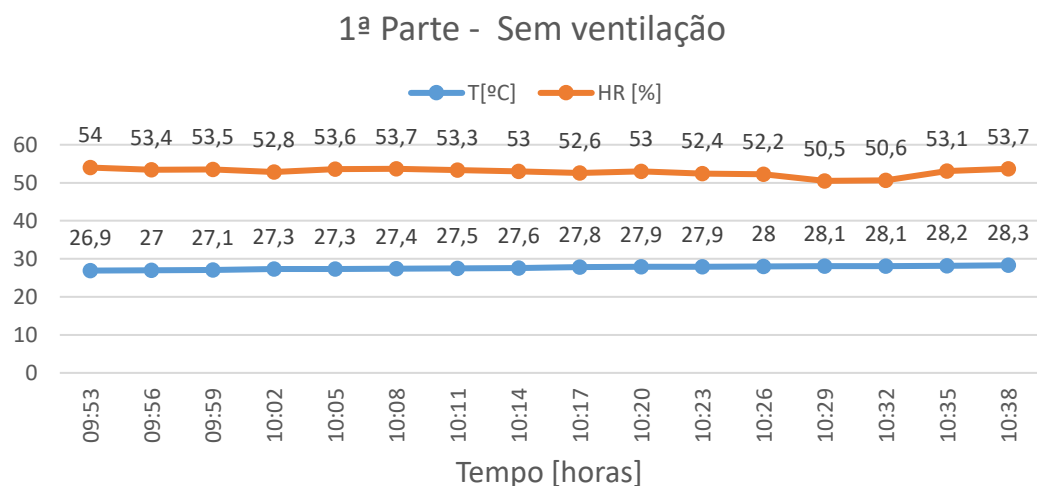


Figura 51 - Variação temporal da temperatura e humidade relativa sem ventilação na 2ª campanha

No caso do sistema VMC, operando manualmente com um caudal de insuflação de 300 m³/h, a análise temporal de temperatura e humidade na Figura 52 demonstra uma diminuição linear de ambos os parâmetros ao longo do tempo. Num espaço temporal de 95 minutos, a humidade relativa foi diminuída de 52,7±1,8% para 47,1±1,8%, havendo um maior controle da humidade na VMC. Da mesma forma, a temperatura sofreu uma diminuição significativa, passando de 29±0,3°C para 26,2±0,3°C, com uma mediana de 27,7±0,3°C um resultado bastante próximo da temperatura de conforto térmico, de 27°C. Apesar das reduções, a análise crítica sugere que, embora o sistema tenha sido eficaz em diminuir ambos os parâmetros, as variações ocorreram de maneira relativamente estável, sem oscilações abruptas, o que confirma o bom desempenho do VMC em regular a temperatura e a humidade no espaço.

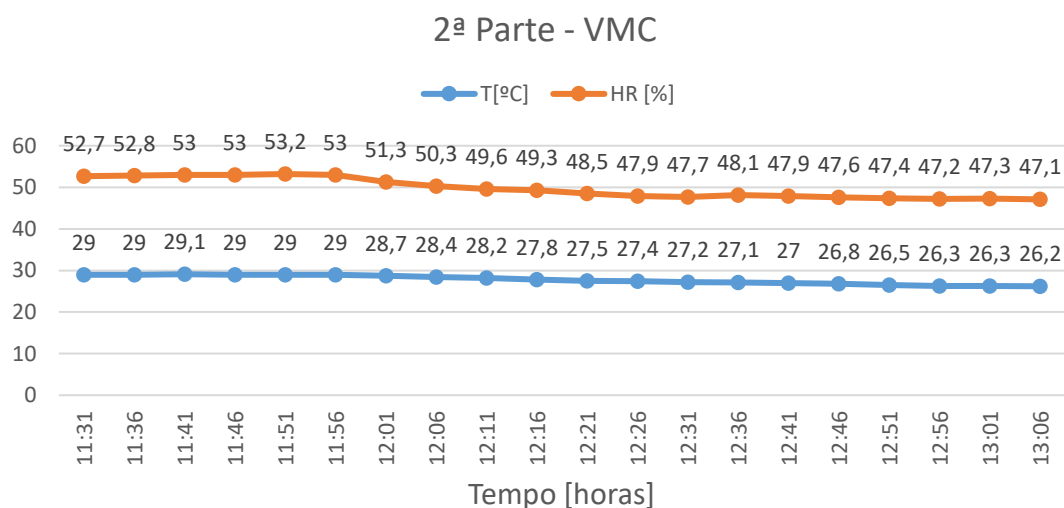


Figura 52 -Variação temporal da temperatura e humidade relativa na VMC na 2ª campanha

A análise dos níveis de CO₂ no interior da sala representada na Figura 53, permite perceber que os valores registados na VMC apresentam uma maior variação no intervalo de 766±50ppm a

1046±50 ppm face à primeira parte da palestra, sem ventilação, cujo intervalo de variação está compreendido entre 914±50ppm a 1040±50 ppm. A maior amplitude de resultados na VMC reflete a ação ativa do sistema para regular as concentrações de CO₂. Contudo, os valores máximos atingidos em ambos os cenários, tendo em conta a incerteza associada foram semelhantes, na ausência da ventilação corresponde a 1221±50 ppm, já no sistema VMC corresponde a 1147±50 ppm. O mesmo acontece no caso dos valores mínimos registados, no sistema VMC o valor mínimo foi de 737±50 ppm, e sem ventilação foi de 798±50 ppm. A mediana dos valores globais sem ventilação foi de 975±50 ppm, já no sistema VMC este valor diminui para 846±50 ppm.

Esta diferença nos resultados obtidos, evidência as taxas de variação de CO₂, na ausência de ventilação, houve um aumento significativo de CO₂, com uma taxa de variação de 9,2 ppm/min, o que indica um acúmulo contínuo de CO₂ na sala, devido à ausência de renovação do ar. Por outro lado, com o sistema VMC, a taxa de variação foi de -4,05 ppm/min, demonstrando uma redução nas concentrações de CO₂ ao longo do tempo, refletindo a eficácia do sistema em extrair o ar viciado e insuflar ar novo. A diferença entre as taxas de variação reforça o papel da VMC na manutenção da QAI, uma vez que a ventilação mecânica não apenas evitou o aumento dos níveis de CO₂, mas também conseguiu estabilizá-los em valores mais baixos.

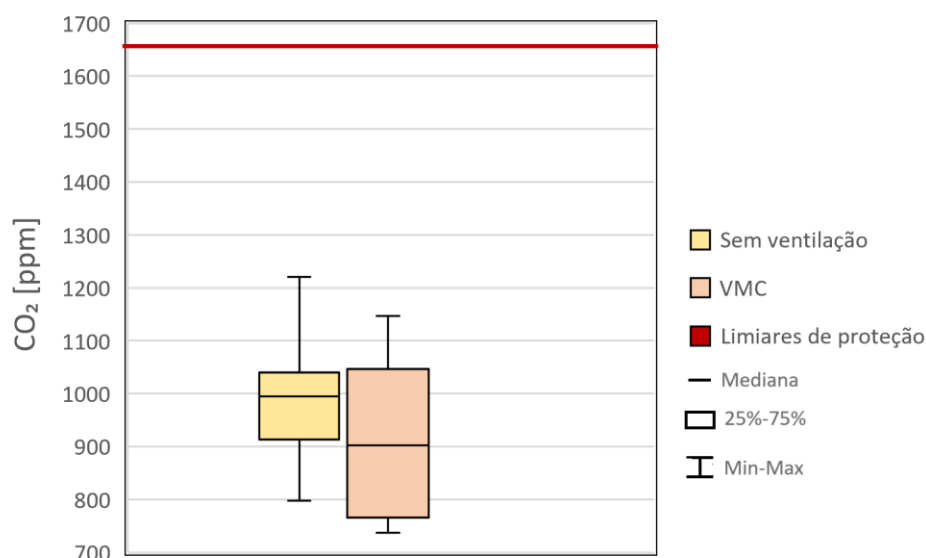


Figura 53 - Resultados dos níveis de CO₂ no ar interior na 2ª campanha

A análise representada na Figura 54 das partículas em suspensão, PM_{2.5}, permite verificar os resultados obtidos dos níveis de PM_{2.5} encontraram-se, abaixo dos limiars de proteção de 50 µg/m³. O intervalo de valores foi maior no sistema VMC, cujos valores estão compreendidos entre 23±0,1 e 28±1 µg/m³, com mediana de valor 25±1 µg/m³. Na primeira parte da palestra, sem ventilação os resultados estão compreendidos entre 23±1 a 26±1 µg/m³, cuja mediana corresponde a 25±1 µg/m³.

Contudo, uma vez que o ar de admissão não provém diretamente do exterior, mas sim de uma sala de temperatura controlada, a filtragem da ventilação é influenciada pela mistura do ar de extração com o ar a ser insuflado. Com uma concentração de PM_{2.5} de 29±1 µg/m³, o ar de

Resultados e Discussão

admissão reflete essa mistura. Assim, a eficácia do sistema de filtragem pode estar comprometida, pois, dado que os valores de PM_{2.5} no ar de admissão estão muito próximos aos medidos no ar interior, a eficiência do sistema de filtragem G4 poderá ter comprometido os resultados tendo em conta que há mistura do ar de insuflação e de extração.

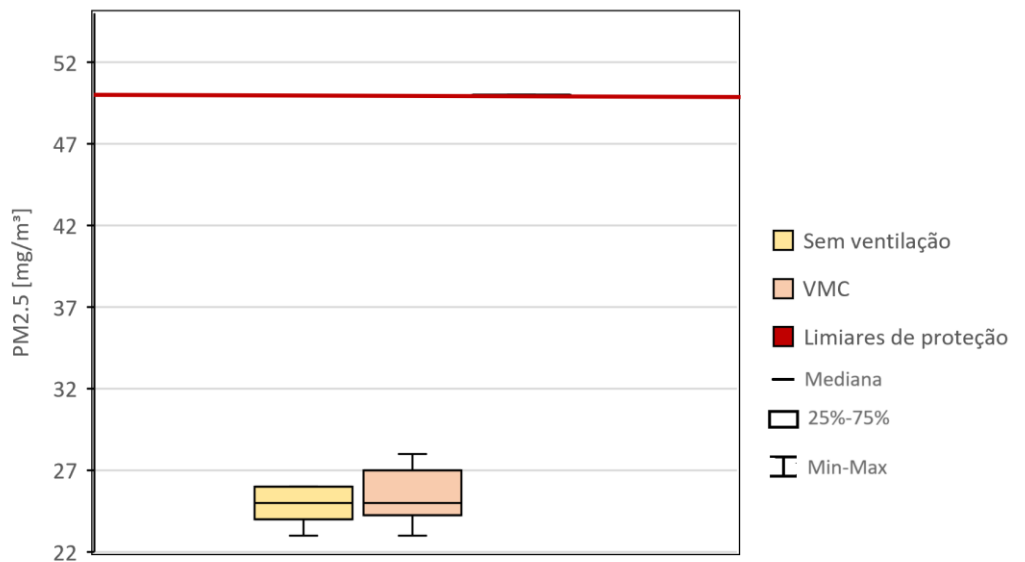


Figura 54 - Resultados dos níveis de PM_{2.5} no ar interior na 2ª campanha

No caso dos níveis de PM₁₀, as concentrações apresentadas na Figura 55 estiveram dentro dos limiares de proteção, 100 µg/m³, quer no sistema VMC, quer sem ventilação. A variação dos valores de PM₁₀ sem ventilação foi de 27±1 a 33±1 µg/m³, com o respetivo valor de mediana de 30±1 µg/m³. No caso do sistema VMC a variação dos valores foi maior no sistema VMC tendo sido registado valores entre 26±1 a 33±1 µg/m³, cujo valor de mediana foi de 29±1 µg/m³.

Semelhante aos resultados obtidos nos níveis de PM_{2.5}, a mediana do sistema VMC de 29±1 µg/m³, cujo valor dá uma melhor representação da concentração dos resultados, é muito próxima do valor registado no ar de admissão nos níveis de PM₁₀, de 34±1µg/m³ tendo em conta a incerteza associada. Estes resultados, sugerem que apesar de os valores registados se encontrarem dentro dos limiares de proteção de 100 µg/m³, a filtragem do sistema pode não ter proporcionado uma redução significativa em relação à concentração do PM₁₀ no ar de admissão.

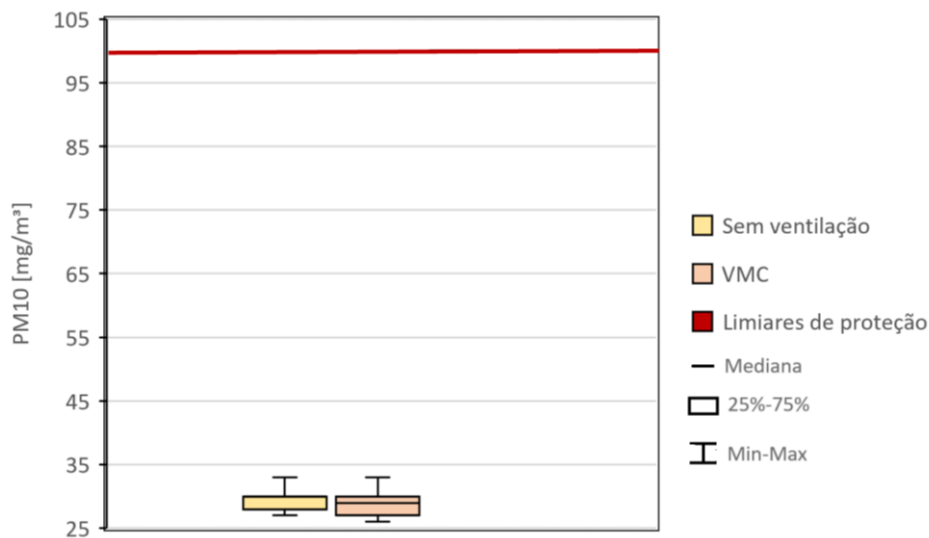


Figura 55 - Resultados dos níveis de PM₁₀ no ar interior na 2ª campanha

Assim como na 1ª campanha, os valores registrados de CO e COV foram nulos em ambas as situações, sem ventilação e com VMC, conforme representado na Tabela 21, pelo que não se justificou a análise detalhada destes poluentes.

Os níveis de CO₂ máximos registrados assinalados a amarelo na Tabela 21 estiveram elevados em ambas as situações, sem ventilação e com VMC, embora não tenham ultrapassado os limiares de proteção de 1656 ppm. Na ausência de ventilação, a taxa de variação de CO₂ foi de 9,2 ppm/min, mostrando a acumulação de CO₂ no ar interior, atingindo um máximo de 1221±50 ppm. Com a VMC, a taxa de variação de CO₂ diminuiu, com um valor de -4,05 ppm/min, indicando a remoção de CO₂, diminuindo as concentrações para um valor de 798±50ppm através da renovação do ar.

Os níveis de PM₁₀ e PM_{2.5} registrados foram cerca de duas vezes menores que os limiares de proteção no caso dos PM_{2.5}, e cerca de três vezes menores no caso dos PM₁₀ inferiores aos limiares de proteção, tendo em conta as margens de tolerância e os limiares de proteção para os valores de temperatura e pressão, registradas, de acordo com a Portaria n.º 138-G/2021

Tabela 21 - Valores máximos, mínimos e mediana dos parâmetros medidos sem ventilação na 2ª campanha

1ª Parte - Sem ventilação						
Parâmetro	CO [ppm]	CO ₂ [ppm]	COV [µg/m ³]	PM _{2.5} [µg/m ³]	PM ₁₀ [µg/m ³]	Taxa de variação de CO ₂ [ppm/min]
Mínimo	0	798±50	0	23±1	27±1	9,2
Máximo	0	1221±50	0	26±1	33±1	
Mediana	0	975±50	0	25±1	30±1	
Limiares de proteção	9	1656	1200	50	100	
2ª Parte – VMC						
Parâmetro	CO [ppm]	CO ₂ [ppm]	COV [µg/m ³]	PM _{2.5} [µg/m ³]	PM ₁₀ [µg/m ³]	Taxa de variação de CO ₂ [ppm/min]
Mínimo	0	737±50	0	23±1	26±1	-4,05
Máximo	0	1147±50	0	28±1	33±1	
Mediana	0	846±50	0	25±1	29±1	
Limiares de proteção	9	1656	1200	50	100	

4.3. Comparação da ventilação: natural e mecânica controlada

A análise comparativa das concentrações de CO₂, representada na Figura 56 ilustra os níveis de CO₂ obtidos em cada cenário de ventilação, natural e VMC, na primeira campanha e segunda campanha, respetivamente, no caso de estudo com a presença de 10 pessoas.

A ventilação natural, apresenta uma concentração inicial elevada de 802±50 ppm diminuindo rapidamente para uma concentração de 451±ppm, estabilizando os seus valores para um valor mediano de 487±50 ppm. Verificando-se uma taxa de variação de CO₂ de -7,11 ppm/min, atingindo os valores de 482±50 ppm num espaço temporal de 45 minutos.

Por outro lado, a VMC, regista um valor inicial significativamente mais alto de 1140±50 ppm, diminuindo gradualmente ao longo do tempo para uma concentração de 886±50 ppm, estabilizando os seus valores para cerca de 767±50 ppm. A taxa de variação na VMC é mais elevada comparativamente à da ventilação natural, com um valor de -4,05 ppm/min, mostrando uma redução dos níveis de CO₂ mais lenta em comparação com a ventilação natural.

Ambos os sistemas de ventilação mantêm os níveis de CO₂ abaixo do limiar de proteção, 1656 ppm. Contudo, tendo em conta as taxas de variação de CO₂, a redução de CO₂ foi mais eficaz na ventilação natural, atingindo valores mais baixos semelhantes aos do ar exterior, de 374±50 ppm, num espaço de tempo mais curto, de 45 minutos. Por outro lado, a VMC apresenta uma redução mais controlada e consistente, embora mais lenta, dos níveis de CO₂.

