



**LILIANA RUTE DIAS
MARQUES**

**QUALIDADE DO AR INTERIOR EM INSTALAÇÕES
DESPORTIVAS**



**LILIANA RUTE DIAS
MARQUES**

**QUALIDADE DO AR INTERIOR EM INSTALAÇÕES
DESPORTIVAS**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Doutora Teresa Filomena Vieira Nunes, Professora Associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e sob a co-orientação científica da Doutora Ana Isabel Calvo Gordaliza, investigadora em Pós-Doutoramento do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar da Universidade de Aveiro.

Dedico esta tese aos “Homens de asas nos pés e fogo no coração” que com a sua integridade e ações do dia-a-dia procuram construir a Paz, o Respeito, a Verdade e a Sustentabilidade no nosso mundo.

o júri

presidente

Professora Doutora Ana Isabel Couto Neto da Silva Miranda
Professora Catedrática do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

vogais

Professor Doutor Roberto Fraile
Professor Titular da Universidade de Málaga

Professora Doutora Teresa Filomena Vieira Nunes
Professora Associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Quero agradecer à minha orientadora Teresa Nunes e à minha co-orientadora Ana Calvo, pela paciência e dedicação com que me acompanharam, tendo sido força motora e farol nos momentos mais difíceis, transmitindo sempre confiança e serenidade, enriquecendo este trabalho com a sua experiência.

Agradeço a todos membros do CESAM e da Universidade de Léon que contribuíram com o seu tempo e conhecimentos para a realização deste projeto.

Agradeço aos meus pais pela educação e apoio que me deram ao longo destes anos, sendo sempre porto de refúgio e força para seguir rumo à Vida.

Agradeço à minha irmã, ao Nuno e seus familiares, aos meus amigos e familiares pela amizade, acompanhamento e orações que foram aliviando as dificuldades sentidas ao longo do caminho, contribuindo com a sua alegria, ideias, pensamentos e partilhas tornando cada dia mais feliz.

Este é momento de agradecer a Deus por ter colocado cada uma destas pessoas na minha vida, no momento certo e por ser o orientador do projeto Paz, Amor, Verdade para o mundo, querendo precisar de nós, como amigos, dando um valor acrescentado à minha vida.

palavras-chave

Qualidade do Ar Interior, instalações desportivas, PM₁₀, carbonatos, OC, EC, iões inorgânicos solúveis, distribuições de partículas por tamanho, índice de refração.

resumo

A Qualidade do Ar Interior (QAI) tem vindo a despertar cada vez mais o interesse da comunidade científica, pelo facto das sociedades modernas passarem a grande maioria do seu dia em ambientes interiores, sendo o ar que respiramos um fator determinante na saúde e bem-estar do ser humano. Os indivíduos que praticam desporto estão em particular risco de inalar poluentes, não só porque durante a atividade desportiva estão sujeitos a maiores taxas de consumo de ar mas também ao facto de uma grande fração de ar ser inalada pela boca durante a prática de exercício físico. Atendendo à crescente preocupação com a QAI e ao maior ou menor risco de exposição dos indivíduos em recintos desportivos torna-se pertinente avaliar e caracterizar a qualidade do ar, área esta em que o conhecimento e estudos sobre a qualidade do ar são ainda escassos.

O trabalho aqui apresentado teve como objetivo avaliar a qualidade do ar em recintos desportivos, tendo sido para o efeito realizado um estudo que recaiu sobre duas unidades desportivas com diferentes tipologias e práticas a elas associadas, *fronton* e ginásio, pertencentes à Universidade de Léon, Espanha. Cada local foi alvo de uma campanha de monitorização da QAI durante o mês de Julho de 2012 que envolveu a medição de parâmetros de conforto (temperatura, humidade relativa, CO₂) e de poluentes gasosos (CO, COVs totais e compostos de carbonilo) e partículas (PM₁₀) quer em termos de distribuição por tamanhos (distribuição numérica e volúmica/massa) quer das concentrações mássica e sua composição química (OC/EC, carbonatos e iões inorgânicos solúveis). As campanhas de monitorização da QAI nos dois recintos foram igualmente acompanhadas da monitorização da qualidade do ar exterior na sua vizinhança. A amostragem incluiu a monitorização em contínuo de parâmetros de temperatura, humidade relativa, CO₂, CO, COVs e partículas, o uso de amostradores passivos para a recolha de NO₂, carbonilos e COVs e a utilização de um amostrador de baixa caudal para a recolha de PM₁₀.

As taxas de ventilação mínimas recomendadas foram observadas nas duas instalações. As atividades de limpeza, no interior do *fronton* coincidiram com aumentos significativos de COVs e partículas. No exterior das instalações e no interior do *fronton* as concentrações de PM₁₀ foram sempre inferiores a 50 µg m⁻³. No interior do ginásio foram registadas concentrações de PM₁₀ de 150 µg m⁻³, associadas a processos de ressuspensão e ao uso de magnésia alba, um pó utilizado na prática de certos aparelhos desportivos. As elevadas concentrações de magnésio e carbonato evidenciam a importância da magnésia nos níveis de PM₁₀ observados no ginásio. De igual modo as distribuições de partículas por tamanho demonstraram um claro contributo do uso da magnésia e dos processos de ressuspensão, associados às atividades físicas, no aumento do número de partículas. O contributo de carbono total (OC e EC) nas PM₁₀ foi cerca de 30%, nos dois espaços interiores.

keywords

Indoor Air Quality, sports facilities, PM₁₀, carbonate, OC, EC, water soluble ions, particles size distribution, refractive index.

abstract

The indoor air quality (IAQ) has been increasingly awaken the interest of the scientific community, because of modern societies spend the majority of their day indoors and the air we breathe is a crucial factor in the health and well-being of humans. Individuals who play sports are at particular risk to inhale pollutants, not only because during sport activities may be subject to higher rates of air consumption but also because a large percentage of air is inhaled through the mouth during physical exercise. Taking into account the growing concern about IAQ and the risk of exposure of individuals in sports arenas becomes relevant evaluate and characterize the air quality in this area which the knowledge and studies are scarce.

The work presented here aims to evaluate the air quality in sport arenas, it have been carried out to study the effect in two sports facilities with different typologies and practices associated with them, *fronton* and gym, belonging to the University of León, Spain. Each place was the target of IAQ monitoring campaign during the month of July 2012 which involved comfort parameters measurement (temperature, relative humidity, CO₂) and gaseous pollutants (CO, total VOCs and carbonyl compounds) and particles (PM₁₀) and in terms of size distribution (number and density distribution / mass) and the mass concentrations and chemical composition (OC / EC, carbonates and soluble inorganic ions). The IAQ monitoring campaigns in the two places were also accompanied by monitoring of outdoor air quality in the neighborhood. The sampling tasks include continuous monitoring of temperature, relative humidity, CO₂, CO, VOCs and particles the use of a passive sampler for collecting NO₂ and VOCs carbonyls and using a low flow sampler for collecting PM₁₀.

The recommended minimum ventilation rates were observed in the two facilities. Cleaning activities inside the *fronton* coincided with significant increases in VOCs and particles. Outside and inside the *fronton* PM₁₀ concentrations were always below 50 µg m⁻³. Inside the gym were registered PM₁₀ concentrations of 150 µg m⁻³, connected to resuspension processes and *magnesia alba*, a powder used in the practice in some gymnastic equipment's. High concentrations of magnesium and carbonate empathizes the importance of *magnesia* in PM₁₀ levels observed in the gym. Similarly, the distribution of particles by size demonstrated a clear contribution from the use of *magnesia* and resuspension processes, associated with physical activities, in increasing the number of particles. The contribution to total carbon (OC and EC) in PM₁₀ was about 30% in both inside spaces.

Índice

1.	Introdução	1
1.1	Qualidade do ar interior	3
1.3	Fatores que afetam a qualidade do ar interior	4
1.3.1	Temperatura e humidade relativa.....	7
1.3.2	Dióxido de Carbono	8
1.3.3	Monóxido de carbono	10
1.3.4	Dióxido de azoto (NO ₂).....	10
1.3.5	Formaldeído.....	11
1.3.6	Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)	13
1.3.7	Partículas	15
1.4	Enquadramento legal	18
1.5	A problemática da QAI em edifícios desportivos	20
1.6	Objetivos de estudo	22
2.	Trabalho experimental	23
2.1	Caracterização dos locais de estudo	25
2.2	Amostragem.....	29
2.3	Métodos analíticos	34
2.3.1	Análise gravimétrica	34
2.3.2	Método termo-ótico.....	34
2.3.3	Cromatografia iónica.....	44
2.4	Metodologias de cálculo	47
2.4.1	Taxas de ventilação.....	47
2.4.3	Determinação da concentração mássica de EC, OC e Carbonatos	51
3.	Resultados e discussão.....	59
3.1	Parâmetros de conforto e gases em contínuo	61
3.2	Taxas de ventilação	66
3.3	COVs, Carbonilos e NO ₂	67
3.4	Partículas	71
3.4.2	Composição Química	74

3.4.4 Distribuições por tamanho	79
4. Conclusões	95
5. Bibliografia	99
Anexos.....	109

Índice de Tabelas

Tabela 1.1-Principais fatores que afetam a QAI e suas fontes.....	6
Tabela 1.2-Produção de CO ₂ na atividade metabólica	9
Tabela 1.3- Nível do metabolismo em função da atividade desenvolvida.....	9
Tabela 1.4-Fatores de emissão de formaldeído	12
Tabela 1.5- Classificação dos COVs de acordo com a OMS	13
Tabela 1.6- COVs comuns em ambiente interior e suas principais fontes	14
Tabela 1.7- Valores de referência portugueses dos parâmetros de QAI	19
Tabela 1.8- Valores de referência espanhóis de parâmetros de qualidade do ar.	20
Tabela 2.1- Intervalos de tamanho de partículas medidos pela PCASP-X	32
Tabela 2.2- Índices de refração e densidades	55
Tabela 3.1- Concentrações de Compostos Orgânicos Voláteis ($\mu\text{g m}^{-3}$).....	68
Tabela 3.2 - Parâmetros usados para o cálculo do índice de refração fronton/exterior.	81
Tabela 3.3- Parâmetros usados para o cálculo do índice de refração do ginásio.....	81
Tabela 3.4- Comparação de índices de refração.....	81
Tabela 3.5- Intervalos de tamanho de partículas medidos pela PCASP-X, para os índices de refração determinados	82
Tabela 3.6- Descrição dos intervalos do <i>fronton</i>	83
Tabela 3.7- Descrição dos intervalos por tipo de atividade no <i>fronton</i>	85
Tabela 3.8- Descrição dos intervalos do ginásio.	86
Tabela 3.9- Descrição dos intervalos das diferentes atividades do ginásio.	88
Tabela 3.10- Parâmetros das distribuições lognormal em número, superfície e volume, para o fronton.	92
Tabela 3.11- Parâmetros das distribuições lognormal em número, superfície e volume/massa, para o ginásio.	94
Tabela II.1 - Tabela de correção para ajuste do caudalímetro em função da altitude.....	113