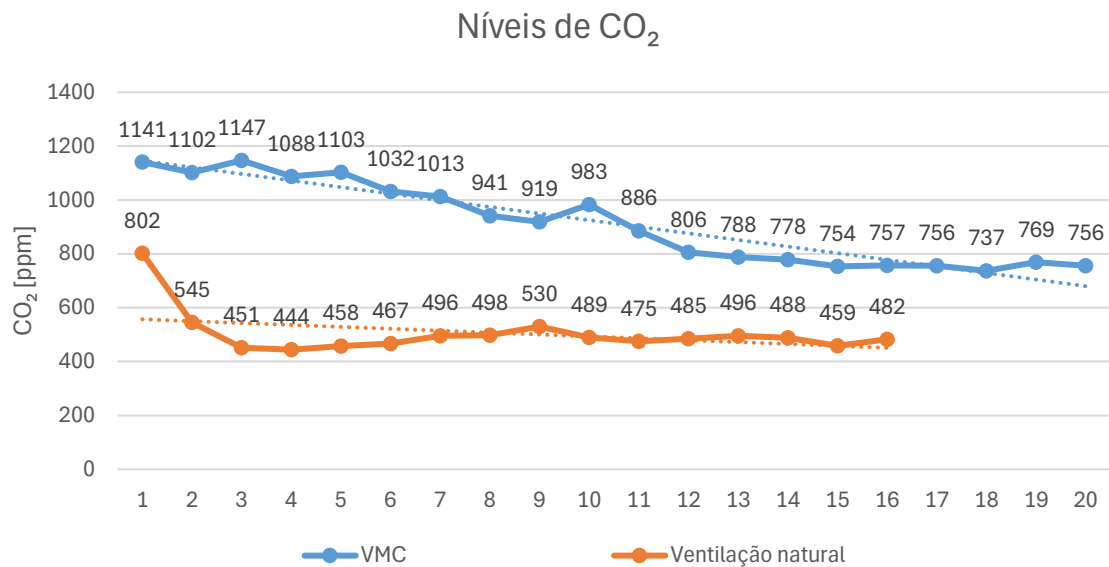


Figura 56 - Análise comparativa dos níveis de CO₂

Foram analisados os níveis de temperatura registados em cada campanha na ventilação natural e VMC, representados na Figura 57, considerando uma temperatura de conforto térmico de 27°C para a VMC e de 29°C para a ventilação natural (Standard, 2007).

Na VMC, a temperatura inicial foi de 29±0,3°C, diminuindo para um valor de 26,2±0,3°C num espaço temporal de 95 minutos. Embora a temperatura inicial se encontre acima da temperatura de conforto térmico, 27°C, a VMC conseguiu reduzir de forma eficaz a temperatura de forma a obter valores semelhantes à da temperatura de conforto térmico.

Contudo, na ventilação natural, a temperatura inicial registada foi de 25,3±0,3°C, diminuindo para uma temperatura de 23,4±0,3°C, aproximando-se da temperatura do ar exterior, de 20±0,3°C, registada na primeira campanha. Os valores de temperatura registados na ventilação natural são inferiores à temperatura de referência de 29°C de conforto térmico.

Resultados e Discussão

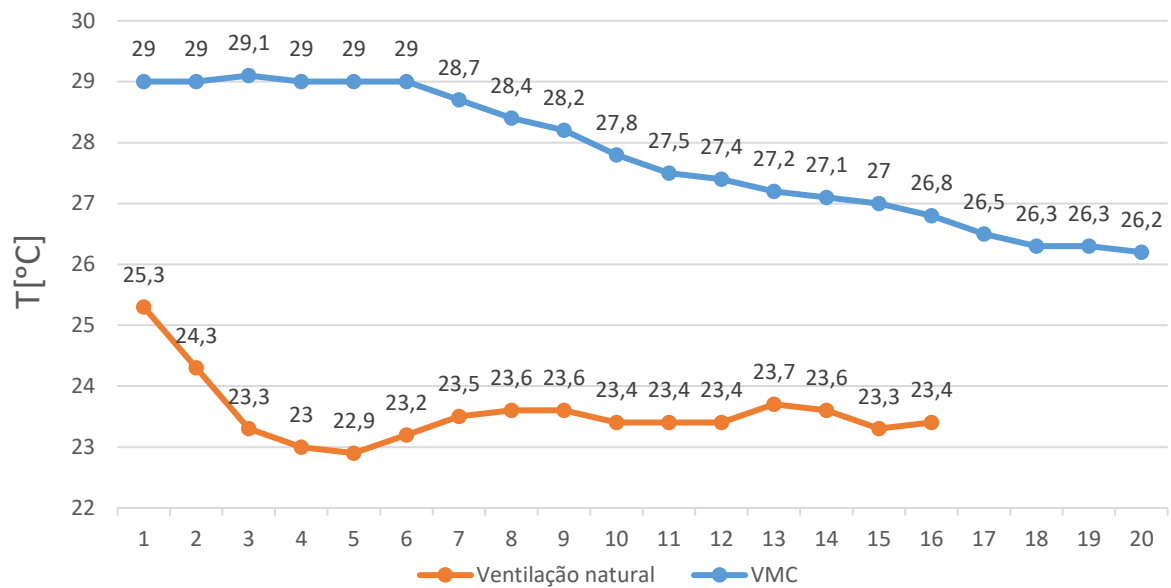


Figura 57 - Análise comparativa dos níveis de temperatura na VMC e na ventilação natural

Os valores registados para a humidade relativa em cada campanha para a ventilação natural e VMC tiveram em conta os níveis de conforto de 40-60% (Albelda-Estellés Ness, 2023).

Na ventilação natural, os valores registados de humidade relativa, apresentados na Figura 58, variaram entre $53,3 \pm 1,8\%$ e $50,7 \pm 1,8\%$, tendo em conta a incerteza associada, esta variação não é significativa. Os valores registados neste cenário de ventilação encontraram-se dentro dos níveis de conforto, 40-60%, o que permite perceber que a ventilação natural foi eficaz em garantir que os níveis de humidade relativa se mantinham em níveis confortáveis.

Por outro lado, na VMC, os níveis de humidade relativa registados ao longo da segunda campanha, variaram entre $47,1 \pm 1,8\%$ a $53,7 \pm 1,8\%$. Embora estes valores se encontrem dentro dos níveis de conforto, 40-60%, verifica-se na VMC uma variação maior em comparação à ventilação natural. Isto deve-se ao facto de a VMC permitir um maior controlo mecânico que ajusta a humidade de acordo com as necessidades específicas do ambiente havendo uma maior regularização deste parâmetro na VMC.

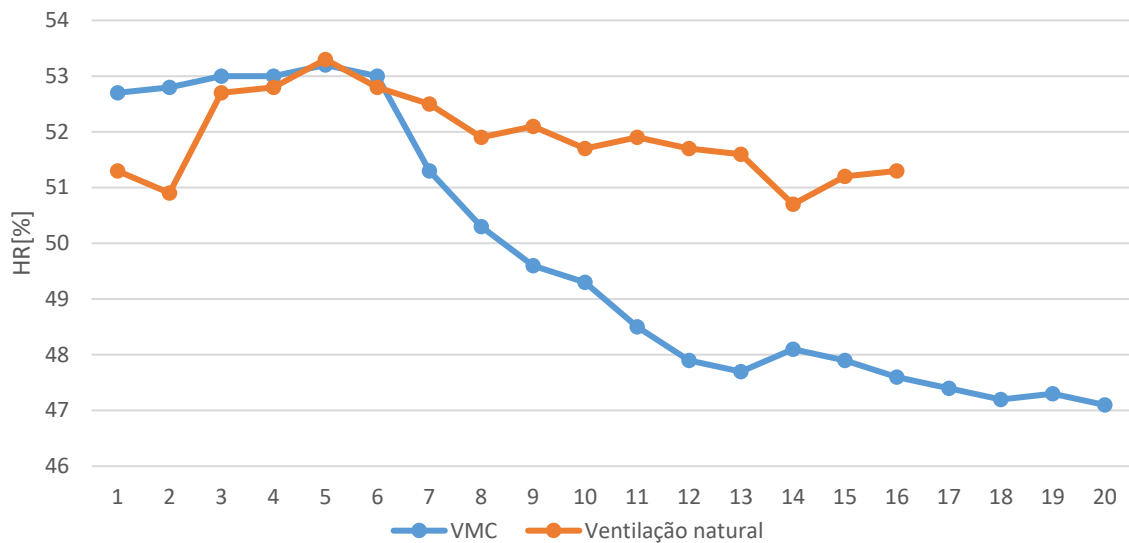


Figura 58 – Análise comparativa da humidade relativa na VMC e ventilação natural

Na análise da Figura 59, verifica-se que para a primeira campanha, na ventilação natural o intervalo de valores obtidos foi de 444 ± 50 ppm a 802 ± 50 ppm, havendo um aumento no intervalo de valores obtidos na segunda campanha para a VMC de 737 ± 50 ppm a 1147 ± 50 ppm, sendo que em nenhuma das ventilações foi ultrapassado o limite legal de 1656 ppm.

Na VMC, a mediana dos níveis de CO_2 foi de 846 ± 50 ppm, apresentando um valor mais elevado em comparação à ventilação natural, 487 ± 50 ppm, mesmo considerando a incerteza associada de ± 50 ppm, apresenta uma variação significativa nos resultados obtidos. A taxa de variação de $-4,05$ ppm/min, é superior na VMC comparando com a ventilação natural, cuja taxa de variação de CO_2 é de $-7,11$ ppm/min. Estes resultados indicam que embora a VMC seja eficaz na redução dos níveis de CO_2 , mantendo abaixo dos limiares de proteção, é menos eficiente em reduzir rapidamente os níveis de CO_2 . Tendo por base os resultados obtidos a ventilação natural é mais eficaz na renovação do ar interior em comparação à VMC.

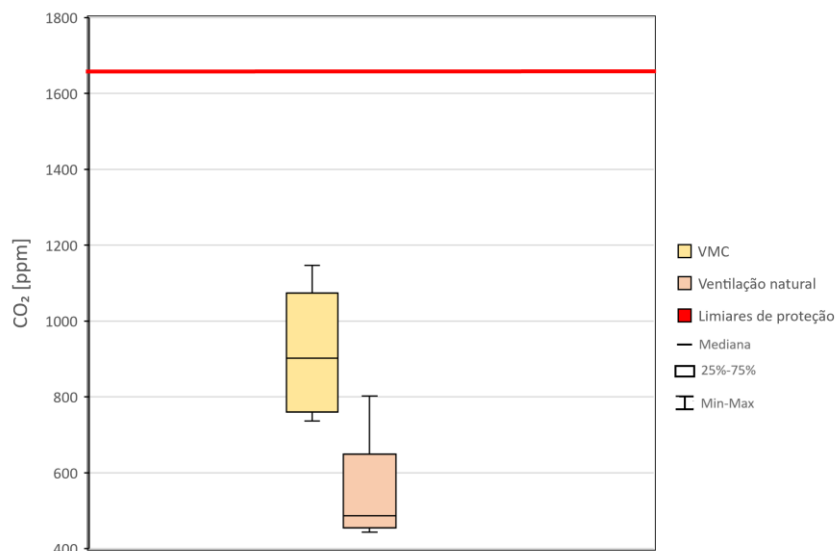


Figura 59 - Resultados dos níveis de CO_2 no ar interior na ventilação de cada campanha

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos dos níveis de $PM_{2.5}$, representados na Figura 60, com os dois tipos de ventilação em estudo, VMC e ventilação natural, mostram diferenças importantes na eficácia da remoção deste poluente no ar interior.

Na VMC regista-se um valor máximo de $28 \pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, um mínimo de $23 \pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e uma mediana de $25 \pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Comparando com a ventilação natural, verifica-se um aumento nos valores da ventilação natural, que apresenta um valor máximo de $36 \pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, um mínimo de $30 \pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e uma mediana de $31 \pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Contudo, nas duas estratégias de ventilação em estudo, VMC e ventilação natural, verificou-se que os níveis de $PM_{2.5}$, se encontraram inferiores ao limiar de proteção de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

No caso da VMC, comparando com o ar de admissão cuja concentração de $PM_{2.5}$, foi de $29 \pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tendo em conta a incerteza associada de $\pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, verifica-se que os valores obtidos de níveis de $PM_{2.5}$, não apresentam uma variação significativa, algo que seria expectável, uma vez que a VMC possui sistema de filtragem ao contrário da ventilação natural. Contudo, a mistura de ar de extração com o ar de admissão na sala de temperatura controlada, permite a reintrodução de poluentes que já foram removidos, reduzindo assim a eficácia da filtragem. Esta mistura do ar de extração com o ar de admissão, compromete a qualidade do ar interior no ar a ser insuflado assim como a eficácia da filtragem G4.

Por outro lado, na ventilação natural regista-se um aumento dos níveis de $PM_{2.5}$, devido à introdução de poluentes provenientes do ar exterior, com uma concentração de $PM_{2.5}$ de $44 \pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e uma mediana de valores registados na ventilação natural de $31 \pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A ausência de um sistema de filtragem na ventilação natural, permite a introdução do ar exterior no ar interno direta, havendo uma diluição dos poluentes provenientes do ar exterior, no ar interior, levando ao aumento destas concentrações.

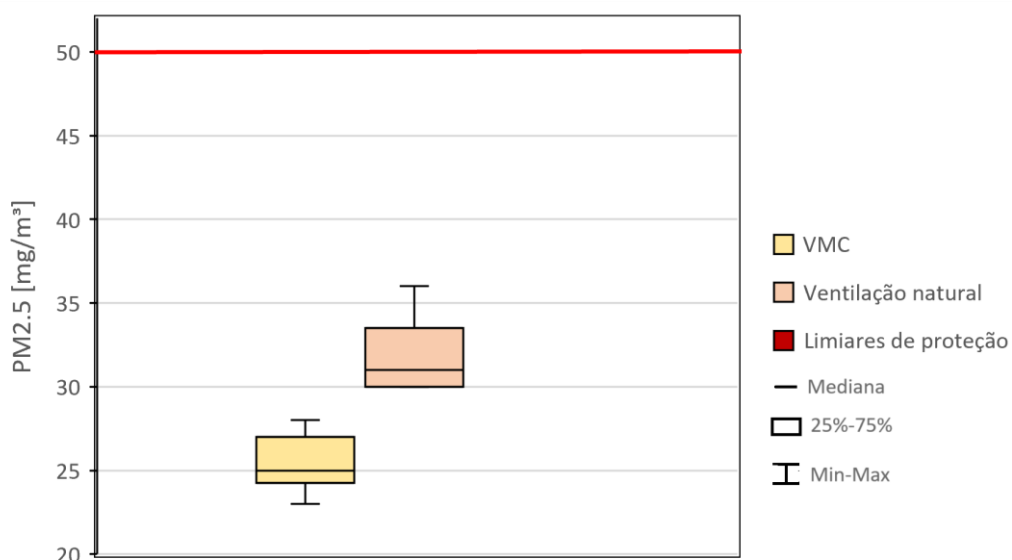


Figura 60 - Resultados dos níveis de $PM_{2.5}$ no ar interior na ventilação de cada campanha

Para as concentrações de PM_{10} com os dois tipos de ventilação, ventilação natural da primeira campanha e VMC na segunda campanha representados na Figura 61, verifica-se um aumento dos níveis registados de PM_{10} na ventilação natural. Para a VMC, os valores de PM_{10} foram de

$33\pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (máximo), $26\pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (mínimo) e $29\pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (mediana). Estes valores são mais baixos do que os obtidos com a ventilação natural, que apresentou um máximo de $40\pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, um mínimo de $32\pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e uma mediana de $35\pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Contudo, em ambos os cenários de cada campanha foi respeitado os limiares de proteção de PM_{10} , $100\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Semelhante aos resultados obtidos nos níveis de $\text{PM}_{2,5}$, considerando a incerteza de $\pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, não se verifica praticamente variação dos níveis de PM_{10} no ar de admissão, $34\pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, comparado com o ar interior, com uma mediana de $29\pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estes resultados vão de encontro aos resultados obtidos nos níveis de $\text{PM}_{2,5}$, onde se verifica que efetivamente a contaminação cruzada de poluentes através da mistura de ar de extração com o ar de admissão da VMC, compromete a eficácia da filtragem.

Na ventilação natural, novamente regista-se valores mais elevados, uma vez que não existe nenhum estágio de filtragem neste tipo de ventilação, pelo que o aumento de concentrações de PM_{10} no espaço, deve-se à entrada de poluentes do ar exterior, cuja concentração de PM_{10} , foi de $53\pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, através da renovação do ar interior com o ar exterior.

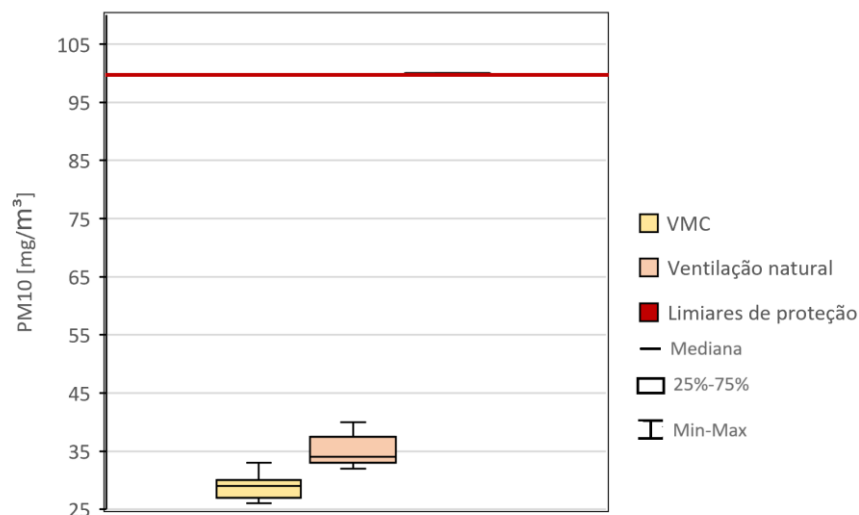


Figura 61 - Resultados dos níveis de PM_{10} no ar interior na ventilação de cada campanha

Os valores registados de CO e COV foram nulos em ambas as situações, na ventilação natural e na VMC, representado na Tabela 22, respetivamente, refletindo a ausência de fontes significativas destes dois poluentes no ar interior, não sendo por isso relevante a análise comparativa destes parâmetros em cada ventilação.