Índice de Figuras

Figura 1.1-Fontes de emissão de diferentes espaços de uma escola.....	7
Figura 1.2- Comparação do tamanho de PM_{10} e $PM_{2,5}$	15
Figura 1.3- Penetração de partículas em função do tamanho.....	16
Figura 1.4- Representação esquemática simplificada da distribuição de tamanhos das partículas de um aerossol atmosférico	17
Figura 2.1- Localização da área de estudo.....	25
Figura 2.2- Locais de amostragem.....	26
Figura 2.3- Interior do <i>fronton</i>	26
Figura 2.4-Locais de amostragem dentro do fronton	27
Figura 2.5- Interior ginásio.....	28
Figura 2.6- Locais de amostragem no interior do ginásio	28
Figura 2.7- Atividades no ginásio	28
Figura 2.8- Local de amostragem no exterior	29
Figura 2.9- Captação de gases pelos tubos de difusão.....	30
Figura 2.10- Separação das partículas na cabeça de amostragem	31
Figura 2.11- Espectrómetro laser PCASP-X, PMS Model	31
Figura 2.12- Diagrama do fluxo do espectrómetro PCASP-X.....	33
Figura 2.13-Esquema representativo do sistema de análise termo-óptico.....	35
Figura 2.14-Representação do interior do forno de quartzo utilizado no sistema termo-óptico	36
Figura 2.15-Representação da evolução do CO_2 , da temperatura e do sinal do laser ao longo de uma análise.	41
Figura 2.16- Representação esquemática do borbulhador para a análise de filtros	43
Figura 2.17- Representação gráfica de uma análise de carbonatos	43
Figura 2.18-Representação esquemática do borbulhador para a análise da solução de magnésia.....	44
Figura 2.19- Cromatograma de uma análise de catiões	45
Figura 2.20- Esquema representativo do sistema de análise de cromatografia iónica	46
Figura 2.21- Filtração das amostras para a cromatografia iónica.....	46
Figura 2.22 Esquema do procedimento de amostragem até a análise, para os COVs.....	50
Figura 2.23- Distribuição do número de partículas em função do tamanho, identificação das modas e diferentes classificações por tamanho.	57
Figura 3.1- Variação da temperatura, humidade relativa e CO_2 no interior do fronton (inferior) e no exterior (superior)	62
Figura 3.2- Variação das concentrações de CO e COVs no interior do fronton e de CO no exterior durante o período de amostragem.....	63
Figura 3.3- Pormenor da variação de CO e COVs no interior do fronton, durante os dias de saída e entrada do trator das instalações.	63

Figura 3.4- Variação da temperatura, humidade relativa e CO ₂ no interior do ginásio (inferior) e no exterior (superior)	64
Figura 3.5- Variação das concentrações de CO e COVs no interior do ginásio e de CO no exterior durante o período de amostragem.....	65
Figura 3.6- Concentrações médias de compostos de carbonilo.....	69
Figura 3.7- Concentrações médias de dióxido de azoto.....	70
Figura 3.8- Concentrações médias de PM ₁₀ no fronton e no ginásio	72
Figura 3.9- Variação de PM ₁₀ no ginásio	73
Figura 3.10- Fração mássica de Carbono Orgânico nas PM ₁₀	74
Figura 3.11- Fração mássica de carbono elementar nas PM ₁₀	75
Figura 3.12- Percentagem mássica de iões solúveis nas PM ₁₀	76
Figura 3.13- Concentração de iões solúveis nas PM ₁₀ , do fronton.....	76
Figura 3.14- Contrações de iões solúveis nas PM ₁₀ do ginásio	77
Figura 3.15- (esquerda-centro) partículas de magnésia, (direita) partícula de magnésia recristalizada com microcristais de haletos. As partículas do fundo foram ensombrecidas com um filtro escuro.....	78
Figura 3.16- Percentagem média dos vários constituintes determinados nas PM ₁₀	80
Figura 3.17- Distribuição do número de partículas, no dia 10 de Julho de 2012, dia típico de atividade no <i>fronton</i>	83
Figura 3.18- Distribuição cumulativa média do número de partículas por tamanho, para os diferentes períodos do <i>fronton</i> e uma medição exterior do mesmo dia, 10 de Julho de 2012.....	84
Figura 3.19- Distribuição do número de partículas por tamanho, para vários tipos de atividades do <i>fronton</i>	85
Figura 3.20- Distribuição do número de partículas total, no dia 16 de Julho de 2012, dia típico de atividade no ginásio.....	86
Figura 3.21- Distribuição cumulativa média do número de partículas por tamanho, para os diferentes períodos do ginásio (16 de Julho de 2012) e uma medição exterior (15 de Julho de 2012).....	87
Figura 3.22- Distribuição do número de partículas por tamanho, para vários tipos de atividades do ginásio.....	88
Figura 3.23- Comparação entre distribuições do número de partículas por tamanho do <i>fronton</i> (10 de Julho de 2012) e do ginásio (16 de Julho de 2012).....	89
Figura 3.24- Distribuição de número total de partículas e COVs, no dia 12 de Julho de 2012, dia de limpeza do <i>fronton</i>	90
Figura 3.25- Distribuição do número de partículas por tamanho para o dia das limpezas (12 de Julho de 2012).....	90
Figura 3.26 Distribuições de partículas por tamanho em número, superfície e volume no <i>fronton</i> e exterior do dia 10 de Julho de 2012 e para o 14 de Julho de 2012, dia de fim de semana.....	91

Figura 3.27- Distribuições de partículas por tamanho em número, superfície e volume no ginásio (16 de Julho de 2012), durante o fim de semana (21 de Julho de 2012) e no exterior (15 de Julho de 2012).....	93
Figura 5.1- Planta do fronton.....	111
Figura 5.2- Planta do ginásio.....	112

1. Introdução

Uma boa qualidade do ar deve ser um direito de todos os cidadãos, independentemente da nacionalidade e poder económico, disponível em toda a superfície terrestre a cada segundo. Sabendo que um ar de fraca qualidade prejudica a saúde humana e que na maioria dos casos não temos a capacidade, nem os meios para saber se estamos perante ar seguro, porque os nossos sentidos não conseguem detetar a maioria dos gases e aerossóis, é da maior importância encontrar os meios e medidas que o permitam avaliar. A monitorização e avaliação da qualidade do ar torna-se portanto imprescindível para a garantia da proteção da saúde pública.

Vários têm sido os estudos que revelam uma menor qualidade do ar em ambientes interiores que associado a padrões de vida, cada vez mais sedentários, com uma maior permanência das populações em espaços interiores há necessidade de caracterizar diferentes espaços interiores, dadas as suas especificidades, para se poderem tomar medidas adequadas. Particular atenção tem sido dada nos últimos anos à qualidade do ar em escolas (EEA, 2013), onde o público-alvo, população infantil, apresenta maior suscetibilidade à qualidade do ar. Espaços dedicados à prática de atividade física são pouco conhecidos em relação à qualidade do ar que aí se respira. O público destes espaços apresenta um maior risco à exposição a ar de fraca qualidade dado que de um modo geral a taxa de ventilação é fortemente afetada e consequentemente a dose de poluentes inalada é maior.

A avaliação da qualidade do ar em instalações desportivas torna-se pois da maior relevância impondo-se a necessidade de se obter mais informação sobre o contributo de fonte internas e externas, nestes locais públicos, onde os seus ocupantes se tornam um público de risco durante a prática desportiva. É neste contexto que surge o presente trabalho com o objetivo de colmatar a falta de informação associada a estas instalações.

1.1 Qualidade do ar interior

O hábito quotidiano de abrir as janelas para permitir a renovação do ar interior já é antigo. Tal deve-se às atividades humanas, em espaços fechados, influenciarem a qualidade do ar e o próprio conforto. O ser humano ao respirar consome oxigénio e expele dióxido de carbono, liberta odores provenientes da pele, do hálito, do vestuário, etc. Os materiais de revestimento dos locais, os hábitos de higiene, alimentares e culturais também produzem poluentes, microrganismos e odores. Se a ventilação dos espaços interiores for ineficiente tende a haver uma acumulação de poluentes e odores resultando numa fraca qualidade do ar interior. Quando o ar exterior é de fraca qualidade, como acontece quando contém uma quantidade excessiva de poeiras ou outras substâncias indesejáveis, também contribui para a redução de qualidade do ar interior (Rodrigues *et al.*, 2009). A exposição a uma reduzida QAI pode resultar em consequências graves sobre a saúde humana, afetar o bem-estar e produtividade dos ocupantes (Tange, 2002).

Nas sociedades ocidentais, as pessoas tendem a passar cerca de 90% do seu tempo em espaços interiores, repartido entre a sua residência, locais de trabalho, transportes e edifícios públicos.

Estudos revelam que o nível de poluição nos espaços interiores pode atingir valores duas a cinco vezes superiores aos níveis observados no exterior e ocasionalmente cem vezes (EPA,1994).

Segundo estudos levados a cabo pela Children's Environmental Health Network (CEHN, 1999) e pela American Academy of Pediatrics (AAP, 2003) estima-se que as crianças passam cerca de 90% do tempo em ambientes fechados (creches, escolas, ginásios, residências, etc.), tendo assim uma exposição considerável a ambientes interiores.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) e a Environmental Protection Agency (EPA) têm vindo a considerar a qualidade do ar interior como um tema prioritário no âmbito das intervenções na área da relação Ambiente/Saúde (WHO,1997) (EPA, 2000).

Para assegurar a saúde dos habitantes, os edifícios devem garantir uma QAI aceitável e foi necessário definir o conceito de QAI. Segundo a OMS, uma QAI aceitável significa que "a natureza física e química do ar interior que é respirado pelos ocupantes de um edifício produz um completo bem-estar, mental, físico e social, não podendo provocar absentismo, doenças ou debilidades" (IAQ Management Group, 2003). Numa definição mais técnica, a QAI será atingida quando permitir satisfazer os três requisitos básicos que regulam a ocupação humana dos espaços: ambiente térmico aceitável; manutenção das concentrações normais dos gases expirados (dióxido de carbono); remoção dos poluentes ou sua diluição, de modo a manter os seus níveis dentro dos limites aceitáveis para a saúde, e controlo de odores passíveis de criar incomodidade. As exigências em termos de QAI englobam também parâmetros de conforto, como a temperatura e humidade relativa que dependem da perceção de cada indivíduo, podendo o mesmo ambiente ser confortável para uma pessoa e desconfortável para outra (Lemos, 1997).

As estratégias para a melhoria da qualidade do ar interior passam pelo controlo das fontes, aplicando o princípio da prevenção e pela ventilação que dilui a concentração de poluentes. O controlo das fontes deve ser uma prioridade, dado que a ventilação pode ter contrapartidas no maior consumo de energia dos edifícios, que importa moderar.

1.3 Fatores que afetam a qualidade do ar interior

Os edifícios são sistemas complexos, geralmente constituídos por várias divisões com características e actividades distintas. As trocas de ar entre as divisões e com o exterior são condicionadas pela ventilação natural ou artificial do próprio edifício. Todas estas interações influenciam a qualidade do ar, bem como a presença dos ocupantes e as actividades realizadas nos locais. Na avaliação da QAI deve ser realizado um levantamento das fontes que podem contribuir para a degradação do ar, incluído fontes interior, fontes exterior próximas de locais de entrada de ar e os sistemas de ventilação que também podem ser fontes de contaminação (LQAI, 2013). O isolamento excessivo dos edifícios pode igualmente favorecer a acumulação de poluentes.

As emissões internas de poluentes podem ter como origem materiais de construção e decoração, processos de combustão (fogões, lareiras, velas), produtos e equipamentos de limpeza, produtos de consumo, fumo de tabaco, animais, fungos e bolores, e os produtos do metabolismo dos ocupantes. A OMS definiu valores limite de exposição a partículas, ozono, dióxido de azoto e dióxido de enxofre para ambientes interiores. Os agentes biológicos também são responsáveis por várias doenças, sendo possível associar algumas alergias à presença de ácaros e animais domésticos. Por sua vez a humidade favorece o crescimento de microrganismos, como fungos e bactérias que emitem esporos, células, fragmentos de materiais e compostos orgânicos voláteis (COVs) para o ar interior, levando ao aparecimento de casos de asma e sintomas respiratórios. Os sistemas de ventilação contribuem para o controlo da humidade e diluição dos poluentes, contudo um dimensionamento e manutenção inadequados constitui um risco para a saúde devido ao crescimento de microrganismos e emissão de COVs resultantes da acumulação de partículas (APA, 2010). O radão é um gás radioactivo que também pode ser indentificado em espaços interiores tendo como principal origem o solo, águas subterrâneas e alguns materiais de construção, cuja inalação pode provocar danos ou cancro nos pulmões. Os poluentes do ar exterior, por infiltração podem chegar ao interior dos edifícios e contribuir para a redução da QAI, dependendo das suas propriedades físico-química. Ozono devido à sua elevada reactividade pode ser removido do ar, dentro ou antes da entrada em espaços interiores, apresentando concentrações muito mais baixas nestes ambientes (EEA, 2013). Vários estudos de QAI apresentam rácios de concentração interior/exterior (I/E) os quais permitem fazer uma análise preliminar do contributo de fonte exteriores, na QAI e revelar a existência de fontes interiores.

Na Tabela 1.1 estão compilados os principais fatores que afetam a QAI e respetivas fontes.

Tabela 1.1-Principais fatores que afetam a QAI e suas fontes

Fator	Fonte interna	Fonte externa
Temperatura e umidade	Colocação imprópria dos dispositivos de medição (termostatos), deficiente controle de umidade, incapacidade do edifício de compensar extremos climáticos, número de equipamentos instalados e a densidade de ocupação.	Clima
Dióxido de carbono	Número de pessoas, queima de combustíveis fósseis, (gás, aquecedores, etc.).	Emissões de veículos e indústria
Monóxido de carbono	Emissões de veículos (garagens), combustão, fumo de tabaco.	Emissões de veículos
Dióxido de azoto	Produtos de combustão de cozinhas e sistemas de aquecimento a gás, biomassa, etc., fumo de tabaco, fumos de soldadura.	Emissões de veículos e indústria
Formaldeído	Madeira prensada, contraplacado não selado, isolamento de espuma de ureia-formaldeído, tecidos, cola, carpetes, mobiliário, papel químico.	Quase exclusivamente identificado em ambientes interiores
Compostos Orgânicos Voláteis (COV)	Fotocopiadoras e impressoras, computadores, carpetes, mobiliário, produtos de limpeza, fumo, tintas, adesivos, calafetagem, perfumes, lacas, solventes, pesticidas e inseticidas.	Emissões de veículos e indústria
Ozono	Fotocopiadoras, impressoras, ambientadores, descargas elétrica.	Processos fotoquímicos resultantes de reações com produtos de combustão
Partículas	Fumo, fogões, lareiras, papel, isolamento de tubagens, resíduos de água, carpetes, filtros de HVAC, limpeza.	Solo, emissões de veículos e indústria, atividades de demolição e construção, agricultura, vegetação
Fibras Artificiais: fibra de vidro e lã mineral	Isolantes e impermeabilizantes utilizados na construção.	Emissões industriais, Trabalhos de construção e demolição
Radão	Materiais de construção	Solo e águas subterrâneas
Matéria microbiana	Água estagnada em sistemas de HVAC, materiais molhados e húmidos, torres de refrigeração, plantas, animais, ser humano, resíduos.	Vegetação, animais, acumulação de resíduos
Ventilação inadequada	Medidas de poupança de energia e manutenção, má conceção do projeto do sistema de HVAC, operação deficiente de funcionamento, alteração do sistema de funcionamento do HVAC pelos ocupantes, conceção desajustada dos espaços em avaliação.	

(Adaptado de APA, 2010)

Contudo as fontes internas de emissão podem diferir muito consoante o tipo de edifício. Algumas instalações devido à especificidade das actividades desenvolvidas no seu interior, à sua localização e as próprias infraestruturas podem apresentar fontes de emissão, não referenciadas na maioria dos espaços interiores. O desenvolvimento de estudos de QAI em diferentes espaços contribui para identificação de novas fontes, fatores e medidas preventivas para uma melhoria da QAI. A título de exemplo estão identificadas algumas fontes de emissão presentes em diferentes espaços de uma escola na Figura 1.1.

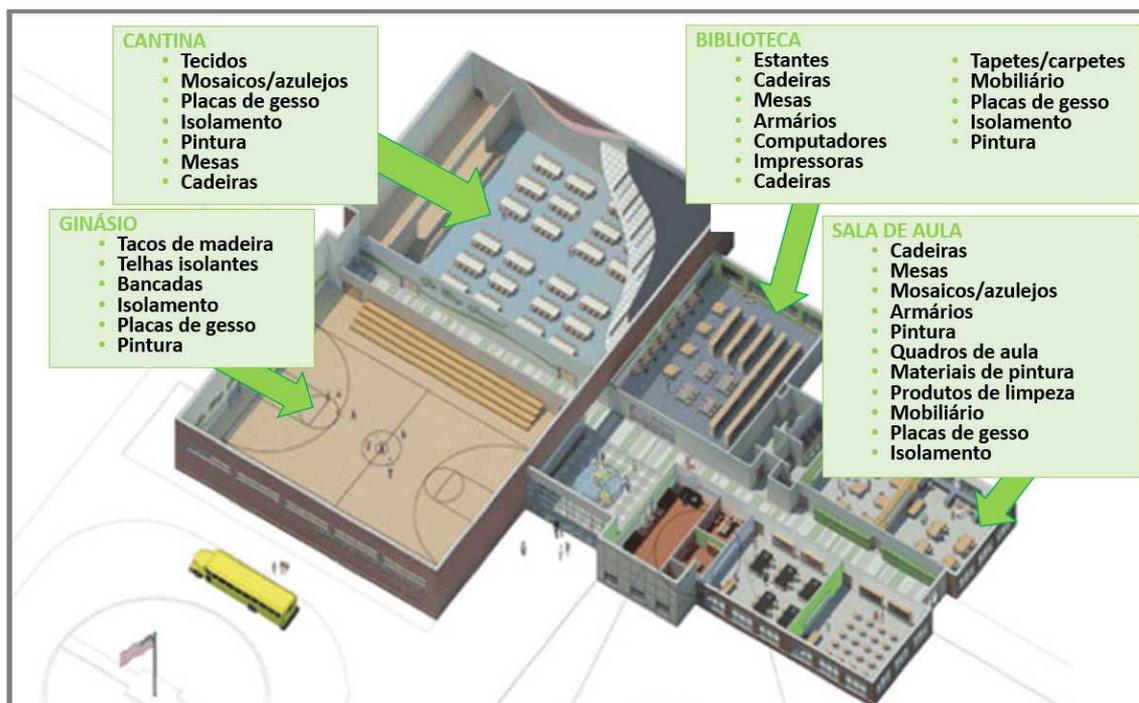


Figura 1.1-Fontes de emissão de diferentes espaços de uma escola (Adaptado de <http://www.greenguard.org/>)

Para além da identificação das fontes, deve ser tido em consideração o modo de emissão dos compostos, isto é, se a emissão é contínua ou esporádica, constante ou variável, em altas ou baixas concentrações. A facilidade de remoção de poluentes e as suas interações também afectam a QAI.

De seguida serão descritos de uma forma mais detalhada alguns dos fatores que afectam a QAI.

1.3.1 Temperatura e humidade relativa

A temperatura e a humidade relativa são parâmetros associados ao conforto térmico dos edifícios. Estes parâmetros de conforto estão ligados ao bem-estar e satisfação dos indivíduos, influenciando a sua concentração e o seu rendimento. As condições de conforto são subjetivas

porque dependem da percepção de cada indivíduo, do nível de atividade física, do vestuário, da idade, da localização geográfica, do clima, entre outros fatores. Segundo a “ASHARE Standard 55-1992, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy,” pode ser considerado como atingido o conforto térmico, quando pelo menos 80% dos ocupantes estiverem satisfeitos com as condições térmicas ou as consideram aceitáveis.