Os níveis de CO_2 mais elevados foram registados na VMC, cuja mediana apresenta um valor de mediana foi de 846 ± 50 ppm enquanto a ventilação natural apresenta a mediana corresponde a um valor de 487 ± 50 ppm. Esses valores comparados com a taxa de variação de CO_2 mostram que a ventilação natural foi mais rapidamente eficaz na redução dos níveis de CO_2 , com uma taxa de variação correspondente a $-7,11\text{ppm}/\text{min}$ enquanto na VMC este valor foi de $-4,05\text{ppm}/\text{min}$.

Contudo, embora o valor máximo de CO₂ na VMC, de 1147±50 seja um valor alarmante, não se verificou em nenhuma das ventilações valores registados acima dos limiares de proteção para cada parâmetro, tendo em conta as margens de tolerância e os limiares de proteção para os valores de temperatura e pressão, registadas, de acordo com a Portaria n.º 138-G/2021.

Tabela 22 - Valores máximos, mínimos e médios dos parâmetros medidos para cada campanha e ventilação

1ª Campanha – 21 de junho – Ventilação natural						
Parâmetro	CO [ppm]	CO ₂ [ppm]	COV [µg/m ³]	PM _{2.5} [µg/m ³]	PM ₁₀ [µg/m ³]	Taxa de variação de CO ₂ [ppm/min]
Mínimo	0	444±50	0	30±1	32±1	-7,11
Máximo	0	802±50	0	36±1	40±1	
Mediana	0	487±50	0	31±1	35±1	
Limiares de proteção	9	1656	1200	50	100	
2ª Campanha – 8 de agosto – VMC						
Parâmetro	CO [ppm]	CO ₂ [ppm]	COV [µg/m ³]	PM _{2.5} [µg/m ³]	PM ₁₀ [µg/m ³]	Taxa de variação de CO ₂ [ppm/min]
Mínimo	0	737±50	0	28±1	33±1	-7,11
Máximo	0	1147±50	0	23±1	26±1	
Mediana	0	846±50	0	25±1	29±1	
Limiares de proteção	9	1656	1200	50	100	

4.4. Análise Económica

Para determinar a melhor solução de ventilação para a qualidade do ar interior (QAI), é essencial realizar uma análise económica que permita entender os custos envolvidos em cada tipo de ventilação. A análise financeira é um fator importante na escolha da solução mais adequada para garantir uma boa QAI, uma vez que uma solução com menor custo inicial será mais atrativa comparado a uma solução com um orçamento mais elevado.

Esta análise económica irá avaliar o investimento inicial, custos energéticos e de manutenção para cada ventilação, tendo como referência o período de um ano para os cálculos.

O investimento inicial associado à VMC é de 4600€, considerando-se no caso da ventilação natural este investimento seja nulo, uma vez que no caso de estudo esta foi feita através da abertura de janelas. A poupança no investimento inicial da ventilação natural é significativa, contudo, o dimensionamento de um sistema VMC requer o uso de grelhas de insuflação, extração, tubagem, recuperador de calor contrafluxo e sistema de filtragem, que iram implicar um custo maior e poderão ter um maior impacto na QAI.

Para o cálculo dos custos anuais elétricos foi tido em conta a equação (14).

$$\text{Custo elétrico anual} = \text{Consumo elétrico anual} \times \text{Preço eletrecidade} \quad (14)$$

Em que o *Consumo elétrico anual* se expressa em [*kW.h*], e o *Preço eletricidade* em [*€/kW.h*].

Foi tido como referência para preço de eletricidade o valor de 0,155 €/kW.h , da EDP, tendo sido obtido os valores de consumo elétrico e respetivo custo na Tabela 23.

Tabela 23 - Custo elétrico anual

	Ventilação natural	VMC
Consumo elétrico anual	0 <i>kW.h</i>	236,52 <i>kW.h</i>
Custo elétrico anual	0€	36,66€

A ausência de custos energéticos na ventilação natural é um dos principais fatores que contribuem para a sua eficiência económica. Como a ventilação natural não depende de equipamentos mecânicos, como ventiladores ou motores, não há consumo de energia elétrica. Isso significa que, ao longo do tempo, não há despesas associadas ao funcionamento contínuo do sistema, resultando em uma economia significativa.

Contudo, também o valor de consumo energético para o caso em estudo da VMC é bastante baixo, pelo que embora na ventilação natural não haja custos energéticos, o consumo elétrico da VMC não é o maior fator decisivo na análise económica da VMC.

Os custos de manutenção anual para cada ventilação encontram-se na Tabela 24. Verificando-se que na ventilação natural não apresenta custo, uma vez que ao contrário da VMC esta ventilação não possui filtragem pelo que não constitui custos de manutenção associados. Na VMC, verifica-se um custo associado de manutenção de 112,54€, devido à manutenção do sistema de filtragem do equipamento SABIK350, com uma manutenção de 6 em 6 meses. Esta manutenção é necessária de forma a garantir a eficácia da filtragem do equipamento, assim como ilustrado na Figura 62 que mostra a diferença clara entre um filtro novo e um filtro saturado.

Tabela 24 - Custos de manutenção em cada ventilação

	Ventilação natural	VMC
Custos de manutenção anual	0€	112,54€

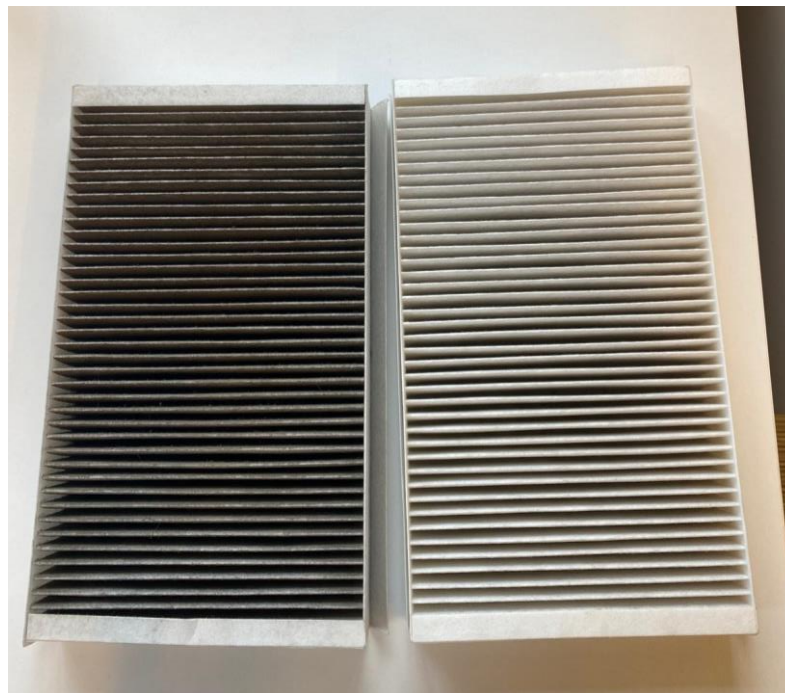


Figura 62 - Comparação de um filtro saturado com um filtro novo

Depois de calcular os custos anuais de eletricidade e de manutenção é possível determinar quais os custos anuais associados para cada sistema, fazendo uso da equação (15).

$$\text{Custos totais anuais} = \sum \text{Custos totais} \quad (15)$$

Na Tabela 25 encontra-se representado os custos totais associados a cada ventilação.

Tabela 25 - Custos totais anuais associados a cada ventilação

	VMC	Ventilação natural
Custo anual de eletricidade	36,66€	0€
Custo anual de manutenção	112,54€	0€
Custos totais anuais	149,2€	0€

A ventilação natural é a opção mais economicamente viável, não apresenta custos de manutenção nem energéticos, o que significa que, não há despesas recorrentes, tornando-a extremamente económica a longo prazo. A ausência de componentes mecânicos, elimina a necessidade de manutenção regular e substituição de peças, além de não haver consumo de energia elétrica, o que contribui para uma maior eficiência energética e sustentabilidade. Enquanto na VMC, verifica-se um custo de instalação, de 4600€ e despesas recorrentes anuais de 149,2€, que incluem a manutenção e o consumo de energia.

5. Conclusão

Neste capítulo é apresentado num subcapítulo as conclusões finais tendo por base os resultados obtidos no capítulo 4 e as limitações do trabalho assim como sugestões de trabalhos futuros.

5.1. Conclusões finais

Os ambientes interiores são influenciados por uma variedade de fatores que impactam diretamente a saúde e o conforto dos ocupantes. Para garantir um ambiente saudável, é essencial manter uma QAI adequada, equilibrando os níveis de ventilação e controle de poluentes. Estudos indicam uma ligação direta entre a concentração de poluentes como CO₂, partículas em suspensão (PM_{2.5} e PM₁₀) e sintomas de desconforto respiratório e fadiga apresentados pelos ocupantes.

Para mitigar esses efeitos, é crucial compreender as fontes de poluição presentes no espaço e a eficácia da remoção dos poluentes das estratégias de ventilação aplicadas. A ventilação, seja natural ou mecânica, é fundamental para promover a diluição de poluentes e evitar a acumulação de poluentes no ambiente interior. No presente estudo, analisou-se o impacto da ventilação natural e VMC em ambiente de palestra, com o objetivo de constatar a sua eficácia na manutenção da QAI dentro dos limites legais, sem colocar em causa o conforto dos ocupantes.

A seleção dos parâmetros a medir permitiu perceber em que poluentes do ar interior no caso em estudo a ventilação poderia ter um impacto significativo. Este impacto é bastante importante e tem vindo a ganhar atenção pelas entidades reguladoras especificamente pelas consequências adversas que os níveis dos poluentes da QAI podem ter na saúde dos ocupantes, bem como, no conforto dos mesmos. Em complemento, a caracterização do espaço de estudo permitiu perceber de uma forma detalha o funcionamento do sistema VMC, as suas limitações e a sua influência nos parâmetros da QAI.

A partir dos níveis obtidos na 1ª e 2ª campanha na ausência de ventilação, consegue-se perceber a necessidade da ventilação na QAI. Os níveis de CO₂ apresentaram quer na primeira campanha quer na 2ª campanha uma tendência a aumentar ao longo do tempo, algo verificado pelas taxas de variação de CO₂ registadas quer na primeira como na segunda campanha, na ausência de ventilação, cujo valor foi de 15,64 ppm/min e 9,2 ppm/min, respetivamente. Isto deve-se à falta de renovação do ar interior, tendo sido as taxas de variação de CO₂ mais

Conclusão

elevadas, registadas no ar interior sem ventilação. A falta de ventilação impede a diluição e remoção dos poluentes do ar, o que leva a um aumento da concentração desses poluentes e, consequentemente, a uma deterioração da qualidade do ar interior.

A redução das concentrações de CO₂ foi bastante mais rápida na ventilação natural, com uma taxa de variação de -7,11 ppm/min. Foram registados níveis mais baixos de CO₂ na ventilação natural em comparação com a VMC. Isto deve-se ao facto de com a abertura de janelas e diferença de temperaturas e pressão do interior para o exterior permitiu uma renovação do ar muito mais eficaz e rápida devido a forças de fluabilidade. Contudo, aos níveis das partículas em suspensão, quer PM_{2.5} quer PM₁₀ foi na ventilação natural que foram registados os valores mais elevados, com valores máximos de PM_{2.5} de 36±1µg/m³, enquanto sem ventilação o valor máximo registado nas campanhas foi de 30±1µg/m³ e 28±1µg/m³, na VMC; e níveis de PM₁₀ máximos de 40±1µg/m³, enquanto sem ventilação o valor máximo registado nas campanhas foi de 36±1µg/m³ e 33±1µg/m³, na VMC. Contudo, tendo em conta a incerteza associada e os limiares de proteção de PM_{2.5} e PM₁₀ de 50 µg/m³ e 100µg/m³, respetivamente, estes valores não são alarmantes e mostram que a VMC, embora condicionada pelas concentrações do ar exterior, consegue no presente caso de estudo, manter os níveis dos poluentes físico-químicos abaixo dos níveis dos limiares de proteção. No caso da temperatura e humidade a ventilação natural não se aproxima dos níveis de conforto, diminuindo a temperatura do ar interior para valores semelhantes ao do ar exterior.

A VMC embora não tenha diminuído as concentrações de CO₂ para intervalos tão baixos como os da ventilação natural, a análise temporal permitiu concluir que as concentrações de CO₂ diminuíram de uma forma gradual, a uma taxa de variação de -4,05 ppm/min. A ventilação mecânica controlada, embora tenha apresentado uma taxa de renovação de CO₂ mais lenta, apresenta valores das concentrações das partículas em suspensão mais baixas que a ventilação natural, com uma mediana de valores de 35±1 µg/m³ e 29±1 µg/m³, nos níveis de PM₁₀ na ventilação natural e na VMC respetivamente, e com uma mediana de 25±1µg/m³ e 31±1µg/m³, na VMC e ventilação natural nos níveis de PM_{2.5}. Contudo, tendo em conta as concentrações do ar do ar de admissão de 34 ±1µg/m³ e 29±1µg/m³ bastante semelhantes às do ar de admissão e tendo em conta a eficácia de filtragem que no caso dos PM₁₀, é de apenas 35% e nos PM_{2.5} é de apenas 20%, juntamente com a mistura do ar extração com o ar de insuflação, a grande vantagem da VMC no que toca à manutenção da QAI em comparação à ventilação natural, mostra-se não tão eficaz quanto o expectável. No entanto, é de salientar que a VMC, através dos resultados obtidos consegue regular a temperatura e a humidade de uma forma mais controlada que a ventilação natural.

Dado que a ventilação natural apresentou uma maior eficácia na redução de CO₂, aliada a uma manutenção de níveis aceitáveis de PM_{2.5} e PM₁₀ e ao baixo custo de instalação, parece ser a solução mais indicada para o caso em estudo. A ventilação mecânica, embora vantajosa em termos de controle contínuo e filtragem, mostrou-se menos eficaz em diluir os poluentes e tem custos mais elevados, o que pode não justificar a sua aplicação no cenário específico do seu estudo, especialmente considerando que a ventilação natural também manteve os níveis de partículas em suspensão dentro dos limiares de proteção.

5.2. Limitações e trabalhos futuros

Como trabalhos futuros, propõem-se a amplificação do estudo em várias estações do ano de forma a perceber as flutuações dos resultados em cada ventilação.

O complemento da monitorização da QAI com a análise do conforto térmico do caso em estudo, permitiria uma abordagem completa ao conforto e saúde dos ocupantes bem como às necessidades de ventilação no caso de estudo.

Referências

- ADENE (2016) 'Sistemas de Ventilação', *10 Soluções de Eficiência Energética*, p. 12.
- Afshar-Mohajer, N. *et al.* (2018) 'Evaluation of low-cost electro-chemical sensors for environmental monitoring of ozone, nitrogen dioxide, and carbon monoxide', *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 15(2), pp. 87–98. Available at: <https://doi.org/10.1080/15459624.2017.1388918>.
- 'AIVC Guide to Ventilation i' (no date).
- Albelda-Estellés Ness, M.C. (2023) 'Indoor relative humidity: relevance for health, comfort, and choice of ventilation system', (November). Available at: <https://doi.org/10.4995/vibrarch2022.2022.15237>.
- Alves, H., Alves, L. and Lobarinhas, P. (2017) 'Ventilation and energy efficiency of buildings', *International Congress on Engineering* [Preprint].
- Amaral, M. (2008) 'Sistemas de Ventilação Natural e Misto em Edifícios ee Habitação', *PhD Thesis - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto* [Preprint].
- 'Ambiente 2022/2023' (2023).
- Ambiente, A. portuguesa do (no date) *Ar e Ruído - Índice de qualidade do ar, 16 Maio, 2023*.
- APA (2021) *No Title*. Available at: <https://apambiente.pt/prevencao-e-gestao-de-riscos/mapa-de-suscetibilidade-ao-radao>.
- Awbi, H.B. (2007) *Ventilation Systems Design and Performance*.
- Awbi, H.B. (2015) 'Ventilation and Air Distribution Systems in Buildings', *Frontiers in Mechanical Engineering*, 1(April), pp. 1–4. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmech.2015.00004>.
- Awbi, H.B. (2017) 'Ventilation for good indoor air quality and energy efficiency', *Energy Procedia*, 112(October 2016), pp. 277–286. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1098>.
- Ben-David, T. and Waring, M.S. (2016) 'Impact of natural versus mechanical ventilation on simulated indoor air quality and energy consumption in offices in fourteen U.S. cities', *Building and Environment*, 104, pp. 320–336. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.05.007>.
- Bownass, D. (2002) *Building Services Design Methodology: A Practical Guide, Building Services Design Methodology: A Practical Guide*. Available at: <https://doi.org/10.4324/9780203478707>.
- Braish, T. *et al.* (2023) 'Evaluation of the seasonal variation of VOC surface emissions and indoor air concentrations in a public building with bio-based insulation', *Building and*

Referências

- Environment*, 238(March). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110312>.
- Briones, C. *et al.* (2023) 'Multiparametric analysis for the determination of radon potential areas in buildings on different soils of volcanic origin', *Science of the Total Environment*, 885(February). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163761>.
- Carvalho, F.P. (2005) 'RADÃO E EDIFÍCIOS. Qualidade do ar interior', 1, pp. 127–135.
- Castellani, F. *et al.* (2024) 'Effective mitigation strategies for reducing workers' exposure to formaldehyde: a systematic review', *Air Quality, Atmosphere and Health*, 17(4), pp. 877–890. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11869-023-01471-5>.
- Cavaliere, A. *et al.* (2018) 'Development of Low-Cost Air Quality Stations for Next Generation Monitoring Networks : Calibration and Validation of PM 2.5 and PM 10 Sensors', pp. 1–20. Available at: <https://doi.org/10.3390/s18092843>.
- Chen, J. *et al.* (2019) 'Impact of outdoor air quality on the natural ventilation usage of commercial buildings in the US', *Applied Energy*, 235(October 2018), pp. 673–684. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.020>.
- Chung, K.C. and Hsu, S.P. (2001) 'Effect of ventilation pattern on room air and contaminant distribution', *Building and Environment*, 36(9), pp. 989–998. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(00\)00051-2](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00051-2).
- Co, S. and Higrométrica, T. (no date) 'Fich a Tecni ca'.
- Dehghani, M.H. *et al.* (2020) 'Levels of formaldehyde in residential indoor air of Gonabad, Iran', *Human and Ecological Risk Assessment*, 26(2), pp. 483–494. Available at: <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1517020>.
- Diário da República, 1.ª série (2021) 'Saúde E Ambiente E Ação Climática', *Diário da República 1ª Série*, N°126(2), pp. 128/2-128/6.
- Dinh, T. *et al.* (2016) 'Sensors and Actuators B : Chemical A review on non-dispersive infrared gas sensors : Improvement of sensor detection limit and interference correction', *Sensors & Actuators: B. Chemical*, 231, pp. 529–538. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.03.040>.
- Dodd, N. and Donatello, S. (2020) 'Indoor air quality', (October).
- Ë O.S. (2016) 'Ventilation Strategies for Good Indoor Air Quality and Energy Efficiency Ventilation Strategies for Good Indoor Air Quality and Energy Efficiency', 3315. Available at: <https://doi.org/10.1080/14733315.2008.11683785>.
- Edif, G., Jorge, D.R. and Interior, A. (2022) 'Parte c'.
- Edition, F. (2022) 'Selection of EN ISO 16890 rated air filter classes for general ventilation applications', (JANUARY).
- Em, E. and De, U. (2019) 'A VALIAÇÃO DO IMPACTO DOS VENTILAÇÃO NA QUALIDADE DO AR DE'.
- Emmerich, S., Dols, W. and Axley, J. (2001) 'Natural ventilation review and plan for design and analysis tools', *National Institute of Standards and Technology*, NIS, p. 64. Available at: http://www.bfrl.nist.gov/IAQanalysis/docs/NISTIR_6781_NatVentTool.pdf.
- Energ, D. (2021) 'Manual SCE'.
- Energ, D. (2024) 'Manual SCE'.