Segundo Hodgson (2002), o facto de os indivíduos sentirem muito calor ou frio pode estar na origem de dores de cabeça, cansaço ou irritação das mucosas. As temperaturas elevadas dificultam a dissipação do calor por parte do organismo, levando a um aumento da temperatura corporal e do ritmo cardíaco, provocando sonolência e redução do rendimento. A uniformidade da temperatura nos espaços também é um fator a ter em consideração porque o indivíduo pode sentir desconforto se partes do seu corpo estiverem sujeitas a diferentes temperaturas.

A humidade relativa também influencia a qualidade do ar e o conforto dos ocupantes. Valores elevados de humidade relativa podem levar à condensação de água, no interior dos edifícios, favorecendo o desenvolvimento e propagação de fungos e microrganismos responsáveis por alguns problemas de saúde. Níveis elevados de humidade também impedem a evaporação do suor por parte do organismo, diminuindo a sua resistência a altas temperaturas. Valores inferiores a 25% estão associados ao aumento do desconforto e à secagem das membranas das mucosas e da pele, podendo resultar em irritações e surgimento de gretas. Níveis baixos de humidade também aumentam a eletricidade estática causadora de desconforto e dificultando o funcionamento de alguns equipamentos elétricos (APA, 2010). De modo a evitar estes problemas, os níveis de humidade relativa devem ser mantidos entre 30 a 60 % (EPA, 2009).

1.3.2 Dióxido de Carbono

O dióxido de carbono é um dos constituintes da atmosfera, cuja a concentração tem vindo a aumentar ao longo das décadas apresentando atualmente uma concentração entre os 330 e 350 ppm. Este gás, inodoro e incolor é libertado pelo metabolismo humano e animal durante o processo de respiração. No domínio da QAI a presença humana é geralmente a principal fonte de emissão deste gás. A sua taxa de emissão varia com o esforço exigido por cada atividade. A Tabela 1.2 contém alguns valores de produção de CO₂ associados a atividades com diferentes exigências metabólicas, para população adulta. Sendo a ginástica e o desporto de competição, atividades que despendem muita energia (Tabela 1.3) apresentam um nível elevado de trocas gasosas, entre o organismo e o ar envolvente.

Tabela 1.2-Produção de CO₂ na atividade metabólica

Atividade	Metabolismo (W)	Produção de CO ₂ (l/s)
Repouso	100	0,0040
Trabalho leve	160 a 320	0,0064 a 0,0128
Trabalho moderado	320 a 480	0,0128 a 0,0192
Trabalho pesado	480 a 650	0,0192 a 0,0260
Trabalho muito pesado	650 a 800	0,0260 a 0,3200

Fonte: Viegas,1996

Tabela 1.3- Nível do metabolismo em função da atividade desenvolvida

Atividade	Metabolismo (W)
Em repouso	80-100
Atividade sedentária	100-120
Trabalho leve	140-180
Trabalho oficial médio	200-300
Ginástica	300-400
Desporto de competição	400-600

Fonte: Rodrigues *et al*, 2009

Ao longo do dia, mediante as taxas de ocupação dos espaços, os níveis de CO₂ variam tipicamente entre 600 e 800 ppm, embora em condições de densa ocupação e ventilação deficiente se possam observar concentrações muito superiores. Segundo a ASHRAE Standard 62-1989, para assegurar uma boa QAI recomenda-se uma taxa mínima de ventilação de 10 l/s por pessoa. A concentração de CO₂ no interior dos edifícios pode dar indicação da necessidade de reforçar a taxa de ventilação (APA, 2010).

As emissões de CO₂ também podem ter origem antropogénica, associadas à queima de combustíveis fósseis, geralmente libertados em ambientes exteriores. Estes poluentes por infiltração podem atingir os espaços interiores. De igual modo fontes de combustão interiores também contribuem para o aumento dos níveis de concentração nos espaços interiores.

A presença de CO₂ em concentrações elevadas pode causar desconforto, a sensação de ar saturado, irritação dos olhos e garganta, dificuldades respiratórias e fadiga. Em concentrações superiores a 15000 ppm, este parâmetro indicador de conforto, pode provocar perda de acuidade mental (EPA, 2009) e acima de 30000 ppm pode originar dores de cabeça, tonturas e náuseas (Quadros, 2008). A exposição a concentrações acima de 1800 ppm tem sido associada ao aumento de dificuldades de aprendizagem e concentração dos alunos.

1.3.3 Monóxido de carbono

O monóxido de carbono é um gás incolor e inodoro difícil de detetar pelo ser humano. Estas características juntamente com a sua elevada toxicidade têm sido responsáveis por inúmeras mortes. A emissão deste poluente resulta principalmente dos processos de combustão incompleta. Em espaços interiores, a sua acumulação pode estar também associada a uma ventilação ineficiente ou a infiltrações provenientes de compartimentos vizinhos e fontes exteriores próximas, como por exemplo garagens, entradas de prédio, cozinhas, sistemas de aquecimento, fumo de tabaco, etc. (APA, 2010). As concentrações em ambientes interiores variam tipicamente entre 1 e 5 ppm, enquanto no exterior os valores de fundo rondam 0,19 ppm e variam de 3 a 60 ppm nas zonas urbanas (Crump, 2011). O monóxido de carbono deve ser medido sempre que haja suspeitas de problemas nos processos de combustão, queixas associadas a odores de exaustão ou qualquer outra suspeita da presença deste gás, em concentrações que possam afetar a saúde humana.

Este composto atua junto do sistema sanguíneo, ligando-se à hemoglobina, originando uma redução do transporte de oxigénio, até às células.

Os sintomas associados a elevadas concentrações de CO incluem dores de cabeça, diminuição do estado de vigília, sintomas análogos aos da gripe, náuseas, fadiga, respiração rápida, dor no peito, confusão e lentidão de raciocínio. Estes sintomas podem manifestar-se nos indivíduos com intensidades diferentes, consoante a suscetibilidade de cada um.

Segundo o ASHRAE Standard 62-1989, o valor limite de exposição ao monóxido de carbono, para uma média de 8 horas, não deve exceder os 9 ppm. Valores acima dos 5 ppm são indicadores de fontes de poluentes ligados aos processos de combustão (APA, 2010).

1.3.4 Dióxido de azoto (NO₂)

As emissões de NO₂ resultam principalmente de processos de combustão. Em espaços interiores as concentrações deste gás estão particularmente associadas aos fogões a gás, lareiras, aparelhos de queima de carvão, petróleo, madeira e ao fumo de tabaco. Num estudo Espanhol, em 340 residências, as concentrações anuais de NO₂ no ar interior variaram entre 12,5 e 14,7 mg m⁻³, apresentando tipicamente rácios interior/exterior próximos de 1. A utilização de fogões a gás e o tabagismo foram duas das principais fontes internas deste composto apontadas neste estudo (Garcia-Algar *et al.*, 2003). No ar exterior, o NO₂ surge maioritariamente pelo tráfego rodoviário, podendo ter um contributo significativo na qualidade do ar interior. Este facto é reforçado por medições realizadas em escolas que evidenciaram uma correlação entre a proximidade e intensidade de tráfego nas estradas e a QAI nas salas de aulas (Janssen *et al.*, 2001). Motores e máquinas de cortar relva, na proximidade de edifícios também podem ser um contributo para a QAI.

Vários estudos revelaram níveis elevados de NO₂ em pistas de gelo interiores e parques de estacionamento subterrâneos. Nas pistas de gelo, as elevadas concentrações deste composto resultam da utilização de máquinas de retificação de gelo movidas por motores de combustão. Durante o período de treino, numa pista finlandesa foram observados valores entre 21 e 1176 mgm⁻³ de NO₂ e uma média semanal de 228 mg m⁻³. Neste cenário, a exposição de jogadores de hóquei no gelo e patinadores, a NO₂, CO, partículas e a ar frio resultou numa prevalência de sintomas respiratórios (WHO, 2010).

A exposição a NO₂ pode causar irritação nas mucosas dos olhos, nariz, garganta e trato respiratório (EPA, 2008). Elevados níveis de exposição podem causar diminuição da função pulmonar e aumento da reatividade brônquica, em indivíduos com problemas respiratórios, bem como aumentar o risco de infeções respiratórias, principalmente em crianças pequenas. Uma exposição prolongada a elevadas concentrações contribui para o aparecimento de bronquite crónica ou aguda (EPA, 2009).

As concentrações típicas de NO₂ no interior dos edifícios variam entre 29 a 46 ppb (Crump, 2011). De modo a reduzir o desenvolvimento de sintomas respiratórios resultantes da permanência em espaços interiores, a WHO recomenda que em termos de média anual, os níveis de NO₂ não excedam os 40 µg m⁻³. O valor recomendado para médias horárias é de 200 µg m⁻³, uma vez que para concentrações duas vezes superiores, os indivíduos asmáticos podem apresentar uma pequena redução da função pulmonar (WHO, 2011).

1.3.5 Formaldeído

O formaldeído é um gás incolor detetado em concentrações superiores a 0,2 ppm, pelo seu cheiro intenso e reação irritante. As suas principais fontes de emissão são os materiais de revestimento dos edifícios, mobiliário e vários consumíveis. Este composto pode estar presente em vestuário, tapeçarias, colas, tintas, produtos de limpeza, etc. As resinas de formaldeído são utilizadas em acabamentos de painéis de madeira, papel e aglomerados muito utilizados no mobiliário e materiais de construção (APA, 2010).

Nos produtos à base de madeira, as emissões de formaldeído são contínuas e a taxa de emissão depende da temperatura e humidade, variando ao longo do dia e das estações do ano, e com a idade dos materiais. Entre 1970 e 1980, em países desenvolvidos, muitas queixas de fraca qualidade do ar interior foram associadas a elevadas emissões de formaldeído provenientes de materiais à base de madeira e materiais de isolamento, contendo resinas de ureia-formaldeído. A Tabela 1.4 apresenta fatores de emissão de formaldeído associados a diferentes materiais de construção e bens de consumo. Esforços consideráveis têm sido empreendidos no desenvolvimento de materiais com baixas emissões deste componente. Em alguns países, a regulamentação e as exigências dos consumidores resultaram num uso generalizado destes

novos produtos com baixo teor de formaldeído ou mesmo isentos deste contaminante (Crump, 2011).