Referências

- Energ, D., Energ, D. and Europeu, P. (2013) 'MINISTÉRIOS DO AMBIENTE , ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E ENERGIA , DA SAÚDE E DA SOLIDARIEDADE , EMPREGO E SEGURANÇA', (2), pp. 2–9.
- Energ, S. *et al.* (2009) 'NOTA TÉCNICA NT-SCE-02 Metodologia para auditorias periódicas de QAI em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE'.
- Evola, G. *et al.* (2016) 'Energy balances and payback time for controlled mechanical ventilation in residential buildings', *International Journal of Heat and Technology*, 34(Special Issue 2), pp. S315–S322. Available at: <https://doi.org/10.18280/ijht.34S218>.
- Evola, G. *et al.* (2017) 'Controlled mechanical ventilation systems in residential buildings: Primary energy balances and financial issues', *Journal of Building Engineering*, 11(December 2016), pp. 96–107. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jobte.2017.04.010>.
- Fang, L. *et al.* (2022) 'Indoor formaldehyde levels in residences , schools , and offices in China in the past 30 years : A systematic review', (August), pp. 1–17. Available at: <https://doi.org/10.1111/ina.13141>.
- Font, L. and Baixeras, C. (2003) 'The RAGENA dynamic model of radon generation , entry and accumulation indoors', 307, pp. 55–69.
- Francisco, P.W. *et al.* (2018) 'Carbon monoxide measurements in homes', *Science and Technology for the Built Environment*, 24(2), pp. 118–123. Available at: <https://doi.org/10.1080/23744731.2017.1372806>.
- Godishi, T. (1996) 'Relationships Between Ventilation and Indoor Air Quality : A Review', pp. 135–145.
- Grzywa-Celińska, A. *et al.* (2020) 'Radon—the element of risk. The impact of radon exposure on human health', *Toxics*, 8(4), pp. 1–20. Available at: <https://doi.org/10.3390/toxics8040120>.
- Guidebook, E. (2017) 'Eurovent Guidebook Air Filters for general ventilation', (March).
- Gunnarsen, L. *et al.* (2023) 'Indoor air quality guidelines from across the world : An appraisal considering energy saving , health , productivity , and comfort', 178(June). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108127>.
- Guo, C., Gao, Z. and Shen, J. (2019) 'Emission rates of indoor ozone emission devices : A literature review', *Building and Environment*, 158(February), pp. 302–318. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.05.024>.
- Halgamuge, M.N., Chan, T.K. and Mendis, P. (2009) 'Ventilation Efficiency and Carbon Dioxide (CO₂) Concentration', *PIERS Online*, 5(7), pp. 637–640. Available at: <https://doi.org/10.2529/piers090220144640>.
- Hodgkinson, J. *et al.* (2013) 'Sensors and Actuators B : Chemical Non-dispersive infra-red (NDIR) measurement of carbon dioxide at 4 . 2 μ m in a compact and optically efficient sensor', *Sensors & Actuators: B. Chemical*, 186, pp. 580–588. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2013.06.006>.
- Huijbregts, M.A.J. *et al.* (2005) 'Human-Toxicological Effect and Damage Factors of Carcinogenic and Noncarcinogenic Chemicals for Life Cycle Impact Assessment', 1(3), pp. 181–244. Available at: <https://doi.org/10.1897/2004-007R.1>.
- Humphreys, M. and Nicol, F. (2015) 'Environmental Design: CIBSE Guide A', *CIBSE Guide*, pp. 239–254. Available at: <http://www.cibse.org/knowledge/cibse-guide/cibse-guide-a-environmental-design-new-2015>.

Referências

'Impacts of Ventilation Strategies on Energy Consumption and Indoor Air Quality in Single-family Residences' (1986), 9, pp. 239–251.

Javier, D.F., González, N. and Adán, D.M.O. (2009) 'UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID ESTUDIO EXPERIMENTAL SOBRE LA EFECTIVIDAD Y LA'.

Ji, W., Chen, C. and Zhao, B. (2021) 'A comparative study of the effects of ventilation-purification strategies on air quality and energy consumption in Beijing, China', *Building Simulation*, 14(3), pp. 813–825. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12273-020-0694-2>.

Liang, J. *et al.* (2023) 'Sensors and Actuators : A . Physical Multiplex-gas detection based on non-dispersive infrared technique : A review', *Sensors and Actuators: A. Physical*, 356(December 2022), p. 114318. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2023.114318>.

López, L.R. *et al.* (2023) 'Science of the Total Environment CO 2 in indoor environments : From environmental and health risk to potential renewable carbon source', 856(July 2022). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159088>.

M-, M. (2017) 'EUROPEAN STANDARD EUROPÄISCHE NORM FprEN 16798-3'.

Majder-Łopatka, M. *et al.* (2020) 'The influence of hydrogen on the indications of the electrochemical carbon monoxide sensors', *Sustainability (Switzerland)*, 12(1). Available at: <https://doi.org/10.3390/SU12010014>.

Mannan, M. and Al-ghamdi, S.G. (2021) 'Indoor Air Quality in Buildings : A Comprehensive Review on the Factors Influencing Air Pollution in Residential and Commercial Structure'.

Mar, M., Monika, Ś. and Namie, J. (2018) 'Indoor air quality of everyday use spaces dedicated to specific purposes — a review', pp. 2065–2082.

Maung, T.Z. *et al.* (2022) 'Indoor Air Pollution and the Health of Vulnerable Groups: A Systematic Review Focused on Particulate Matter (PM), Volatile Organic Compounds (VOCs) and Their Effects on Children and People with Pre-Existing Lung Disease', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(14). Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph19148752>.

Maza, D.C. *et al.* (2019) 'Macroporous Silicon Filters , a Versatile Platform for NDIR Spectroscopic Gas Sensing in the MIR Macroporous Silicon Filters , a Versatile Platform for NDIR Spectroscopic Gas Sensing in the MIR'. Available at: <https://doi.org/10.1149/2.1051912jes>.

Mead, M.I. *et al.* (2013) 'The use of electrochemical sensors for monitoring urban air quality in low-cost, high-density networks', *Atmospheric Environment*, 70, pp. 186–203. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.11.060>.

Mihucz, V.G. and Záray, G. (2016) 'Indoor Air Pollution', *Comprehensive Analytical Chemistry*, 73, pp. 45–71. Available at: <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2016.02.003>.

Namdari, M., Lee, C. and Haghghat, F. (2021) 'Active ozone removal technologies for a safe indoor environment : A comprehensive review', *Building and Environment*, 187(July 2020), p. 107370. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107370>.

Nataša Lukić, Frank M. Schurr, Tanja Trifković, B.K.J.W. (2023) 'Pr Corresponding author : t n ot pe er re v Pr t n ot pe er ed', *Environ Exp Bot*, 6(127), pp. 1–26.

Nazaroff, W.W. and Weschler, C.J. (2022) 'Indoor ozone : Concentrations and influencing factors', (September 2021), pp. 1–21. Available at: <https://doi.org/10.1111/ina.12942>.

Referências

- Nichtwohnggebäuden, L. Von and Grundlagen, A. (2006) 'Ventilation for non-residential buildings — Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems', pp. 1–75.
- Novoselac, A. (2003) 'Comparison of Air Exchange Efficiency and Contaminant Removal Effectiveness as IAQ Indices', 109(4663), pp. 1–11.
- Odriozola-maritorea, M. *et al.* (2015) 'Analysis of the influence of the permeability of the envelope in the performance of different types of mechanical ventilation systems.', *Energy Procedia*, 78, pp. 1263–1268. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.273>.
- Othman, M. *et al.* (2020) 'Ecotoxicology and Environmental Safety PM 2.5 and ozone in office environments and their potential impact on human health', *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 194(November 2019), p. 110432. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110432>.
- Owen, M. *et al.* (2011) 'CO₂-based demand controlled ventilation under new ASHRAE Standard 62.1-2010: a case study for a gymnasium of an elementary school at West', *Energy & Buildings*, 43(11), pp. 3216–3225. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.08.021>.
- Persily, A. (2015) 'Challenges in developing ventilation and indoor air quality standards: The story of ASHRAE Standard 62', *Building and Environment*. Elsevier Ltd, pp. 61–69. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.026>.
- PID / VOC Monitors: Questions, Myths and their Proper Use* (no date). Available at: <https://www.environmentst.com/single-post/2018/04/16/PID-VOC-Monitors-Questions-Myths-and-their-Proper-Use>.
- Pinto, Manuel; da Silva, Fernando Marques; Freitas, V. (2005) 'Modelos preditivos para ventilação natural', *Sustentabilidade*, (8), pp. 382–389. Available at: <http://ci.nii.ac.jp/naid/110005858055/>.
- Profile, S.E.E. (2015) 'Ventilação natural em edifícios de habitação João Carlos Viegas', (December).
- Pulinets, S. *et al.* (2024) 'Radon Variability as a Result of Interaction with the Environment'.
- República, D. (2021) 'Ambiente e ação climática e infraestruturas e habitação', (12).
- Salthammer, T. (2022) 'TVOC - Revisited', *Environment International*, 167(July), p. 107440. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107440>.
- Salthammer, T. (2024) 'Carbon monoxide as an indicator of indoor air quality', *Environmental Science: Atmospheres*, 4(3), pp. 291–305. Available at: <https://doi.org/10.1039/d4ea00006d>.
- Salud, U.N.A.P.D.E. (no date) 'Manual de la oms sobre el radón en interiores'.
- Santos, M.R.C.B. (2017) 'Ventilação natural e comportamento térmico de edifícios'. Available at: [https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/281870113703917/Tese completa - versao final.pdf%0Ahttps://catalogo-bibliotecas.ulisboa.pt/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=625188](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/281870113703917/Tese%20completa%20-%20versao%20final.pdf%0Ahttps://catalogo-bibliotecas.ulisboa.pt/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=625188).
- Satish, U. *et al.* (2012) 'Concentrations on Human Decision-Making Performance', 120(12), pp. 1671–1677.
- Shen, G. *et al.* (2020) 'Quantifying source contributions for indoor CO₂ and gas pollutants based on the highly resolved sensor data *', *Environmental Pollution*, 267, p. 115493.

Referências

Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115493>.

Sherman, M.H., Walker, I.S. and Logue, J.M. (2012) 'Equivalence in ventilation and indoor air quality', in *HVAC and R Research*, pp. 760–773. Available at: <https://doi.org/10.1080/10789669.2012.667038>.

Skaaret, E. (1986) 'CONTAMINANT REMOVAL PERFORMANCE IN TERMS F i', 12(1983), pp. 0–8.

Soler&Palau (2023) 'Ventilação mecânica controlada 2023'.

Standard, E. (2007) 'UNI Standard EN15251. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. European committee for Standardization'.

Szczurek, A., Maciejewska, M. and Pietrucha, T. (2015) 'CO 2 and volatile organic compounds as indicators of IAQ'.

Themistocleous, K. *et al.* (2012) 'Long Term Monitoring of Air Pollution on Monuments and Cultural Heritage Sites in Cyprus Using Satellite Remote Long Term Monitoring of Air Pollution on Monuments and Cultural Heritage Sites in Cyprus Using Satellite Remote', 1(1), pp. 145–168.

Vardoulakis, S. *et al.* (2020) 'Indoor exposure to selected air pollutants in the home environment: A systematic review', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(23), pp. 1–24. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph17238972>.

World Health Organization's (no date) 'What are the WHO Air quality guidelines?' Available at: <https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/what-are-the-who-air-quality-guidelines>.

Yang, A. *et al.* (2021) 'Temperature-dependent ventilation rates might improve perceived air quality in a demand-controlled ventilation strategy', *Building and Environment*, 205(May). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108180>.

Yang, B. *et al.* (2019) 'Energy & Buildings A review of advanced air distribution methods - theory , practice , limitations and solutions', 202. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109359>.

Zhang, H. *et al.* (2021) 'A critical review of combined natural ventilation techniques in sustainable buildings', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141(May 2020), p. 110795. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110795>.

Referências

Declaração de Integridade

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

NOME: Inês Filipa Nogueira Soares

ISEP, Porto, 23 de outubro de 2024

Anexos

Anexo A

VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS (VOC) INDOOR AIR QUALITY PROBES MODELS 984, 985, 986 & 987



TSI VOC probes are pre-calibrated, plug-and-play accessory probes for multi-purpose meters including, Q-Trak™ Monitor 7575, VelociCalc® meter 9565 and Airflow™ Instruments TA465 meter. When combined with these meters, long-term data analysis can be performed and reported, which is useful for monitoring or investigating the indoor environment.

Applications

- + IAQ investigations
- + Industrial hygiene surveys
- + Building commissioning
- + Track down emissions to their source

Data Collection and Reporting

Expanded data logging capacity and the inclusion of TrakPro™ Data Analysis Software provides the capabilities to work more effectively and efficiently. The Q-Trak monitor can store up to 38.9 days of data collected at one-minute log intervals. The stored data can be recalled, reviewed on screen, and downloaded for easy reporting.

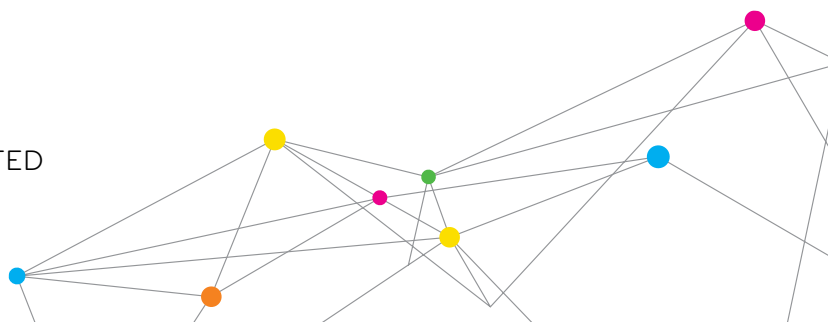
TrakPro software helps you to generate professional graphs for your reports.

Features and Benefits

- + Pre-calibrated plug-and-play accessory probes for TSI Q-Trak Monitor 7575, VelociCalc Meter 9565 and Airflow Instruments TA465 Meter
- + Compact design with ergonomic handle
- + Four versions available with multiple measurement capabilities
 - Model 984 - Low concentration (ppb) VOC and temperature
 - Model 985 - High concentration (ppm) VOC and temperature
 - Model 986 - Low concentration (ppb) VOC, temperature, CO₂ and humidity
 - Model 987 - High concentration (ppm) VOC, temperature, CO₂ and humidity
- + Two-year factory warranty
- + Send only the probe back for factory calibration



UNDERSTANDING, ACCELERATED



SPECIFICATIONS

VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS (VOC) INDOOR AIR QUALITY PROBES MODELS 984, 985, 986, AND 987

Field Service

TSI VOC probes are competitively priced to others in the marketplace but feature a lower cost of ownership due its compact design and construction, which is geared for field service capability.

- + Field calibration
 - Temperature
 - Relative humidity
 - Volatile organic compounds (VOC)
 - Carbon dioxide (CO₂)
- + Replaceable sensors
- + Sensor maintenance
 - Lamp cleaning
 - Lamp replacement



Instrumentation

The Q-Trak Monitor 7575, VelociCalc Meter 9565 and Airflow Instruments TA465 Meter feature a menu-driven user interface for easy operation. VOC probes are also compatible with Airflow™ Instruments TA460 series and TSI's discontinued 7565 and 9555 series, if instrument firmware is at revision 2.10 or higher.

On-screen prompts and step-by-step instructions guide the user through operation and field calibration. These instruments also feature an ergonomic, over molded case design and a keypad lockout to prevent tampering during unattended use.

- + Display up to five measurements simultaneously
- + Log multiple parameters to investigate trends
- + Calculate dew point, wet bulb and percent outside air (VOC models 986 and 987)
- + Store up to 38.9 days of data collected at one-minute log intervals when used with the Q-Trak 7575 Meter
- + User selectable logging intervals and start/stop times
- + Internal barometric pressure sensor
- + Download data to TrakPro Data Analysis Software
 - Report generation
 - Graph creation
 - Instrument programming

Model 984 Low Concentration (ppb) VOC and Temperature

Range	10 to 20,000 ppb, -10 to 60°C (14 to 140°F)
Accuracy	±0.5°C (±1.0°F) ¹
Resolution	10 ppb ⁴ , 0.1°C (0.1°F)

Model 985 High Concentration (ppm) VOC and Temperature

Range	1 to 2,000 ppm, -10 to 60°C (14 to 140°F)
Accuracy	±1.0°C (±0.5°F) ¹
Resolution	1 ppm ⁴ , 0.1°C (0.1°F)

Model 986 Low Concentration (ppb) VOC, Temperature, CO₂, and Humidity

Range	10 to 20,000 ppb VOC, 0 to 5,000 ppm CO ₂ , -10 to 60°C (14 to 140°F), 5 to 95% RH
Accuracy	±3% of reading or 50 ppm CO ₂ ² , whichever is greater ±0.5°C (±1.0°F) ¹ , ±3% RH ³
Resolution	10 ppb ⁴ VOC, 0.1 ppm CO ₂ ² , 0.1°C (0.1°F), 0.1% RH

Model 987 High Concentration (ppm) VOC, Temperature, CO₂, and Humidity

Range	1 to 2,000 ppm VOC, 0 to 5,000 ppm CO ₂ , -10 to 60°C (14 to 140°F), 5 to 95% RH
Accuracy	±3% of reading or 50 ppm CO ₂ ² , whichever is greater ±0.5°C (±1.0°F) ¹ , ±3% RH ³
Resolution	1 ppm ⁴ VOC, 0.1 ppm CO ₂ ² , 0.1°C (0.1°F), 0.1% RH

Probe Dimensions

Length (excluding handle)	17.8 cm (7.0 in.)
Base Diameter	1.9 cm (0.75 in.)
Tip Diameter	2.54 cm (1.0 in.)

Note: The 984 and 986 probes are designed to measure ppb concentrations of VOCs. The 10 to 20,000 ppb range corresponds to 0.01 to 20 ppm.

¹ Accuracy with instrument case at 25°C (77°F), add uncertainty of 0.05°C/°C (0.05°F/°F) for change in instrument temperature.

² Accuracy with probe at 25°C (77°F). Add uncertainty of ±0.36%/°C (±0.2%/°F) away from calibrated temperature

³ Accuracy with probe at 25°C (77°F). Add uncertainty of 0.2% RH/°C (0.1% RH/°F) for change in probe temperature. Includes 1% hysteresis.

⁴ When response factor is set to 1.00.

Specifications are subject to change without notice.

TSI, the TSI logo and Velocicalc are registered trademarks, and Airflow, Q-Trak and TrakPro are trademarks of TSI Incorporated.



UNDERSTANDING, ACCELERATED

TSI Incorporated - Visit our website www.tsi.com for more information.

USA	Tel: +1 800 874 2811	India	Tel: +91 80 67877200
UK	Tel: +44 149 4 459200	China	Tel: +86 10 8219 7688
France	Tel: +33 1 41 19 21 99	Singapore	Tel: +65 6595 6388
Germany	Tel: +49 241 523030		

Anexo B

NOVO



Certificado
calibração

Qualidade do ar

AQ 200



O melhor da gama

- Módulos intercambiáveis
- De simples utilização (Joystick)
- Grande écran gráfico
- Iluminação de fundo azul
- 8000 pontos de armazenamento
- Até 6 medições em simultâneo
- Comunicação sem fios equipamento / PC
- Sondas sem fios

Conexão



Módulos intercambiáveis

1 equipamento = várias escalas e parâmetros possíveis



Conexão wireless

Conexão sem fios equipamento / PC
equipamento / sonda



Sistema Smart-plus

Sondas automaticamente reconhecidas pelos equipamentos.



O equipamento

AQ 200 – Módulo corrente voltagem – Sonda CO₂/temp

AQ 200P – Mód. corrente voltagem – Sonda CO₂/temp/higro



Sonda CO / Temperatura

de 0 a 500 ppm / de -20°C a +80°C

Sonda CO₂ / Temperatura

de 0 a 5000 ppm / de -20°C a +80°C

Sonda CO₂ / Temp. / Higrométrica

de 0 a 5000 ppm / de -20°C a +80°C / de 5 a 95%HR

Módulo temperatura termopar – 4 vias

Em opção



Em opção

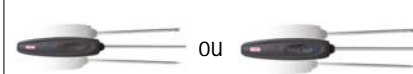


Módulo condições climáticas – Higro/Temp./P. atmosf.

Em opção



Em opção



Sondas temp. com ou sem fios – à escolha

Funções



Qualidade do ar

MÓDULO DE CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

- Selecção das unidades
- Hold, valores mín. e máx.
- Armazenamento em memória



SONDAS DE QUALIDADE DO AR :

CO / temperatura

CO₂ / temperatura

CO₂ / temperatura / higrométrica

- Alarme sonoro (2 setpoints)
- Selecção das unidades
- Hold, valores mín. e máx.
- Armazenamento em memória



Termómetro

MÓDULO TERMOPAR

- Delta T
- Alarme (mín. e máx. setpoints configuráveis)
- Selecção das unidades
- Hold, valores mín. e máx.
- Armazenamento em 4 vias termopar K, J e T
- Cálculo do coeficiente U

SONDAS TEMPERATURAS

- Delta T
- Alarme (com mín. e máx. setpoints configuráveis)
- Selecção das unidades
- Hold, valores mín. e máx.
- Armazenamento em memória

Módulo corrente / voltagem

MÓDULO CORRENTE / VOLTAGEM

- Escalas configuráveis
- Hold, valores mín. e máx.
- Armazenamento em memória

Datalogger-10

- Regista multi-parâmetros
- Armazenamento manual ou automático
- Capacidade de memória do equipamento de 8000 pts ou 50 campanhas de medição
- De fácil manuseamento com impressão de relatório personalizado
- Gestão do parque de equipamentos e controlo das periodicidades de calibração
- Planificação das campanhas
- Interface de transferência com ou sem fios



Características técnicas

Elementos sensores

Sondas de qualidade do ar

CO₂ : Sensor NDIR

CO : Sensor electroquímico

Temperatura : Pt100 classe A

Higrometria : Sensor higrométrico capacitivo

Módulo de condições climáticas

Higrometria : Sensor capacitivo higrométrico

Temperatura : Sensor semi condutor

Pressão atmosférica : Sensor capacitivo

Sondas termopar : tipo K, J e T classe 1

Sondas Pt100 Smart-plus : Pt100 classe 1/3 Din

Conexão do AQ200

Em cima :

2 conectores mini-Din para sondas SMART-Plus

Lado esquerdo :

1 porta USB só para cabo KIMO

1 ficha de alimentação para transformador KIMO

Módulos intercambiáveis

Módulo termopar :

Conexão : 4 entradas para conectores miniaturas macho de termopar Tipo K, J ou T Classe 1 (norma IEC 584-3)

Módulo corrente / voltagem :

Conexão : 2 jacks stereo

Mostrador

Mostrador gráfico 128x128 pixels

Dim. 50 x 54 mm

Iluminação de fundo azul

Mostrador de 6 linhas em que 4 são simultaneamente

Caixa

ABS anti-choque

IP54

Teclado

Revestido a metal,

5 teclas

1 joystick

Conformidade

Compatibilidade electromagnética

(norma NF EN 61326-1)

Alimentação

4 pilhas alcalinas 1,5V LR6

Ambiente

Gás neutro

Temperatura de utilização

de 0 a +50°C

Temperatura de armazenamento

de -20 a +80°C

Auto-extinção

regulável de 0 a 120 min

Peso

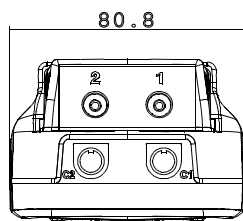
340g

Línguas

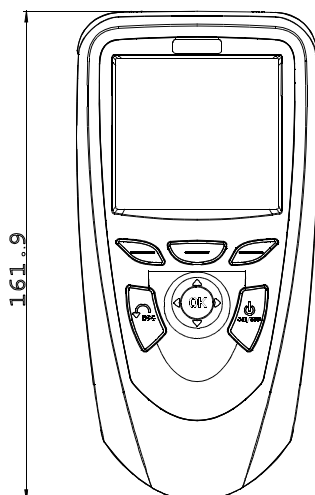
Françês, Inglês, Holandês, Alemão, Italiano, Espanhol, Português, Sueco, Norueguês, Filandês, Dinamarquês

Dimensões

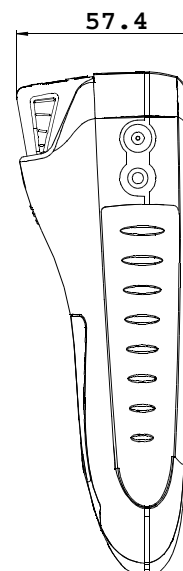
• Visto de cima



• Visto de frente



• Visto de lado



Especificações

	Unid. de medição	Gamas de medição	Exactidão*	Resolução	
CORRENTE / VOLTAGEM					
	V, mA	De 0 a 2,5 V De 0 a 10 V De 0 a 4/20 mA	±2mV ±10mV ±0.01mA	0,001 V 0,01 V 0,01 mA	
TERMOPAR (Ver ficha técnica)					
	°C, °F	K: De -200 a 1300°C J: De -100 a 750°C T: De -200 a 400°C	±1,1°C ou ±0,4% da leitura*** ±0,8°C ou ±0,4% da leitura*** ±0,5°C ou ±0,4% da leitura***	0,1 °C 0,1 °C 0,1 °C	
CONDIÇÕES CLIMÁTICAS					
	Hygro.	%HR	De 5 a 95%HR	Exactidão** (Repetibilidade, linearidade, histerese): ±1,8%HR (de 15°C a 25°C) Incerteza de ajustagem em fáb.: ±0,88 %HR Desvio ligado à temperatura: ±0.04 x (T-20) %HR (si T<15°C ou T>25°C)	0,1 %HR
	Temp.	°C, °F	De -20 a +80°C	±0,4% da leitura ±0.3°C	0,1 °C
	P. atmo.	hPa	De 800 a 1100 hPa	±3 hPa	1 hPa
CO / Temperatura					
	Temp.	°C, °F	De -20 a +80°C	±0.4% da leitura ±0.3°C	0,1 °C
	CO	ppm	De 0 a 100 ppm De 100 a 500 ppm	±3ppm ±3% da leitura	0,1 ppm
CO₂ / Temperatura					
	Temp.	°C, °F	De -20 a +80°C	±0.4% da leitura ±0.3°C	0,1 °C
	CO ₂	ppm	De 0 a 5000 ppm	±3% da leitura ou ±50ppm	1 ppm
CO₂ / Temperatura / Higrometria					
	Temp.	°C, °F	De -20 a +80°C	±0.4% da leitura ±0.3°C	0,1 °C
	CO ₂	ppm	De 0 a 5000 ppm	±3% da leitura ou ±50ppm	1 ppm
	Hygro.	%HR	de 5 a 95%HR	Ver módulo de condições climáticas	0,1 %HR
SONDAS Pt100 Smart-plus ou sem fios (Ver ficha técnica)					
	°C, °F	De -50 a 250°C (Segundo referência)	±0,3% da leitura ±0.25°C (Segundo referência)	0,01 °C	

*Todos os factos indicados neste documento foram comprovados em condições laboratoriais e podem ser garantidas por medidas efectuadas nas mesmas condições, ou efectuadas com a compensação necessária.

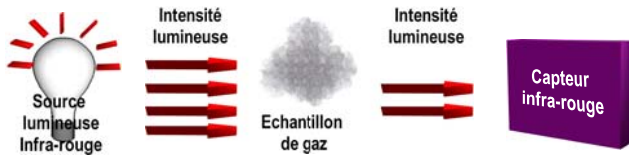
**Segundo a norma NFX 15-113 e a carta Higrométrica 2000/2001, EMG (Desvio Máximo Garantido) calculada com um coeficiente de majoração de 2 e de ±2,88%HR entre 18 e 28 °C na gama de medição 5 a 95 %HR. O desvio do sensor é inferior a 1%HR/an.

*** Os factos são expressos quer por desvio em °C, quer por percentagem de valor indicado. Só o maior valor é considerado.

Princípios de funcionamento

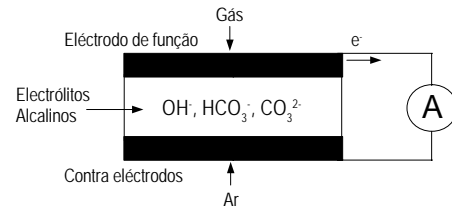
Sensor de absorção infravermelho

Todos os gases absorvem luz de um comprimento de onda específico, uma parte da luz emitida pela fonte infravermelho é absorvida pela amostra de gás. A quantidade de luz que atinge o sensor infravermelho é inversamente proporcional à concentração em CO₂.



Sensor electroquímico

Logo que o CO atravessa uma solução de electrólitos, este intervem na reacção e produz um aumento da quantidade de electões produzidos. Os electrões provocam uma corrente na ordem dos microamperes e são directamente proporcional concentração em CO.



Fornecido com ...

● Fornecido com ○ Opção

DESCRIÇÃO	AQ 200	AQ 200P	AQ 200S
Módulo corrente / voltagem	●	●	○
Módulo temperatura termopar	○	○	○
Módulo de condições climáticas	○	○	○
Sonda CO ₂ / Temperatura	●	○	○
Sonda CO / Temperatura	○	○	○
Sonda CO ₂ / Temperatura / Higrimetria	○	●	○
Sonda termopar K, J e T	○	○	○
Sonda SMART-Plus Pt100	○	○	○
Sonda sem fios Pt100	○	○	○
8 pilhas recarregáveis com carregador	○	○	○
Cabo corrente/voltagem	●	●	○
Com certificado de calibração	●	●	○
Mala de transporte	●	●	○

Vasta gama de sondas
(Ver ficha técnica) :

- ambiente
- contacto
- piquagem
- piquagem alimentar
- uso geral



Acessórios (Ver fichas técnicas)

Datalogger-10 Software para processamento e gravação de dados. Interface Datalogger-10 PC com cabo (LPCF) ou wireless (LPCR)	KPIJ 20 - 50 - 100 - 200 - 600 Pinças amperimétricas com cabo em PVC comp. 2m com conector jack.	RTS Extensão telescópica comp. 1m com regulação a 90°.
CE 200 Capa de protecção mãos livres	GST Gordura silicone termo-condutor para sondas de temperatura.	ADS Adaptador para fonte de alimentação 230 Vac
JAC Conjunto de 4 pilhas LR6	CHA 4 pilhas recarregáveis LR6	CTC-P Cabo de entrada de corrente / voltagem PVC comp. 2 m com conector jack

Manutenção

Realizamos a calibração, a ajustagem e a manutenção dos vossos equipamentos para garantir um nível de qualidade constante das vossas medições. Dentro do quadro das normas de Segurança e Qualidade, recomendamos-vos efectuar uma verificação anual.

www.kimo.fr

EXPORT DEPARTMENT

Tel : + 33. 1. 60. 06. 69. 25 - Fax : + 33. 1. 60. 06. 69. 29

e-mail : export@kimo.fr



Distributed by :

Garantia

Todos os equipamentos da gama têm garantia de 1 ano para algum defeito de fabrico (reenviando para os nossos serviços de pós-venda).

DICO FILTRO

Rua Dr. Afonso Cordeiro, nº 80

4450-001 Matosinhos

Tel. 229385139 Fax.229385140

E-mail: geral@dicofiltro.com

Web: www.dicofiltro.com

Anexo C



Knowledge Beyond Measure.

DustTrak™ DRX Aerosol Monitors

Models 8533, 8533EP and 8534



Only DustTrak™ DRX Aerosol Monitors can simultaneously measure both mass and size fraction—no other monitor can do both.

DustTrak™ DRX monitors are battery-operated, data-logging, light-scattering laser photometers that give you real-time aerosol mass readings. They use a sheath air system that isolates the aerosol in the optics chamber to keep the optics clean for improved reliability and low maintenance. From desktop with external pump models to a handheld model, the DustTrak DRX offers a suitable solution for harsh industrial workplaces, construction and environmental sites and other outdoor applications, as well as clean office settings. DustTrak DRX monitors measure aerosol contaminants such as dust, smoke, fumes and mists.

Features and Benefits

All Models

- Real-time mass concentration and size fraction readings, as well as data-logging allow for data analysis during and after sampling.
- Simultaneously measure size-segregated mass fraction concentrations corresponding to PM1, PM2.5, Respirable, PM10, and Total PM size fractions
- Easy-to-use graphical user interface with color touch-screen for effortless operation

Handheld Model (8534)

- Long life internal pump for continuous sampling
- Single-point data collection for walk through surveys
- Lightweight design with ergonomic handle for portable applications

Desktop Models (8533 and 8533EP)

- Energy-efficient, long lasting external pump for continuous, unattended, 24/7, outdoor monitoring applications (Model 8533EP only)
- Long life internal pump for shorter work-shift or IAQ sampling applications (Model 8533)
- Gravimetric reference sampling capability for custom reference calibrations
- Automatic zeroing (with optional zero module) to minimize the effect of zero drift
- STEL alarm setpoint for tracking 15-minute average mass concentrations
- Standard and advanced calibration capabilities for consistent accuracy
- Environmental protected and tamper-proof secure (with an optional environmental enclosure)
- Inlet sample conditioning (with optional heated inlet sample conditioner) to reduce the effect of humidity on photometric mass measurements (for use with an environmental enclosure)



Unsurpassed Technology and Performance

DustTrak™ DRX monitors are laser photometers that simultaneously measure five size segregated mass fraction concentrations at once—something no other monitor can do. The desktop, desktop with external pump and handheld monitors are continuous, real-time, 90°, light-scattering laser photometers that simultaneously measure size-segregated mass fraction concentrations corresponding to PM1, PM2.5, Respirable, PM10, and Total PM fractions. They combine both particle cloud (total area of scattered light) and single particle detection to achieve mass fraction measurements.

This size-segregated mass fraction measurement technique is superior to either a basic photometer or optical particle counter (OPC). It delivers the mass concentration of a photometer and the size resolution of an OPC. Typically, photometers can be used at high mass concentration, but they do not give any size information (unless used with size selective inlet conditioners) and significantly underestimate large particle mass concentrations. OPC's provide size and count information; however, they do not provide any mass concentration information and cannot be used in high mass concentration environments. The DustTrak™ DRX can do both.