Tabela 1.4-Fatores de emissão de formaldeído

	Formaldeído (mg/m²/dia)
MDF (painéis de média densidade de fibras de madeira)	17 600 - 55 000
Painéis de contraplacado	1 500 – 34 000
Aglomerado de partículas	2 000 – 25 000
Espuma de isolamento de ureia formaldeído	1 200 – 19 200
Contraplacado de madeira macia	240 – 720
Produtos de papel	260 – 680
Produtos de fibra de vidro	400 – 470
Vestuário	35 – 570
Revestimentos resilientes	<240
Carpetes	0 – 65
Estofos em tecido	0 - 7

Dado o elevado número de potenciais fontes presentes em ambientes interiores, geralmente concentrações mais elevadas de formaldeído são observadas no interior em relação às exteriores. No exterior, as concentrações são geralmente inferiores a 0,005 mg m⁻³ atingindo, tipicamente, valores dez vezes superiores, em ambientes interiores (Crump, 2011). Segundo Wolkoff *et al.*, (2010), os edifícios novos ou com grandes áreas em madeira podem atingir concentrações superiores a 0,1 mg m⁻³.

Os níveis de formaldeído devem ser inferiores a 0,1 ppm nos espaços interiores devido aos seus efeitos, na saúde (Health Canada,1995). Alguns dos sintomas associados à exposição a formaldeído incluem ardor nos olhos e garganta, fadiga, problemas de memória e concentração, dificuldades respiratórias (falta de ar e tosse), náuseas, vertigens e sensação de garganta seca. A exposição a altas concentrações pode originar reações asmáticas, irritação respiratória e agravamento de asma pré-existente. Este composto sendo simultaneamente irritante e alergénio também pode estar na origem de reações cutâneas (WHO, 2010). Face as evidências se têm vindo a registar dos efeitos na saúde resultantes da exposição a formaldeído várias autoridades em todo o mundo lançaram normativas que regulamentam os limites de exposição. Por exemplo em Portugal o valor recomendado é de 0,081 ppm (RSECE, 2006), sendo este mesmo valor o recomendado pela OMS para período de 30 minutos (WHO, 2010).

1.3.6 Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)

A designação Compostos Orgânicos é utilizada para identificar todos os compostos químicos constituídos por átomos de carbono e hidrogénio. Estes compostos podem ter características muito distintas em termos de constituição química (alcanos, aldeídos, aromáticos, etc.), propriedades físicas (ponto de ebulição, pressão de vapor, etc.) e risco para a saúde (irritantes, neuróticos, cancerígenos, etc.). A OMS sugere uma classificação, por pontos de ebulição, em quatro classes: compostos orgânicos muito voláteis (COMV), compostos orgânicos voláteis (COV), compostos orgânicos semi-voláteis (COSV) e matéria orgânica particulada (MOP) (Tabela 1.5).

Tabela 1.5- Classificação dos COVs de acordo com a OMS

Categoria	Descrição	Abreviatura	Gama de pontos de ebulição (°C)
1	Compostos orgânicos muito voláteis (gasosos)	COMV	< 0 a 50-100
2	Compostos orgânicos voláteis	COV	50-100 a 240-260
3	Compostos orgânicos semi-voláteis	COSV	240-260 a 380-400
4	Compostos orgânicos associados à matéria particulada ou a matéria orgânica particulada	MOP	>380

Os compostos orgânicos voláteis (COVs) são compostos orgânicos com pontos de ebulição entre os 50 e 250 °C. Dada a existência de milhares de COVs, mais de 900 já foram sinalizados em espaços interiores e 250 com concentrações superiores a 1 ppb (Health Canada, 1995). A identificação e medição individual é bastante dispendiosa e demorada. Um outro aspeto que dificulta a sua quantificação é o facto destes compostos estarem presentes no ar interior em concentrações muito baixas. De modo a contornar este problema efetua-se geralmente a medição destes compostos em COVs totais (COVT), contabilizando toda a mistura de COVs, sem distinguir os diferentes compostos. A quantificação de COVs totais é afetada pelo método de medição e composição da mistura. Em ambientes interiores, os COVs podem ser emitidos por materiais de revestimento, produtos de limpeza e higiene, fumo de tabaco, fotocopiadoras e processos de combustão. Alguns dos COVs geralmente presentes em espaços interiores e as suas principais fontes podem ser visualizados na Tabela 1.6 (APA, 2010).

Tabela 1.6- COVs comuns em ambiente interior e suas principais fontes

Substâncias	Fontes
Acetona	Tintas, revestimentos, acabamentos, solvente de tintas, diluidor, calafetagem
Hidrocarbonetos alifáticos: hexano, octano, n-decano, decano, i-decano, misturas, etc.)	Tintas, adesivos, gasolina, fontes de combustão, fotocopiadoras com processo líquido, carpetes, linóleo, componentes de calafetagem
Hidrocarbonetos aromáticos (tolueno, xileno, etilbenzeno, benzeno)	Fontes de combustão, tintas, adesivos, gasolina, linóleo, revestimento da parede
Solventes clorados	Artigos de limpeza ou de proteção de tapeçarias e carpetes, tintas, solvente de tintas, lacagem, solventes, fluido de correção, roupas limpas a seco
Acetato de n-butil	Telha acústica do teto, linóleo, compostos de calafetagem
Diclorobenzeno	Carpetes, cristais de naftalina, refrescante de ar
4-fenil ciclohexano (4-PC)	Carpetes, tintas
Terpenos (limoneno, α-pineno)	Desodorizantes, agentes de limpeza, polidores, tecido/decoração, tecido/decoração emoliente, cigarros

Fonte: APA, 2010

No interior dos edifícios, muitos COVs podem estar presentes em concentrações de 2 a 20 mg m⁻³. Por sua vez, o tabagismo e uma ventilação insuficiente podem contribuir para concentrações de COVs de 50 a 200 mg m⁻³. O impacto dos materiais de construção na QAI é notório em remodelações de edifícios e pinturas, assim como em edifícios novos onde muitos compostos podem estar presentes em concentrações superiores a 100 mg m⁻³. A presença de ocupantes também pode influenciar a emissão de COVs tendo sido evidenciado, em períodos de ausência de moradores, uma redução de 50%, nas concentrações de uma série compostos (Crump, 2011).

No ar exterior, as concentrações de COVs excluído o metano são geralmente inferiores a 100 µg m³. No caso dos ambientes interiores, os valores tendem a ser mais elevados podendo atingir os miligramas por metro cúbico (APA, 2010). Segundo a EPA, os valores médios de vários COVs são 2 a 5 vezes superiores em espaços interiores (EPA, 2010).

Os efeitos na saúde associados a exposição a COVs passam por irritação dos olhos, nariz e garganta, bem como, náuseas, dores de cabeça, danos nos rins, fígado e sistema nervoso central. Alguns COVs também têm efeitos cancerígenos (EPA, 2008).

Para minimizar possíveis danos na saúde, a comunidade Europeia definiu um valor de $0,3 \text{ mg m}^{-3}$ para COVT, no entanto nenhum COV individualmente deve exceder 10% da concentração de COVT. Estes valores são justificados pelo facto de exposições de $0,3$ a 3 mg m^{-3} estarem na origem de odores, irritação e desconforto, valores superiores a 3 mg m^{-3} provocarem queixas e valores acima de 25 mg m^{-3} resultarem em desconforto temporário e irritações respiratórias.

Contudo, dadas as lacunas existentes sobre a toxicologia e efeitos sensíveis dos COVs, assim como a complexidade das suas misturas é aconselhável a redução de qualquer exposição a estes composto (Health Canada,1995).

1.3.7 Partículas

A matéria particulada (PM) define-se como o conjunto de compostos, em estado sólido e líquido, em suspensão no ar. Esta mistura, também designada por aerossóis, engloba poeiras, fumo, grãos de pólen, esporos de fungos, bactérias, vírus (partículas sólidas) e vapores condensados (partículas líquidas)(Seinfeld e Pandis, 2006). As partículas, de origem orgânica e inorgânica, são maioritariamente constituídas por sulfatos, amónia, nitratos, cloreto de sódio, carbono, poeiras, minerais e água (WHO, 2011).

A matéria particulada inclui as partículas com um diâmetro aerodinâmico entre $0,005$ e $100 \text{ }\mu\text{m}$ (TSP) subdivididas em PM_{10} (partículas com diâmetro aerodinâmico inferior a $10 \text{ }\mu\text{m}$), $\text{PM}_{2,5}$ (partículas com diâmetro aerodinâmico inferior a $2,5 \text{ }\mu\text{m}$) e PM_1 (partículas com diâmetro aerodinâmico inferior a $1 \text{ }\mu\text{m}$). Em termos de comparação um cabelo humano tem um diâmetro aproximado de $60 \text{ }\mu\text{m}$, como pode ser observado na Figura 1.2 (Health Canada, 2012).