Handheld Models: Perfect for Walk-Through Surveys and Single-Point Data Collection Applications

The DustTrak™ DRX handheld Model 8534 is lightweight and portable. It is perfect for industrial hygiene surveys, point source location monitoring, indoor air quality investigations, engineering control evaluations/validation, and for baseline trending and screening. Like the desktop models, it has manual and programmable data logging functions. In addition, the handheld model also has a single-point data logging capability for walk-through industrial hygiene surveys and indoor air quality investigations.

Desktop Models: Ideal for Long-Term Surveys and Remote Monitoring Applications

The DustTrak DRX is also offered as a standard desktop (Model 8533), as well as a desktop with external pump (Model 8533EP.) Both models have manual and programmable data logging functions, making them ideal for unattended applications. The standard desktop model is most suitable for indoor, continuous monitoring, while the desktop with external pump is designed for 24/7 unattended, remote monitoring outdoors.

The DustTrak DRX desktop models come with USB (device and host), Ethernet, and analog and alarm outputs allowing remote access to data. User adjustable alarm setpoints for instantaneous or 15-minute short-term excursion limit (STEL) are also available on desktop models. The alarm output with user-defined setpoint alerts you when upset or changing conditions occur.

The DustTrak DRX Desktop Monitors have several unique features:

- External pump (Model 8533EP) with low power consumption for continuous, unattended monitoring in remote outdoor locations.
- Gravimetric sampling capability using a 37-mm filter cassette which can be inserted in-line with the aerosol stream allowing you to perform an integral gravimetric analysis for custom reference calibrations.
- Zeros automatically using the external zeroing module. This optional accessory is used when sampling over extended periods of time. By zeroing the monitor during sampling, the effect of zero drift is minimized.
- STEL alarm feature for tracking 15-minute average mass concentrations when alarm setpoint has been reached for applications like monitoring fugitive emissions at hazardous waste sites.
- Provide for environmental protection and tamper-proof security using an environmental enclosure. This optional accessory encloses the instrument within a waterproof, lockable, custom-designed case.
- Condition the sample air stream before entering the instrument optics using a heated inlet sample conditioner (designed for use with the environmental enclosure.) This optional accessory is used in humid environments. By conditioning the sample, the humidity and water vapor are minimized.
- Standard and advanced calibration capabilities. The DustTrak DRX Aerosol Monitor has two calibration factors: a photometric calibration factor (PCF) and a size calibration factor (SCF). The PCF accounts for the photometric response difference between A1 Test Dust and the aerosol under measurement, while the SCF accounts for the aerodynamic size difference.
 - The primary goal of the standard calibration is to obtain the SCF for the aerosol of interest. The standard calibration process is very easy and does not require comparison to gravimetric samples. Measure with and without a PM2.5 impactor, and the instrument takes the ratio of these two size distributions and compares this reading to the PM2.5 impactor transmission efficiency curve to calculate the SCF. However, the absolute mass concentration may not be as accurate as the advanced calibration.
 - The advanced calibration method yields high size segregated mass concentration accuracy. It involves two separate gravimetric measurements to obtain PCF and SCF in sequence. The advanced calibration will accurately measure size segregated mass concentrations.

Applications	Desktop	Handheld
Aerosol research studies	▪	▪
Baseline trending and screening	▪	▪
Engineering control evaluations		▪
Engineering studies		▪
Epidemiology studies	▪	▪
Indoor air quality investigations	▪	▪
Industrial/occupational hygiene surveys	▪	▪
Point source monitoring		▪
Outdoor environmental monitoring	▪	
Process monitoring	▪	▪
Remote monitoring	▪	

DustTrak™ DRX Aerosol Monitor Features

All Models

- Li-Ion rechargeable batteries
- Internal and external battery charging capabilities
- Outlet port for isokinetic sampling applications
- User serviceable sheath flow and pump filters
- Logged test pause and restart feature
- Logged test programming
 - Color touch screen—either manual mode or program mode
 - TRAKPRO™ Data Analysis Software via a PC
- User adjustable custom calibration settings
- Instantaneous alarm settings with visual and audible warnings
- Real-time graph display
- View statistical information during and after sampling
- On-screen instrument status indicators: FLOW, LASER and FILTER
- Filter service indicator for user preventative maintenance

Desktop Models (8533 and 8533EP)

- Long life external pump (8533EP)
- Internal pump (8533)
- Hot swappable batteries
- Gravimetric reference sample capability
- STEL alarm setpoint

Optional Accessories

- Auto zeroing module
- Protective environmental enclosure (8535)
- Heated inlet sample conditioner (for use with an environmental enclosure)

Handheld Model (8534)

- Long life internal pump
- Single-point data collection for walk through surveys

Easy to Program and Operate

The graphical user interface with color touch-screen puts everything at your fingertips. The easy-to-read display shows real-time mass concentration and graphical data, as well as other statistical information along with instrument pump, laser and flow status, and much more. Perform quick walk-through surveys or program the instrument's advanced logging modes for long-term sampling investigations. Program start times, total sampling times, logging intervals, alarm setpoints and many other parameters. You can even set up the instrument for continuous unattended operation.

TrakPro™ Software Makes Monitoring Easier than Ever

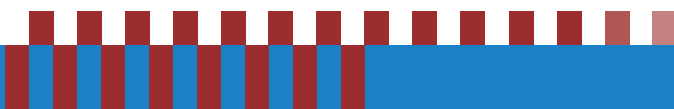
TrakPro™ Data Analysis Software allows you to set up and program directly from a PC. It even features the ability for remote programming and data acquisition from your PC via wireless communication options or over an Ethernet network. As always, you can print graphs, raw data tables, and statistical and comprehensive reports for recordkeeping purposes.

Battery Performance

Models 8533 and 8533EP (Typical) 6600 mAH Li-Ion Battery Pack (P/N 801680)	1 Battery	2 Batteries
Battery runtime (hours)	Up to 6	Up to 12
Charge time* (hours) in DustTrak™	4	8
Charge time* (hours) in external battery charger (P/N 801685)	4	8

Model 8534 (Typical) 3600 mAH Li-Ion Battery Pack (P/N 801681)	Battery
Battery runtime (hours)	Up to 6
Charge time* (hours) in DustTrak™	4
Charge time* (hours) in external battery charger (P/N 801686)	4

*Of a fully depleted battery



Specifications

DustTrak™ DRX Aerosol Monitors

Models 8533, 8533EP and 8534

Sensor Type

90° light scattering

Particle Size Range

0.1 to 15 µm

Aerosol Concentration Range

8533 Desktop 0.001 to 150 mg/m³

8533EP Desktop
with External Pump 0.001 to 150 mg/m³

8534 Handheld 0.001 to 150 mg/m³

Display

Size Segregated Mass Fractions for PM1, PM2.5, Respirable, PM10 and Total. All displayed

Resolution

±0.1% of reading or 0.001 mg/m³, whichever is greater

Zero Stability

±0.002 mg/m³ per 24 hours at 10 sec time constant

Flow Rate

3.0 L/min

Flow Accuracy

±5% of factory set point, internal flow controlled

Temperature Coefficient

+0.001 mg/m³ per °C

Operational Temp

32 to 120°F (0 to 50°C)

Storage Temp

-4 to 140°F (-20 to 60°C)

Operational Humidity

0 to 95% RH, non-condensing

Time Constant

User adjustable, 1 to 60 seconds

Data Logging

5 MB of on-board memory (>60,000 data points)

45 days at 1 minute logging interval

Log Interval

User adjustable, 1 second to 1 hour

Physical Size (H x W x D)

Handheld 4.9 x 4.8 x 12.5 in.
(12.5 x 12.1 x 31.6 cm)

Desktop 5.3 x 8.5 x 8.8 in.
(13.5 x 21.6 x 22.4 cm)

External Pump 4.0 x 7.0 x 3.5 in.
(10.0 x 18.0 x 9.0 cm)

Weight

Handheld 2.9 lb (1.3 kg),
3.3 lb (1.5 kg) with battery

Desktop 3.5 lb (1.6 kg),
4.5 lb (2.0 kg) – 1 battery,
5.5 lb (2.5 kg) – 2 batteries

External Pump 3.0 lb (1.4 kg)

Communications

8533 USB (host and device) and Ethernet. Stored data accessible using flash memory drive

8533EP USB (host and device) and Ethernet. Stored data accessible using flash memory drive plus, cable assembly for external pump

8534 USB (host and device). Stored data accessible using flash memory drive

Power-AC

Switching AC power adapter with universal line cord included, 115–240 VAC

Analog Out

8533/8533EP User selectable output, 0 to 5 V or 4 to 20 mA.
User selectable scaling range

Alarm Out

8533/8533EP Relay or audible buzzer
Relay
Non-latching MOSFET switch
▪ User selectable set point
▪ –5% deadband
▪ Connector 4-pin,
Mini-DIN connectors
8534 Audible buzzer

Screen

8533/8533EP 5.7 in. VGA color touchscreen

8534 3.5 in. VGA color touchscreen

Gravimetric Sampling

8533/8533EP Removable 37 mm cartridge (user supplied)

CE Rating

Immunity EN61236-1:2006

Emissions EN61236-1:2006

Specifications are subject to change without notice.

TSI, and the TSI logo are registered trademarks of TSI Incorporated in the United States and may be protected under other country's trademark registrations.



Knowledge Beyond Measure.

TSI Incorporated - Visit our website www.tsi.com for more information.

USA	Tel: +1 800 874 2811	India	Tel: +91 80 67877200
UK	Tel: +44 149 4 459200	China	Tel: +86 10 8219 7688
France	Tel: +33 1 41 19 21 99	Singapore	Tel: +65 6595 6388
Germany	Tel: +49 241 523030		

Anexo D



VMC de fluxo duplo para habitações, com permutador de calor de tipo contrafluxo de alto rendimento (até 92%). O motor EC de corrente contínua assegura um baixo consumo e um baixo nível sonoro.

A renovação permanente de ar da habitação garante o cumprimento dos requisitos do Código Técnico de Construção.

Aumenta a gama de recuperadores que permite cobrir as necessidades de ventilação para qualquer tipologia de habitação.

O desenho do SABIK fornece uma elevada impermeabilização e um isolamento térmico elevado.

Produto versátil pensado para uma fácil instalação graças à sua modularidade e reversibilidade dos seus circuitos.

Inclui filtros de impulsão e extração Coarse 65% (G4). Opcional ePM1 70% (F7 na impulsão).

Dispõe de um bypass 100% automático e/ou manual.

Características

- Recuperador de contrafluxo.
- Motores EC de baixo consumo.
- 100% Bypass automático/manual.
- Reversibilidade.
- Possibilidade de impulsão pela parte inferior.
- De fácil utilização.
- De fácil instalação.
- Certificado Passivhaus.
- Modularidade:
 - Bateria de pré-aquecimento integrável (opcional).
 - Módulo SERVOWFLOW para caudal constante (opcional).
 - Sonda VOC integrável (opcional)
- Conectividade através do módulo de comunicação SPCM (opcional).



SABIK

5153139200 - SABIK 350 R8

Ponto de Operação Teórico

Caudal de ar 300 m³/h
 Pressão Estática 45,0 Pa
 Temperatura 20 °C
 Altitude 0 m
 Densidade 1,2 kg/m³
 Frequência 50 Hz

Ponto de Operação

Sentido do ar 300 m³/h
 pressão estática 45,0 Pa
 Pressão dinâmica 3,35 Pa
 Pressão total 48,3 Pa
 INPUTPOWER 0,081 kW
 Outlet speed 2,4 m/s
 Velocidade do ventilador (r.p.m) 2083 rpm
 Ventilador específico de energia 970 W/m³/s
 SFPREG 970 W/m³/s
 Voltagem de control 7 V

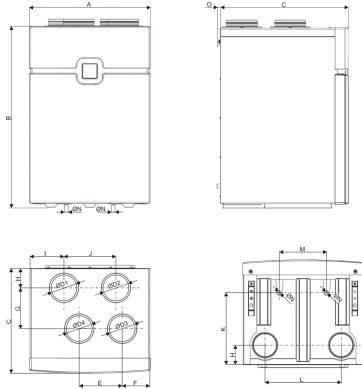
Construção

Diâmetro da boca de Descarga 150 mm
 Tamanho do ventilador 350
 Peso 46,00 kg

Características do Motor

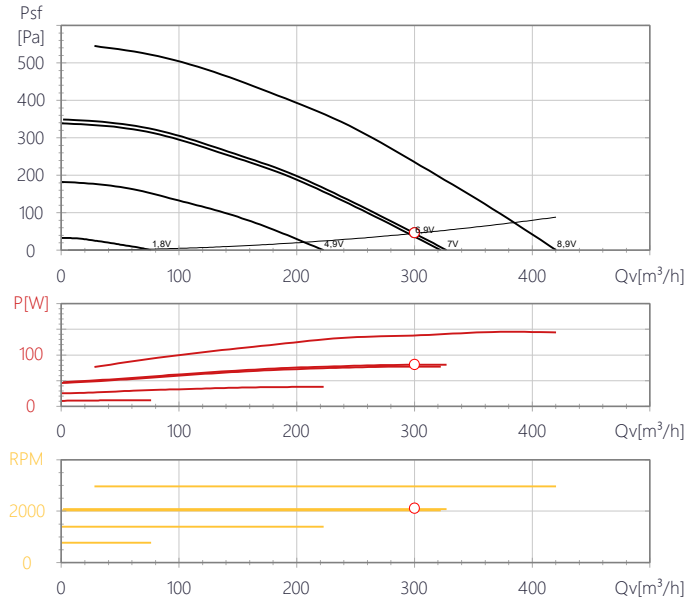
Tensão 1-230V-50Hz
 Índice de Protecção IP21
 Classe motor

Desenho



A	B	C	D1	D2	D3	D4	E	F
700	1046	603	150	150	150	150	248	160
G	H	I	J	K	L	M	N	O
235	111	196	300	414	440	273	21	19

Gráfico de Desempenho





Desempenho de Ruído

	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Global
Aspiração (Extração) (LwA)	23	35	55	50	51	48	43	32	58
Aspiração (Extração) LpA @ 1,5m	9	21	40	35	37	34	29	17	43
Descarga (Extração) (LwA)	21	30	48	41	39	36	26	22	49
Descarga (Extração) LpA @ 1,5m	7	16	33	26	25	21	11	8	35
Aspiração (Insuflação) (LwA)	23	32	53	49	49	50	43	29	57
Aspiração (Insuflação) LpA @ 1,5m	8	18	38	35	35	35	28	15	42
Descarga (Insuflação) (LwA)	25	29	49	40	38	36	27	23	50
Descarga (Insuflação) LpA @ 1,5m	10	15	35	26	24	22	13	8	36
Radiado (LwA)	24	36	48	48	45	40	29	22	52
Radiado LpA @ 1,5m	10	21	34	33	31	25	15	8	38



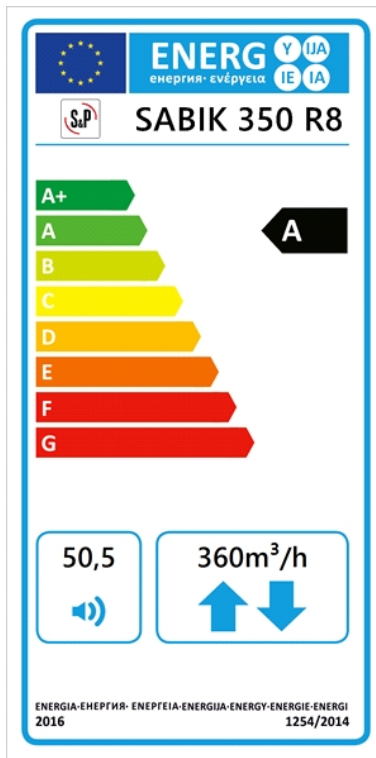
Q=1

**SABIK**

5153139200 - SABIK 350 R8

Dados ErP

Projeto ecológico	
Regulamento (UE) N°1253/2014 da comissão de 7 de julho de 2016	
Requisitos de informação (anexo V)	
ProductoComercial	SABIK 350 R8
Identificador	5153139200
CEE clima temperado (kWh/(m2.an))	-39,4
Classe CEE	A
CEE clima frio (kWh/(m2.an))	-77
CEE clima quente (kWh/(m2.an))	-15
Tipo declarado	UVR bidirecional
Tipo de acionamento	Velocidade variável
Tipo SRC	Recuperativo
Eficiência térmica (%)	85,4
Vazão máxima (m3/h)	360
Potência elétrica de entrada na vazão máxima (W)	145
Nível de potência acústica (LWA)	50,5
Vazão de referência (m3/s)	0,074
Diferença de pressão de referência (Pa)	50
Potência de entrada específica (W/m3/h)	0,23
Fator de regulação	0,85
Tipo de comando	Demanda central
Índice máximo de fuga interna para UVB (%)	0,4
Índice máximo de fuga externa para UVU e UVB (%)	0,3
Índice de mescla de UVB sem condutos (%)	Não se aplica
Localização do sinal de aviso do filtro	Comando à distância
Descrição do sinal de aviso do filtro	Luz piloto
Instruções para instalação de grelhas de insuflamento	Não se aplica
Instruções para instalação de grelhas de exaustão	Não se aplica
https://www.solerpalau.com/	
Sensibilidade do fluxo de ar às variações de pressão	Não se aplica
Estanqueidade ao ar interior/exterior (m3/h)	Não se aplica
Consumo de eletricidade anual - clima temperado (kWh/a)	253
Consumo de eletricidade anual - clima quente (kWh/a)	208
Consumo de eletricidade anual - clima frio (kWh/a)	790
Economia anual em calefação - clima temperado (kWh/a)	4505
Economia anual em calefação - clima quente (kWh/a)	2037
Economia anual em calefação - clima frio (kWh/a)	8813



Anexo E

GRIGLIE VMC DESIGN DESIGN VMC GRILLES



PLUTONE



TERRA



MARTE



SATURNO

Descrizione: griglie per VMC realizzate in acciaio con verniciatura RAL 9003 lucido (altri RAL a richiesta). Fissaggio con clips (kit clips fornito sciolto in ogni griglia).

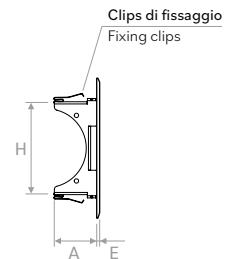
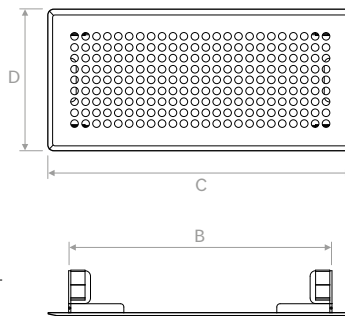
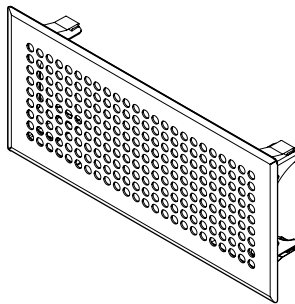
Description: VMC grille made of steel with RAL 9003 polish paint (other RAL on request). With clips (kit clips supplied loose with each grille).

Modello Model	Area libera Free area	Portata aria minima Air flow min	Portata aria massima Air flow max	Potenza sonora Sound power	Lancio Throw	Perdita di carico lato aria minima Air pressure drop min	Perdita di carico lato aria max Air pressure drop max
	mq	mc/h	mc/h	dB(A)	m	pa	pa
PLUTONE	0,008729	15	60	<20 / 23	0,3 / 0,85	2	12
TERRA	0,008313	15	60	<20 / 23	0,3 / 0,85	2	12
MARTE	0,007203	10	50	<20 / 23	0,3 / 0,85	2	12
SATURNO	0,012371	25	90	<20 / 23	0,3 / 0,85	2	12



GRIGLIE VMC DESIGN | DESIGN VMC GRILLES

DISEGNI | DRAWINGS



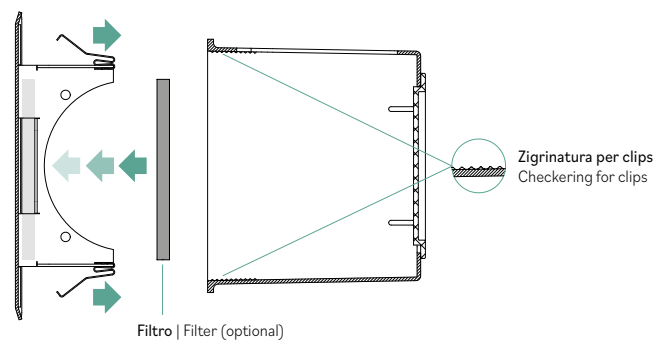
	A	B	C	D	E	H
mm	39	241	280	130	3	91

ACCESSORIES - DOMESTIC

CODICI | CODES

Modello Model	pezzi per scatola pieces per box
PLUTONE	5
TERRA	5
MARTE	5
SATURNO	5

FISSAGGIO CON CLIPS | FITTING WITH CLIPS



Filtro | Filter (optional)

Filtri efficienza G2 ISO COARSE > 45 % FTRGALAXY | G2 ISO COARSE > 45 % efficiency filter FTRGALAXY

Modello | Model

FTRGALAXY



Anexo F



BOCAS DE EXTRAÇÃO E/OU INSUFLAÇÃO

BDOP BDO

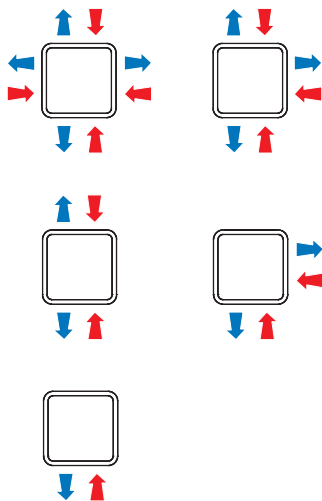
Bocas de plástico, de cor branca. Utilizam-se na extração ou insuflação e nas instalações de VMC fluxo simples ou de duplo fluxo.

Na impulsão podemos ajustar a direção e a distância do fluxo do ar.

O modelo BDOP é composto por uma BDO + manguito de ligação com encaixes para montar em pladur.

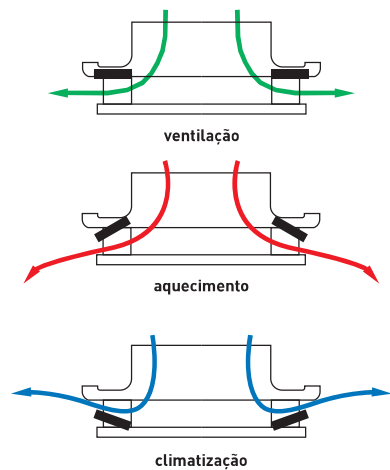
Podem-se montar com regulador de caudal em manguito (modelos BDOP 80 e 125) ou em conduta modelos BDO e BDOP 100, 160 e 200.

Possibilidades de orientação do fluxo do ar



Possibilidades de ajuste das alhetas laterais

■ Alhetas orientáveis

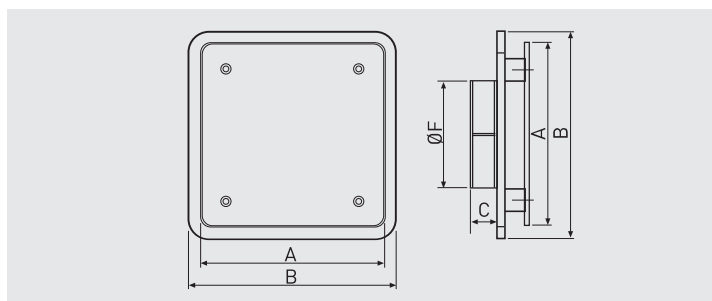


Modelo	Ø Saída (mm)	Caudal* (m³/h)	Pescoço
BDO 100	100	15 - 75	Junta de borracha
BDO 125	125	45 - 150	Junta de borracha
BDO 160	160	120 - 240	Junta de borracha
BDO 200	200	240 - 350	Junta de borracha

* Paramento de caudal de extração e impulsão sem os "flaps" laterais.

Modelo	Ø Saída (mm)	Caudal* (m³/h)	Manguito	
			Material	Altura (mm)
BDOP 80	80	15 - 60	Plástico	100
BDOP 100	100	15 - 75	Metálico	150
BDOP 125	125	45 - 150	Plástico	100
BDOP 160	160	120 - 240	Metálico	150
BDOP 200	200	240 - 350	Metálico	150

* Paramento de caudal de extração e impulsão sem os "flaps" laterais.



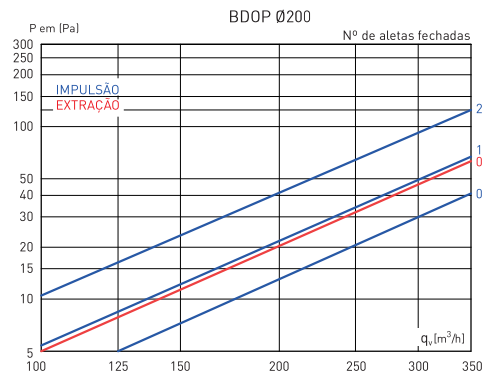
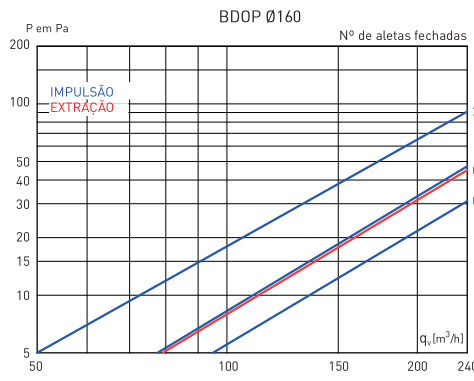
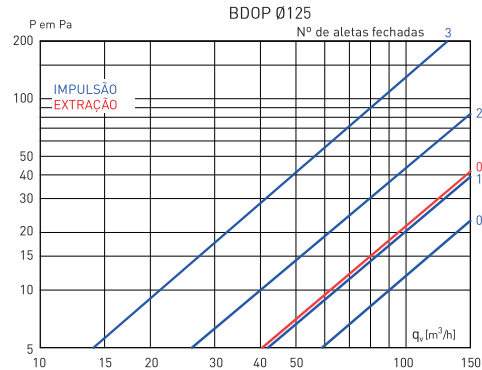
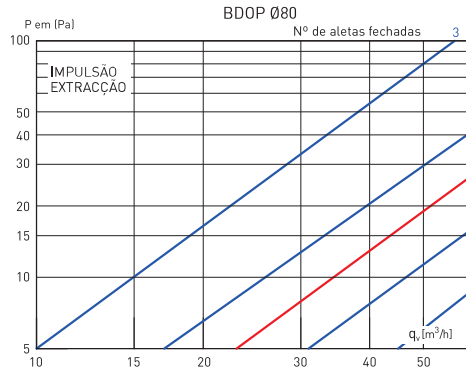
BDO	A	B	C	ØF
80	136	151	20,0	80
100	185	205	30,0	100
125	185	205	30,0	125
160	230	250	36,8	160
200	275	300	45,8	200

Dimensões em mm.

BOCAS DE EXTRAÇÃO E/OU INSUFLAÇÃO

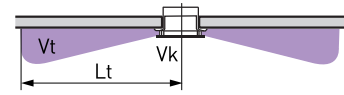
BDOP BDO

Caraterísticas técnicas



BDOP	qv [m³/h]	EXTRAÇÃO						ASPIRAÇÃO					
		Sem defletor		Sem defletor		1 defletor		2 defletores		3 defletores		3 defletores	
		ΔP [Pa]	Lw [dB(A)]	ΔP [Pa]	Lw [dB(A)]	ΔP [Pa]	Lw [dB(A)]	ΔP [Pa]	Lw [dB(A)]	ΔP [Pa]	Lw [dB(A)]	ΔP [Pa]	Lw [dB(A)]
80	15	2	24	1	23	2	24	3	24	8	24		
	30	6	24	3	23	5	24	11	24	30	36		
	45	12	25	7	24	11	25	23	27	66	35		
125	45	4	24	3	23	5	24	10	24	28	25		
	60	7	25	5	25	8	26	17	28	49	33		
	75	11	27	8	27	13	28	26	32	73	39		
	90	15	29	11	28	18	30	36	35	101	44		
	120	39	31	18	31	31	34	63	40				
	150	39	35	28	36	48	39	97	47				
160	120	13	<20	9	23	15	21	30	32				
	150	18	24	12	26	18	28	35	37				
	180	26	29	18	32	27	33	50	42				
	200	32	32	22	34	33	37	62	44				
	210	35	33	24	36	36	38	69	46				
	240	45	37	31	40	47	42	91	49				
200	125	8	<20	5	<20	8	23	17	32				
	150	12	23	8	21	12	26	24	36				
	240	30	29	20	28	32	32	59	43				
	270	37	32	24	31	40	36	74	48				
	300	46	36	30	34	50	39						
	350	63	40	41	39	67	44						

BDOP	ASPIRAÇÃO				
	Alcance do ar (para Vt = 0,25 m/s) instalado no teto				
	qv [m³/h]	Vk (m/s)	Lt(m) DT = 0°C	Lt(m) DT = -5°C	Lt(m) DT = -10°C
80	15	0,8	0,8	0,4	0,3
	30	1,7	1,1	0,9	0,6
	45	2,5	1,8	1,5	1,1
125	45	1	0,5	0,4	0,3
	60	1,4	1	0,8	0,6
	75	1,7	1,4	1,1	0,8
	90	2	2,1	1,8	1,3
	120	2,7	3,3	2,9	2,1
	150	3,4	4	3,8	2,7
160	120	1,7	2,8	2,3	1,6
	150	2,1	3,7	3,1	2,2
	180	2,5	4,1	3,6	2,6
	200	2,8	4,2	3,8	2,7
	210	2,9	4,5	4,1	2,9
	240	3,3	5	4,7	3,3
200	240	2,1	4,2	3,6	2,5
	270	2,4	4,5	3,9	2,8
	300	2,7	4,7	4,2	3
	350	3,1	4,9	4,5	3,2



Vk: Velocidade de passagem do ar na saída da boca (em m/s)
 Vt: Velocidade terminal (em m/s)
 Lt: Alcance do ar (m)

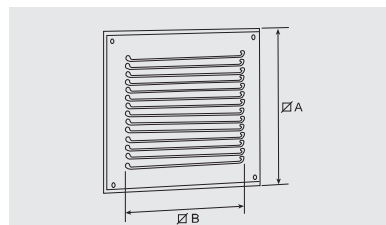
ACESSÓRIOS

Anexo G

GRELHAS E DIFUSORES

GRA

Grelhas de extração de lâminas fixas de alumínio.



Modelo	Dimensões exteriores Ø A	Parte perfurada Ø B
GRA-75	150 x 150	100 x 100
GRA-100	165 x 165	125 x 125
GRA-150	200 x 200	150 x 150
GRA-200	210 x 210	165 x 165
GRA-300	250 x 250	200 x 200

Dimensões em mm.

PAF

Grelhas de descarga de fachada.



Modelo	Ø (mm)	Medidas exteriores	Medidas interiores	Diâmetro maior	Diâmetro menor	Seção passagem do ar (cm²)	Caudal a 20 Pa	
							Descarga de ar	Insuflação de ar
PAF 125	125	165 x 165	145 x 145	127	122	85	170	120
PAF 150	150	190 x 190	170 x 170	155	150	130	225	185
PAF 160	160	210 x 210	190 x 190	162	157	140	235	195
PAF 200	200	240 x 240	220 x 220	202	197	190	350	290
PAF 250	250	290 x 290	270 x 270	252	247	280	485	400
PAF 315	315	340 x 340	320 x 320	320	315	480	830	680
PAF 355	355	390 x 390	370 x 370	360	355	600	1060	870
PAF 400	400	440 x 440	420 x 420	403	408	930	1610	1320

PAQS

Tomadas de ar de fachada, estéticas, com grelha anti insetos.



Modelo	Diâmetros (mm)
PAQS 100	100
PAQS 125	125
PAQS 150	150
PAQS 160	160

Anexo H

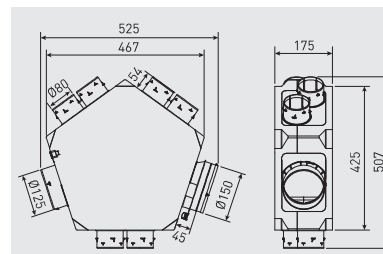


PLÉNUMS

PLENUM UNI EXT 6+1

Plenum isolado de extração com descarga \varnothing 125/150-160 mm, 1 embocadura para cozinha \varnothing 125 mm e até um máximo de 6 embocaduras sanitárias \varnothing 80 mm. Todas as embocaduras incorporam brida de fixação.

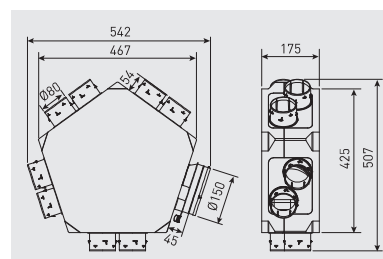
Para a sua adaptação ao sistema FLEXICIR deve-se incorporar o adaptador RED 80/75 ou RED 80/90 em cada boca utilizada.



PLENUM UNI IMP 8

Plenum isolado de impulsão com aspiração \varnothing 125/150-160 mm, e até um máximo de 8 embocaduras para zonas secas (sala, quartos) \varnothing 80 mm. Todas as embocaduras incorporam brida de fixação.

Para a sua adaptação ao sistema FLEXICIR deve-se incorporar o adaptador RED 80/75 ou RED 80/90 em cada boca utilizada.

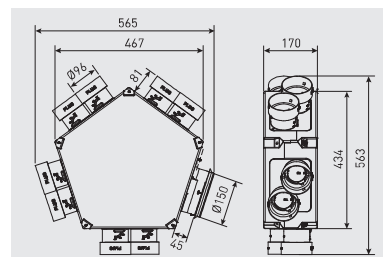
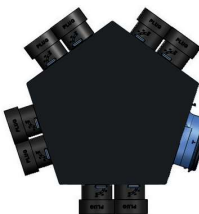


PLENUM UNI PL

Plenum isolado de impulsão ou extração com aspiração diâmetro 125/150-160 mm até um máximo de 8 embocaduras.

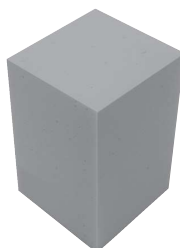
Equipado com 4 bocas PLUGK 75/90 para ligação a MDV com comporta de regulação de acionamento exterior.

No caso de ser necessário aumentar o número de bocas deverá solicitar PLUGK 75/90 em múltiplos de 5 unidades.



AAP

Acessório acústico para modelos PLENUM ISO.



Anexo I

PLUGGALAXY









Descrizione: plenum multifunzionale per terminali di distribuzione aria. Intera-mente realizzato in ABS consente la connessione con tubo in posizione posteriore, superiore o laterale. Completo di serrande di regolazione e di una ampia gamma di accessori per una installazione rapida e semplice.

Description: multifunctional plenum for air distribution terminals. Made entirely of ABS allows the connection with hose in the rear, top or side position. Complete with control dampers and a large range of accessories for a quick and easy installation.