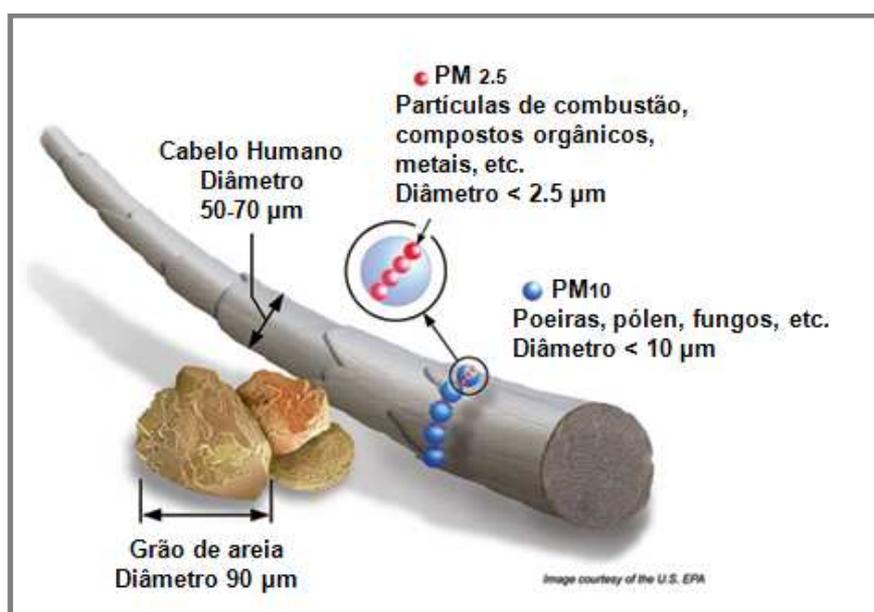


Figura 1.2- Comparação do tamanho de PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$ (adaptado de <http://www.epa.gov/pm/basic.html>)

A divisão por tamanho está relacionada com os efeitos na saúde resultantes da inalação das partículas, sendo as partículas com diâmetros de 0,1-10 μm , as mais preocupantes. O organismo humano tem a capacidade de filtrar partículas superiores a 10 μm , no entanto as partículas inferiores a este tamanho conseguem atingir a zona torácica sendo responsáveis por vários danos na saúde (APA, 2010). As $\text{PM}_{2,5}$, quando inaladas, podem alcançar as regiões periféricas dos bronquíolos e os alvéolos interferindo nas trocas gasosas do organismo, com efeitos mais graves para a saúde (WHO, 2011). Na Figura 1.3 ilustra-se a distribuição de partículas pelo sistema respiratório em função do tamanho.

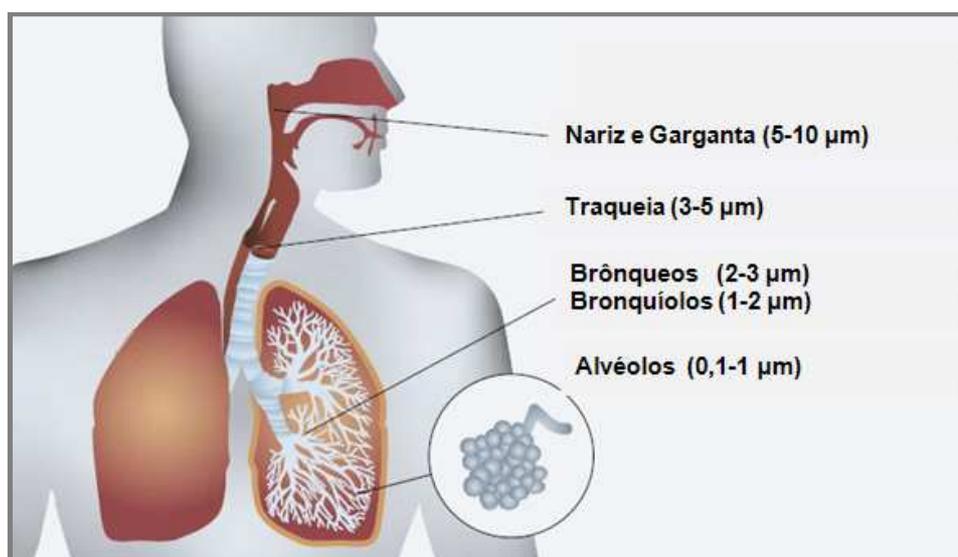


Figura 1.3- Penetração de partículas em função do tamanho (Adaptado de OFEFP, 2005)

Na década de 90, segundo os estudos realizados pela Harvard Six Cities e a American Cancer Society (ACS), as $\text{PM}_{10-2,5}$ não estariam associados a causas de mortalidade, enquanto as $\text{PM}_{2,5}$ seriam responsáveis por mortes de causas cardiovasculares e pulmonares (Martinelli, *et al.*, 2013). A exposição a partículas pode provocar irritações no nariz e pele, olhos secos, tosse, espirros, dificuldades respiratórias, dores de cabeça, doenças associadas ao sistema respiratório e cardíaco, sobretudo em crianças e idosos.

De modo a reduzir os sintomas associados à exposição de partículas, o ASHRAE Standard 62-1989 adotou o valor limite de PM_{10} , da U.S. Environmental Protection Agency, de $50 \mu\text{g m}^{-3}$ para médias anuais e de $150 \mu\text{g m}^{-3}$ para médias de 24 horas (APA, 2010).

Nos espaços interiores, as concentrações de partículas no ar aumentam durante o período de ocupação devido em grande parte à ressuspensão de partículas depositadas nas superfícies e a fontes de combustão internas como o fumo de tabaco, fogões, lareira, velas e incensos. Em caso de exposição a elevadas concentrações de partículas, recomenda-se que asmáticos e pessoas com problemas respiratórios devem evitar a realização de intensos esforços físicos (OFSP, 2008). O tabagismo tem uma forte influência na degradação do ar interior. Nos espaços

reservados a fumadores, em edifícios de serviços, as concentrações de partículas podem atingir valores de 30-100 $\mu\text{g m}^{-3}$, enquanto as concentrações médias de espaços de não fumadores rondam os 10 $\mu\text{g m}^{-3}$ (APA, 2010). O ar exterior, por infiltração também pode contribuir para o aumento do número de partículas, no interior dos edifícios. As principais fontes externas estão associadas ao tráfego rodoviário, à construção/demolição e a processos industriais e agrícolas.

O tamanho das partículas está relacionado com o processo de formação que lhe deu origem. As partículas grosseiras ($\text{PM}_{2,5-10}$) resultam principalmente de processos mecânicos associados à erosão de materiais e à ressuspensão de partículas naturais. As partículas finas ($\text{PM}_{2,5}$) resultam maioritariamente de processos de combustão com uma composição geralmente dominada por sulfatos, nitratos, carbono elementar e orgânico (Martinelli *et al.*, 2013). Algumas partículas podem ter origem secundária, resultando de processos de nucleação e condensação de gases e aumentar de tamanho por coagulação entre partículas. A Figura 1.4 representa a distribuição de partículas por tamanho associadas às principais fontes e processos que lhes dão origem.

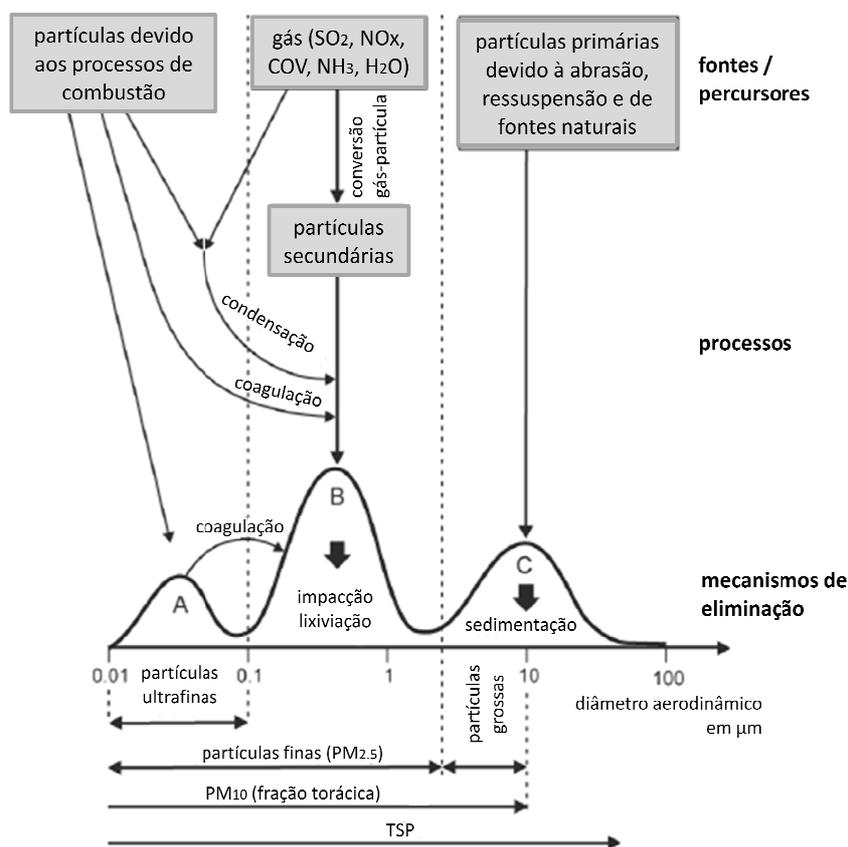


Figura 1.4- Representação esquemática simplificada da distribuição de tamanhos das partículas de um aerossol atmosférico (adaptado de CFHA, 2007)

Em ambientes interiores, os COVs reativos, na presença de outras espécies reativas como o ozono e radicais hidroxilos podem originar partículas orgânicas secundárias. Os terpenos, família de compostos de origem biogénica e com ampla aplicação em diversos produtos de

limpeza e cosmética são COVs altamente reativos com o ozono e os radicais hidroxilos, presentes no ar interior.

O conhecimento das fontes de partículas e das partículas geradas por processos químicos em ambiente interior ainda é limitado, no entanto existem evidências das partículas geradas nestes espaços serem mais bioreativas. A presença de endoxinas e de outros componentes pro-inflamatórios, nas partículas de ar interior, podem ser a justificação, bem como, a adsorção de compostos semi-voláteis pelas mesmas (EEA, 2013).

1.4 Enquadramento legal

O conhecimento atual e as evidências científicas sobre os efeitos na saúde associados à contaminação do ar interior justificaram a necessidade de se criar um quadro legislativo a nível nacional e internacional nestas matérias.

Em Portugal, no âmbito da QAI surgiram diplomas que traduzem a implementação de medidas práticas em defesa da saúde pública, no que concerne à qualidade do ar em espaços interiores. A necessidade de conciliar a eficiência energética com o conforto e promoção da saúde em espaços interiores conduziu ao desenvolvimento do Sistema Nacional de Certificação Energética e QAI nos edifícios, denominado por SCE e que se encontram regulamentados pelos decretos-lei DL n.º 78/2006, DL n.º 79/2006 e DL n.º 80/2006 de 4 de abril.

De seguida são apresentados os diplomas legais do SCE em vigor que transpõem parcialmente a Directiva n.º 2002/91/CE de Desempenho Energético dos Edifícios, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro.

- Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril - Aprova o SCE, define o âmbito de aplicação, as entidades gestoras do sistema e respetivas normas gerais;
- Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril – Aprova o novo Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE). Este diploma estabelece os requisitos para a QAI e de renovação e tratamento de ar. Aplica-se a edifícios de serviços e de habitação dotados de sistemas de climatização. Define requisitos que englobam a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização, a obrigatoriedade de auditorias e inspeções periódicas e a garantia da QAI;
- Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril – Aprova o novo Regulamento Nacional de Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Estabelece os requisitos de qualidade para novos edifícios de habitação e pequenos serviços sem sistemas de climatização, nomeadamente ao nível de isolamento de paredes e pavimentos, tipo de coberturas e superfícies vidradas, limitando perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos.

A Tabela 1.7 apresenta as concentrações máximas de referência (CMR) para os agentes químicos, biológicos e físicos do ar interior contemplados no Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril

Anexo VII – Concentrações Máximas de Referência de poluentes no interior dos edifícios existentes) e Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril (artigo 14º - Condições Interiores de Referência).

Tabela 1.7- Valores de referência portugueses dos parâmetros de QAI

Parâmetro	Decreto-lei nº 79/2006 de 4 de Abril
	Concentração Máxima de Referência (CMR) / Valores de referência
Partículas de Suspensas no Ar (PM ₁₀)	0,15 mg/m ³
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1800 mg/m ³
Monóxido de carbono (CO)	12,5 mg/m ³
Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVT)	0,6 mg/m ³
Formaldeído (HCOH)	0,1 mg/m ³
Ozono (O ₃)	0,2 mg/m ³
Radão ¹	400 Bq/m ³
Microrganismos – Bactérias	500 UFC/m ³
Microrganismos – Fungos	
Legionella	100 UFC/L
Velocidade do Ar (V _{ar})	≤ 0,2 m/s
Caudais mínimos de ar novo	35 m ³ /(h.ocupante) Tipo de Atividade: ginásio
Decreto-lei nº 80/2006 de 4 de Abril	
Humidade Relativa do Ar (HR)	50%
Temperatura do Ar (ta)	20°C – Verão 25°C – Inverno

¹ Avaliação recomendada apenas em edifícios em zonas graníticas, nomeadamente, nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco

Em Espanha, as exigências em termos de qualidade do ar interior são definidas pelo Real Decreto 238/2013, de 5 de abril que veio modificar determinados artigos e instruções técnicas do Regulamento de instruções térmicas dos edifícios (RITE), aprovado pelo Real Decreto 1027/2007, 20 de Julho, na sequência da necessidade de transpor a Diretiva da 2010/31/EU. Varias notas técnicas de prevenção, relacionadas com a QAI, foram desenvolvidas, destacando a NTP 234 sobre qualidade do ar em ambientes fechados e a NTP 607, sobre guias da qualidade do ar interior para contaminantes químicos, que recorre a valores da EPA e da OMS para certos contaminantes químicos frequentemente presentes no ar interior. Estas guias não são de cumprimento obrigatório, sendo consideradas como recomendações com o intuito de garantir a ausência de efeitos indesejáveis e prejudiciais na saúde, na maioria dos indivíduos. O Real Decreto 1073/2002, de 18 de Outubro sobre a avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente define limites para o dióxido de enxofre, dióxido de azoto, óxidos de azoto, partículas, chumbo, benzeno e monóxido de carbono. De seguida é apresentada a Tabela 1.8 compilando vários valores limite de referência, para parâmetros de qualidade do ar, da legislação espanhola.

Tabela 1.8- Valores de referência espanhóis de parâmetros de qualidade do ar.

Parâmetro	Valores limite	Normativas de referência
Partículas de Suspensas no Ar (PM ₁₀)	50 µg/m ³	R. D. 1073/2002
Dióxido de Azoto (NO ₂)	200 µg/m ³	R. D. 1073/2002
Monóxido de carbono (CO)	10 mg/m ³	R. D. 1073/2002
Dióxido de Carbono (CO ₂)	800 ppm	R.D. 1027/2007
Caudais mínimos de ar novo	Tipo de espaço: ginásio	R.D. 1027/2007
	0,55 dm ³ /(s m ²)	
Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVT)	200 µg/m ³	UNE 171330-2: 2009
Formaldeído (HCOH)	0,12 mg/m ³	UNE 171330-2: 2009
Radão	200 Bq/m ³	UNE 171330-2: 2009
Ozono (O ₃)	120 µg/m ³	R.D. 1796/2003
Humidade Relativa do Ar (HR)	30-70%	R.D. 1826/2009
Temperatura do Ar	≤ 21°C	R.D. 1826/2009

(Adaptado de Comunidad de Madrid, 2010)

1.5 A problemática da QAI em edifícios desportivos

Do interesse sobre o tema da QAI tem resultado vários estudos de caracterização de espaços interiores desde escolas, habitações a locais de trabalho. No entanto, pouco se conhece sobre a QAI em instalações desportivas. Estes espaços são frequentados por estudantes no âmbito escolar, por professores ou monitores, no desempenho da sua atividade profissional, por atletas durante o seu treino e por cidadãos, desde crianças a idosos, na prática desportiva, como atividade de lazer e em benefício da saúde e do bem-estar. A permanência, nestes edifícios, pode variar de algumas horas, esporadicamente a várias horas semanais, ou diariamente no caso dos atletas e professores.

As instalações têm características muito distintas em função das modalidades e práticas desportivas realizadas, desde salas de ginástica, de tamanho reduzido, a instalações amplas de grandes dimensões características dos pavilhões gimnodesportivos, bem como piscinas e pistas de gelo com características muito específicas.

De seguida serão apresentados vários estudos em instalações de grandes dimensões com características de gimnodesportivo. Os estudos realizados neste tipo de edifícios focam quatro problemáticas: contaminação biológica, emissão e ressuspensão de partículas, emissões de materiais de revestimento e infiltração de ar exterior de fraca qualidade.

Com o intuito de estudar a contaminação biológica foram avaliados 11 ginásios, na Vila de Pavie, em Itália, tendo sido determinados a flora fúngica total, a flora microbiológica total assim

como a identificação das espécies de fungos presentes (Dacarro *et al.*, 2003). O estudo teve a duração de cerca de um ano (Dezembro a Outubro). Em cada ginásio foram efetuadas medições no período de aquecimento das instalações, de Dezembro a Março e uma segunda medição no período de Abril a Outubro. Os dados revelaram contaminações no interior sistematicamente superiores, contudo em níveis relativamente baixos. Os níveis mais elevados de fungos foram identificados, na segunda campanha de amostragem, com o sistema de aquecimento central desativado. As instalações novas com sistemas de ventilação eficazes apresentaram os níveis de contaminação mais baixos. Os valores mais elevados também surgiram num ginásio, com entrada de ar forçada. Os autores apontam como possível causa más condições de manutenção do sistema de ventilação.

Nos edifícios desportivos, o estudo das partículas tem especial interesse, porque a sua concentração está ligada à ressuspensão das poeiras depositadas no piso e desgaste dos materiais fortemente associados à intensidade de movimentos e deslocações próprias nestes espaços.

Braniš *et al.* (2011a,b) demonstraram uma estreita relação entre o número de desportistas e as concentrações interiores da fração grosseira de partículas (PM_{2.5-10}). A análise química das partículas revelou uma predominância de matéria mineral, característica das partículas de solo. Em estudos realizados noutros ginásios foi identificado outro fator que contribui para o aumento da concentração de partículas, o uso de magnésia. Weinbruch *et al.* (2008) mediram pontualmente concentrações de PM₁₀ superiores a um mg m⁻³ e de PM_{2.5} atingindo os 500 µg m⁻³, nos corredores de paredes de escalada. Contudo a utilização de magnésia aparentemente não contribui para o aumento de partículas ultrafinas.

Alguns estudos pretenderam esclarecer a influência dos métodos de limpeza na concentração de partículas e alergénicos, considerando nomeadamente a frequência de limpeza, o equipamento de suporte do produto de limpeza e o agente de limpeza. Em escolas Suecas foram testados três métodos de limpeza, concluindo que a frequência de limpeza foi o fator que mais contribuiu para a redução de partículas (Smedge, 2002). Num estudo realizado em salas de um ginásio Americano, o tipo de aparelhos utilizados nas atividades de limpeza teve maior influência na concentração de partículas que o tipo de piso (Turner *et al.*, 2002).

O impacto dos revestimentos também foi alvo de alguns estudos. Nos Estados Unidos foram instalados um número elevado de pisos sintéticos em poliuretano, entre os anos 60 a 80. O mercúrio utilizado como catalisador do processo de fabrico destes pisos pode estar presente em concentrações de 0,1-0,2 % em massa e contaminar o ar do edifício (Beaulieu *et al.*, 2008). Jones *et al.* (2011) realizaram testes confirmando as emissões de mercúrio na ordem dos 3 µgm⁻² s⁻¹.

Uma outra problemática surge nos revestimentos sintéticos fabricados a partir de granulados de elastómeros virgens ou resultantes de pneus usados. Estes pisos podem emitir COVs e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HAP) por evaporação ou por desgaste exercido pelo calçado dos desportistas. Medições efetuadas em três ginásios Noruegueses confirmam o contributo destes pisos para a poluição do ar interior (NILU, 2006a). Os HAP, ftalatos, benzotiazóis

e aminas aromáticas foram medidos em partículas em suspensão, concluindo que a exposição destas substâncias em ginásios não representam risco para a saúde (NILU, 2006 b). Contudo o risco de alergias ao latex por contacto cutâneo não pode ser excluído, merecendo mais investigação neste área.

No Canadá foram identificadas fibras de amianto nas escolas. Das análises realizadas em vários locais, foi nos ginásios onde se realizavam atividades com lançamento de bola que a concentração de fibras de amianto foi mais elevada, atingindo até oito vezes o valor definido pelo ministério da saúde. A colisão das bolas com os materiais favorecem a emissão de fibras para o ar (IRSST, 2000).

Outros estudos procuraram avaliar o contributo da contaminação do ar exterior na QAI em ginásios.

1.6 Objetivos de estudo

A qualidade do ar interior tem vindo a suscitar maior interesse a nível internacional pelo facto das sociedades modernas passarem a grande maioria do seu dia em ambientes interiores, sendo o ar que respiramos, um fator determinante na saúde e bem-estar do ser humano. Vários estudos realizados em ambientes interiores verificaram frequentemente níveis de qualidade do ar inferiores nestes ambientes. Uma vez que a monitorização da qualidade do ar em todos os espaços interiores seria economicamente inviável é de extremo interesse caracterizar a qualidade do ar, de vários tipos espaços, com o objetivo de identificar fontes de emissão e serem tomadas medidas preventivas. Os indivíduos que praticam desporto estão em particular risco devido à maior taxa de ventilação em esforço ao qual se adiciona a inalação pela boca o que acarreta uma maior dose absorvida pelo organismo.