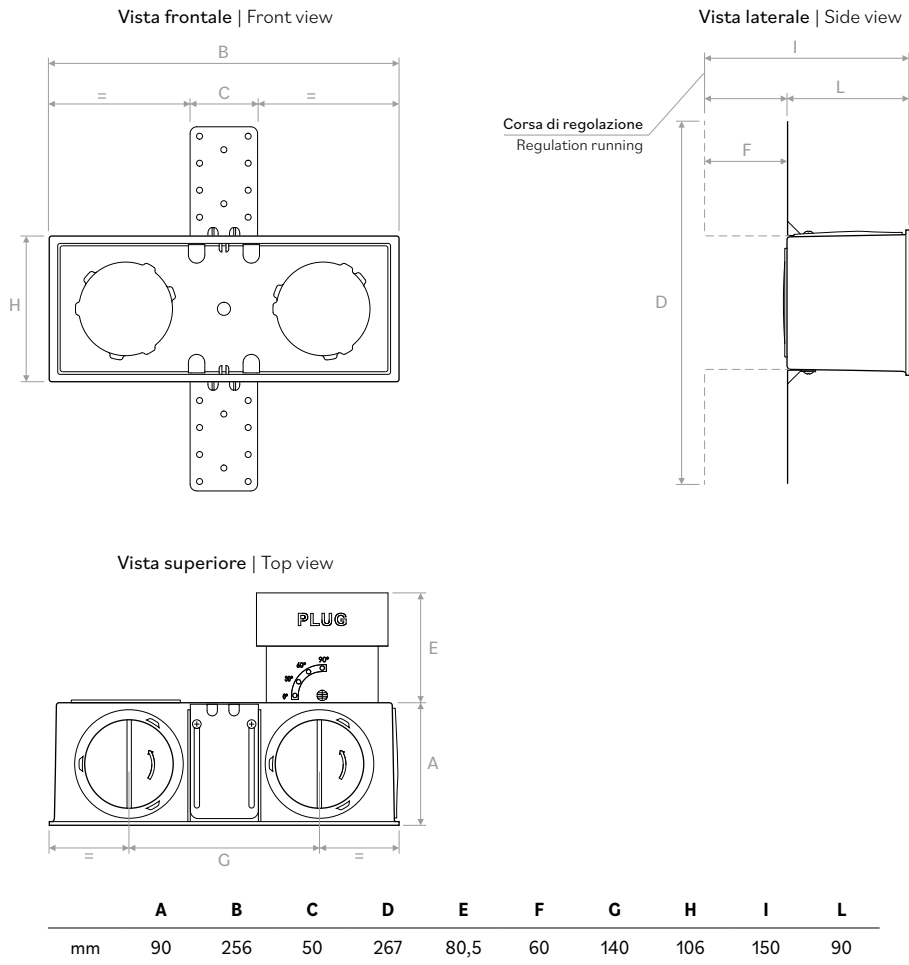


COMPONENTI CONFIGURAZIONE BASE | COMPONENTS FOR BASIC CONFIGURATIONCHARTS

1		N°2 Staffe di fissaggio regolabili N°2 Adjustable fixing brackets
2		N°4 Viti di fissaggio per staffa N°4 Fixing screws for bracket
3		N°4 Tappi di chiusura N°4 Sealing caps
4		Kit attacco diametro 75/90 completo di serranda di taratura (PLUGS) Kit for spigot diameter 75/90 complete of calibration damper (PLUGS)
5		Coperchio di protezione Protective cover
6		Plenum con fissaggio a clips Plenum with fixing by clips

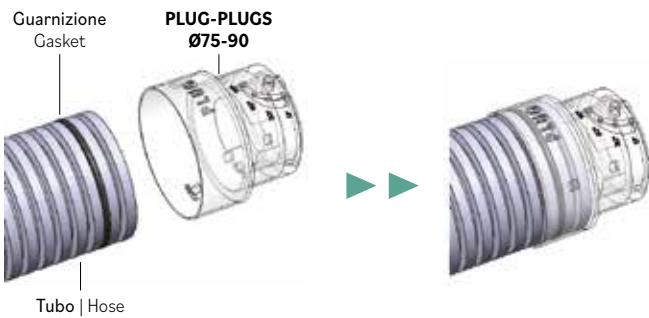
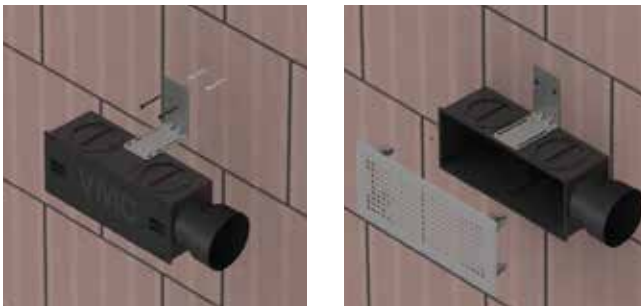


DISEGNI | DRAWINGS

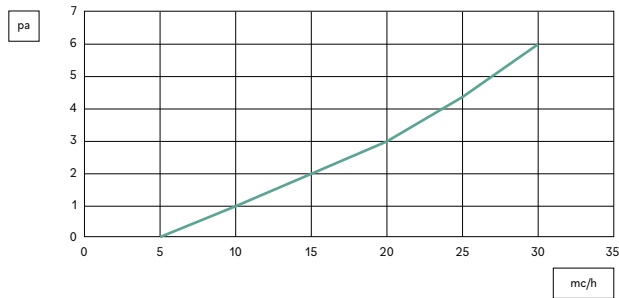


ACCESSORIES - DOMESTIC

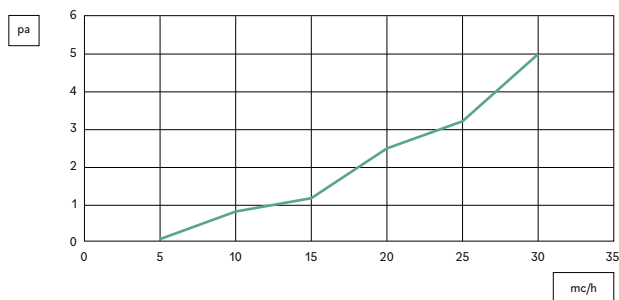
APPLICAZIONI | APPLICATIONS



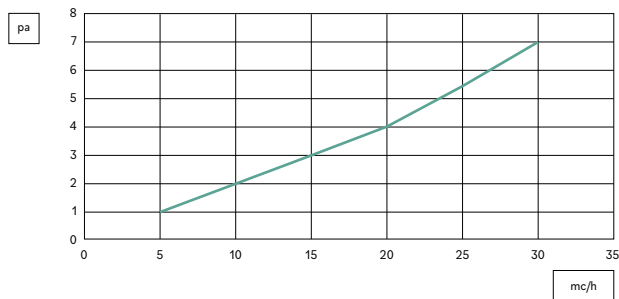
1 ATTACCO SUPERIORE | UPPER SPIGOT



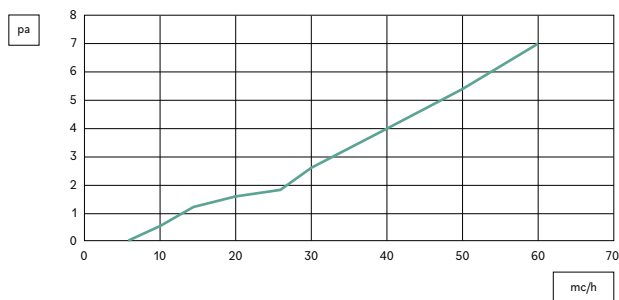
1 ATTACCO POSTERIORE | REAR SPIGOT



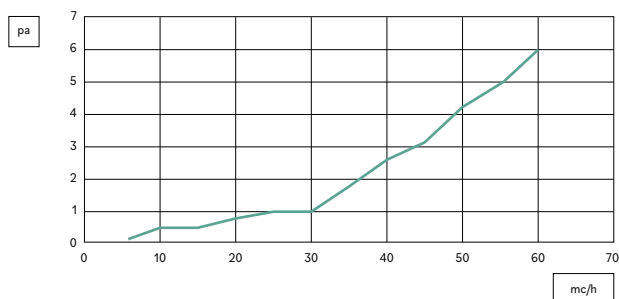
1 ATTACCO LATERALE | SIDE SPIGOT



2 ATTACCHI SUPERIORI | UPPER SPIGOTS







2 ATTACCHI POSTERIORI | REAR SPIGOTS



PREZZI | PRICES

Modello Model	€
PLUG GALAXY	-

ACCESSORI | ACCESSORIES

Kit		€
PLUGK	 <p>PLUG 5 pcs. Comando esterno serranda con leva External damper control with lever Formato da nr. 05 PLUG assemblati Formed by nr. 5 PLUG assembled</p>	-
PLUGSK	 <p>PLUGS 5 pcs. Comando esterno serranda con intaglio External damper control with slot for screwdriver Formato da nr. 05 PLUGS assemblati Formed by nr. 5 PLUGS assembled</p>	-
MVDNGPK	 <p>MVDNGP 5 pcs. formato da nr. 05 guarnizioni di tenuta tubo MVDNFLEX75/90 Formed by nr. 5 sealing gaskets hose MVDNFLEX75/90</p>	-
	 <p>TVMGX 5 pcs. Attacco per tubo ovale 102x50 mm Spigot for oval hose 102x50 mm</p>	
VMKITTVM Kit attacco tubo ovale Kit oval hose 102x50mm	 <p>TVMSO007 5 pcs. Anello di tenuta per tubo ovale 102x50 mm Sealing ring for oval hose 102x50 mm</p>	-
	 <p>STVGX 5 pcs. Serranda su attacco Ø 75mm Damper on spigot Ø 75 mm</p>	
VMKITDSV Ricambi Spare parts	 <p>DSGX (kit 2 pcs) 10 pcs. Staffe di fissaggio regolabili Adjustable fixing brackets</p>	-
	 <p>VITIGX 20 pcs. Viti di fissaggio per staffa Fixing screws for bracket</p>	
VMKITCAP	 <p>CAPGX 5 pcs. Coperchio di protezione Protective cover</p>	-
VMKITTPV	 <p>TPVGX 5 pcs. Tappi di chiusura Sealing caps</p>	-



Anexo J



MVDNFLEX

Descrizione: tubo flessibile ad alta resistenza ed alta flessibilità antistatico ed antibatterico per distribuzione aria in impianti VMC con isolamento esterno in polietilene espanso spessore 3,5 mm. Per altri dati tecnici e prestazionali vedi MVDNFLEX.

Description: anti-static and antibacterial high strength and high flexibility hose for VMC plants with external insulation in expanded polyethylene 3,5 mm thickness. For other technical and performance data see MVDNFLEX.

ISOLAMENTO | INSULATION

Densità - Density (Kg/m ³)	30
Spessore - Thickness (mm)	3,5
Coefficiente di conducibilità termica Thermal conductivity coefficient (W/mK)	0,039 a 10°C
Resistenza termica - Thermal resistance (m ² K/W)	0,13
Temperature massime di impiego Maximum operating temperatures (°C)	-20 +80
Tossicità norme AFNOR NF F 16-101-1988 Toxicity to AFNOR NF F 16-101-1988 standards	Rapporto di prova inerente la tossicità e l'opacità dei fumi del CSI n. DC01/494F05 del 07/07/05 Test report concerning the toxicity and opacity of the CSI smokes n. DC01/ 494F05 of 07/07/05

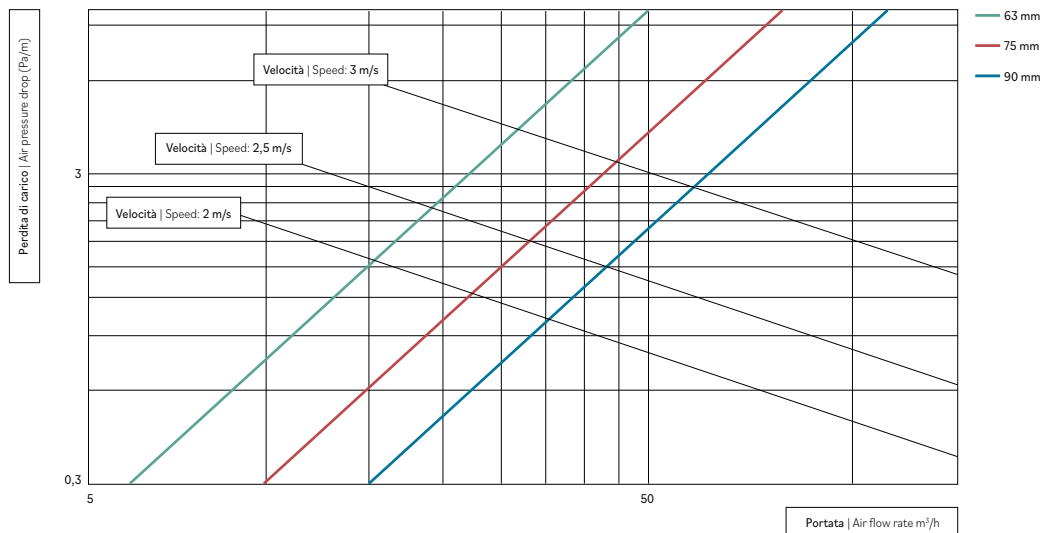


SCHIACCIAMENTO | CRUSHING

Densità del calcestruzzo Density of concrete	Altezza massetto Screed height	Massa massetto per m ² di superficie Screed mass per m ² of surface	Pressione esercitata massetto sulla lastra Screed pressure applied to the slab	Schiacciamento Crushing sp. 5 mm
kg/m ³	m	kg/m ²	Pa	mm
1400	0,1	140	1373,4	0,05
1400	0,15	210	2060,1	0,08
2000	0,1	200	1962	0,08
2000	0,15	300	2943	0,11

Dati relativi ad isolamento | Data related to insulation

DIAGRAMMA DELLE PERDITE DI CARICO A 20°C | AIR PRESSURE DROP DIAGRAM AT 20°C



Per altri dati tecnici e prestazionali vedi MVDNIFLEX | For other technical and performance data see MVDNIFLEX

IMBALLO DEL ROTOLO: tappi alle estremità e imbustato | ROLL PACKAGING: caps at the ends and wrapped

Ø mm	Lunghezza rotolo Roll lengths (m)	Dimensioni rotoli Roll dimensions H - L - P (cm)	Peso kg (rotolo) Weight kg (roll)	Dimensioni pallet Pallet dimensions H - L - P (cm)	Rotoli per pallet Rolls per pallet
75	50	42 x 120 x 120	18	255 x 110 x 110	6

PREZZI | PRICES

Modello | Model
MVDNIFLEX 75

Anexo K



Clasificación: S1
Radio de curvatura mín.: 1 x Ø
Temperatura de uso: de -10°C a +60°C

GP-ISO ECOSOFT

Conductos flexibles aislados de PVC negro, sin oxalatos, protegidos por una capa aislante de fibra de vidrio reciclable de 25 mm.

Emisión de compuestos orgánicos volátiles, COV: Clase A+.

No produce ni olor, ni polvo, ni alergias.

Se utilizan en instalaciones de VMC individual para conectar el grupo ventilador con las bocas.

Modelo	Ø (mm)	Longitud (m)
GP-ISO 80/25 10M ECOSOFT	80	10
GP-ISO 80/25 4M ECOSOFT	80	4
GP-ISO 100/25 4M ECOSOFT	100	4
GP-ISO 125/25 10M ECOSOFT	125	10
GP-ISO 125/25 4M ECOSOFT	125	4
GP-ISO 150/25 4M ECOSOFT	150	4
GP-ISO 160/25 4M ECOSOFT	160	4
GP-ISO 200/25 4M ECOSOFT	200	4



GPR-ISO

Conductos rígidos aislados de polietileno, de 2 metros de longitud y 15 mm de grosor, y accesorios.

Se utilizan en instalaciones de VMC unifamiliares y colectivos (higrorregulables y doble flujo).



Conductos	Ø (mm)	Longitud (m)
GPR-ISO 80	80	2
GPR-ISO 125	125	2
GPR-ISO 160	160	2



Codos de 30°	Ø (mm)	Ángulo
CDR-ISO 80/30	80	30°
CDR-ISO 125/30	125	30°
CDR-ISO 160/30	160	30°



Codos de 45°	Ø (mm)	Ángulo
GPR-ISO 80/45	80	45°
GPR-ISO 125/45	125	45°
GPR-ISO 160/45	160	45°



Codos de 90°	Ø (mm)	Ángulo
CDR-ISO 80/90	80	90°
CDR-ISO 125/90	125	90°
CDR-ISO 160/90	160	90°



Tee	Ø (mm)	Ángulo
TER-ISO 125/90	125/90	90°
TER-ISO 160/90	160/90	90°
TER-ISO 125/125	125/125	90°
TER-ISO 160/125	160/125	90°



Bridas de sujeción	Ø (mm)
CSR-ISO 125	125
CSR-ISO 160	160



Acoplamiento	Ø (mm)
MFR-ISO 125	125
MFR-ISO 160	160

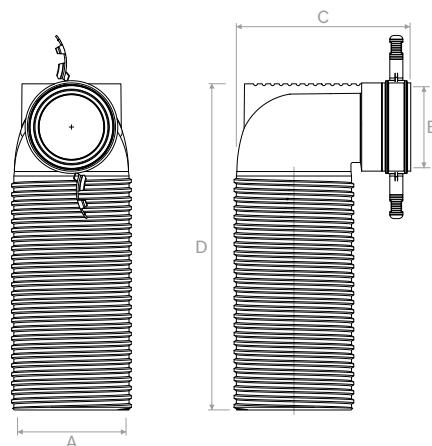
Anexo L

VMR90P

Raccordo valvola 125 92 90° in plastica.
Plastic valve connection 125 92 90°.



Modello Model		ØA	ØB	C	D
VMR90P	mm	125	92	196	360

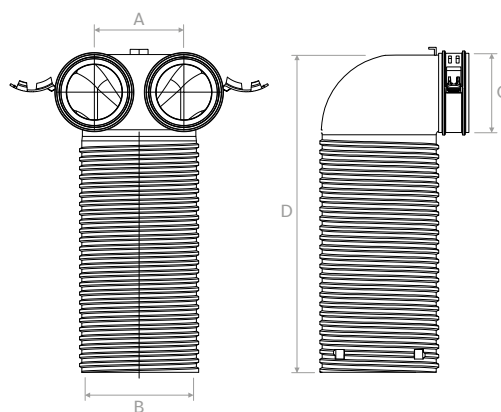


VMR902P

Raccordo valvola 125-2 attacchi 90° in plastica.
Plastic valve connection 125-2 connections 90°.



Modello Model		A	B	ØC	D
VMR902P75	mm	94	125	75	330
VMR902P90	mm	123	125	92	361



PVMR125

Plenum per valvola Ø 125mm, acusticamente isolato internamente con 2 attacchi Ø 75mm.
Valve plenum box Ø 125mm with 2 side spigot Ø 75mm and acoustic internal insulation.



Modello Model		A	B	C	ØD	E	F	G	H	L	M	ØP	R
PVMR125	mm	200	250	90	125	60	275	230	215	250	150	75	125