Por outro lado, o facto das instalações desportivas serem muitas vezes frequentadas por crianças e por atletas que passam muito tempo nestes espaços, aumenta o interesse da sua caracterização.

Neste contexto, o estudo realizado tem por objetivo contribuir para a caracterização da qualidade do ar interior, em instalações desportivas e determinar fontes características destes espaços, ainda pouco estudados até ao momento. Este estudo de qualidade do ar tem por base medições efetuadas num *fronton* e num ginásio, em Julho de 2012, situados em Léon, Espanha, tendo como principais objetivos: i) a avaliação dos parâmetros de conforto; ii) a determinação das taxas de ventilação (CO₂); iii) avaliar o contributo de fontes internas vs fontes externas para a QAI; e iv) a caracterização física e química da matéria particulada incluindo a determinação da massa e composição química de PM₁₀, e a distribuição por tamanho.

Este estudo pretende avaliar a qualidade do ar interior, identificando parâmetros que possam prejudicar a saúde dos seus ocupantes e possíveis fontes de emissão das duas instalações, contribuindo para a caracterização de espaços dedicados à prática desportiva.

2. Trabalho experimental

De modo a obter informações sobre a qualidade do ar interior em edifícios desportivos, em Julho de 2012 foi realizada uma campanha de amostragem com duração semanal em duas instalações desportivas de características distintas, um ginásio e um *fronton*. As duas instalações situam-se num ambiente suburbano, na universidade de Léon, em Espanha. Neste capítulo serão descritos os espaços e atividades, e os equipamentos de amostragem e análises utilizados na quantificação dos poluentes em estudo assim como as metodologias de cálculo aplicadas.

2.1 Caracterização dos locais de estudo

A cidade de Léon pertence à província de Castela e Léon ficando localizada no norte oeste de Espanha, no Planalto Norte e na bacia do rio Douro, a cerca de 840 metros de altitude. O seu clima mediterrânico com características continentais traduz-se em invernos frios e verões quentes com curtos períodos de primavera e outono. As temperaturas máximas podem atingir os 39 °C nos meses mais quentes e os -12 °C nos meses de inverno, tendo uma temperatura média de cerca de 12 °C. Léon é uma cidade de tamanho médio proporcionando uma boa qualidade de vida urbana aos seus cerca de 133 000 habitantes (INE, 2012). Em termos de atividades económicas predomina o sector terciário, destacando-se a área comercial e administrativa. (Unileon,2013)

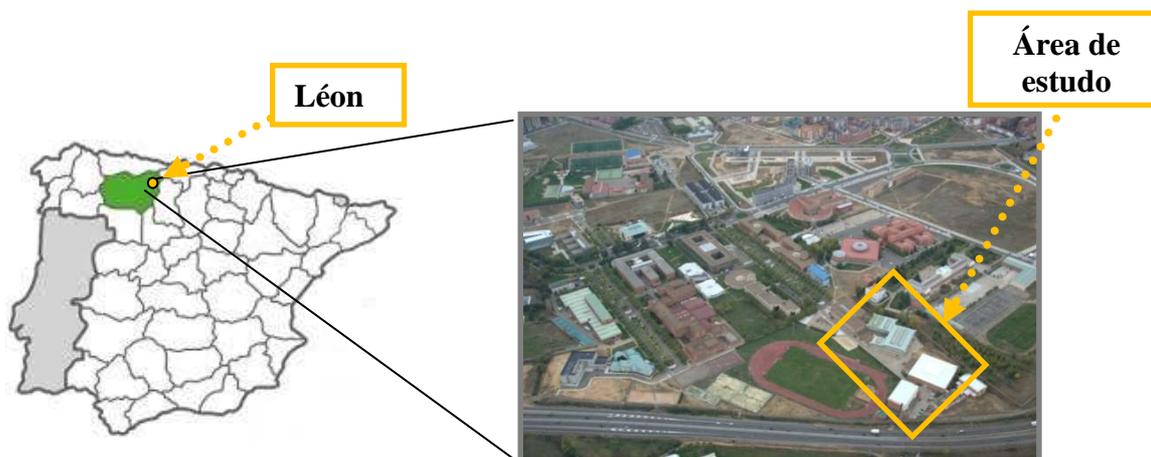


Figura 2.1- Localização da área de estudo

A área onde se realizou o estudo apresentada na Figura 2.1 insere-se numa zona com características suburbanas, localizada no campus Vegazana da universidade de Léon, na periferia da cidade de Léon. A localização do ginásio e do *fronton* em estudo pode ser observada na Figura 2.2, bem como o local de amostragem no exterior. Dada a proximidade dos edifícios em estudo e homogeneidade do espaço foi escolhido um único local de amostragem no exterior.

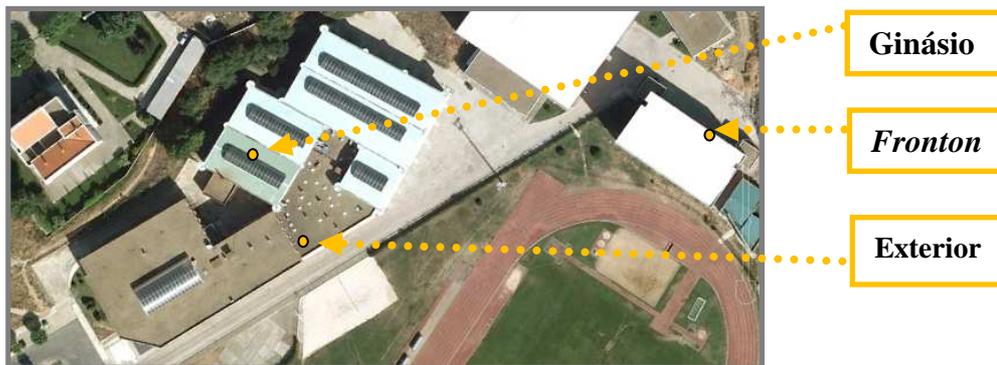


Figura 2.2- Locais de amostragem

O ginásio e o *fronton* são dois edifícios com características distintas associadas às diferentes modalidades desportivas praticadas em cada um. Estes espaços também apresentam diferenças em termos dimensionais e ocupacionais. De seguida serão caracterizados individualmente os dois edifícios e o local de amostragem no exterior. As plantas do *fronton* e do ginásio podem ser consultadas no Anexo I.

Fronton

O *Fronton* é um edifício desportivo dedicado à prática de *fronton*, uma modalidade semelhante ao *squash*. Este edifício é amplo, tem um formato retangular, apresenta uma pista constituída por três paredes e uma zona envidraçada (entrada de luz) com bancadas de madeira na quarta fachada. O edifício tem 36 m de comprimento, 20 de largura e 27 de altura. A ventilação natural é promovida por 16 orifícios localizados no topo das paredes de 36 metros e pelas duas portas de acesso ao edifício, não apresentando ventilação artificial. Na Figura 2.3 podem observar-se algumas imagens do interior do *fronton*.



Figura 2.3- Interior do fronton

O período de amostragem no interior do *fronton* decorreu de 10 a 15 de Julho de 2012, sendo os equipamentos de amostragem de partículas instalados na zona das bancadas, os amostradores passivos, para amostragem de carbonilos, COVs e NO₂, suspensos numa zona lateral, próximos do equipamento de amostragem de parâmetros de conforto e gases como pode ser observado na Figura 2.4. Durante a campanha de amostragem decorreram jogos com a duração de 2 horas, entre as 10:00 e as 14:00 e das 16:00 às 20:00, envolvendo 4 jogadores. Os jogos realizados decorreram na ausência de público ou com um número reduzido de espectadores (<6p) como é característico neste espaço.

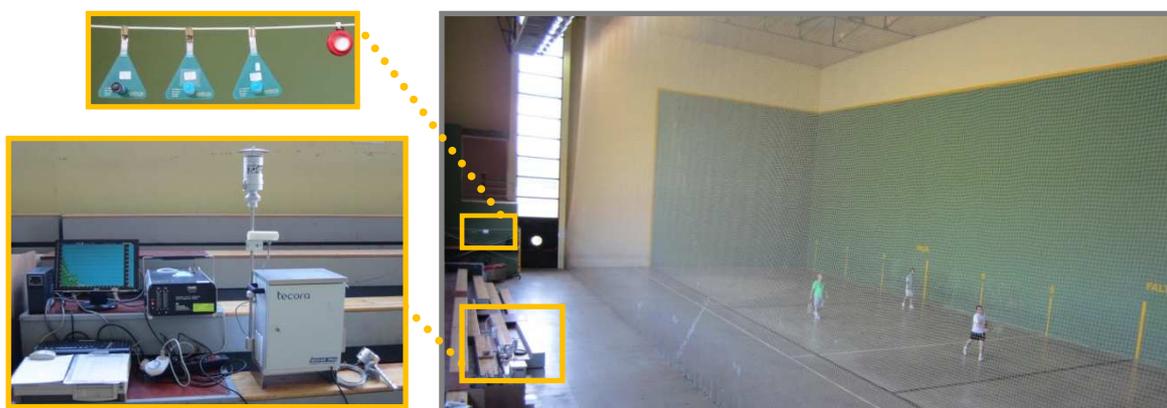


Figura 2.4-Locais de amostragem dentro do fronton

Ginásio

O ginásio é um edifício em forma de prisma retangular com dimensões de 27 m de comprimento por 15 m de largura e 10,6 m de altura. No topo do edifício existe um semicilindro envidraçado (5 m de diâmetro por 20,3 m de comprimento) que permite a entrada de luz natural. Este espaço é destinado à prática de ginástica estando equipado com barras paralelas, assimétricas, barra fixa, trave, cavalo, plinto, trampolins, bolas, cubos, anéis, fitas acrobáticas, fosso com cubos de esponja, vários colchões e tapetes de proteção, de diferentes tamanhos e alcatifas que cobrem o piso de vinil. O ginásio possui dois portões, um de acesso interno e um para o exterior. Durante a campanha estes portões encontravam-se frequentemente abertos a partir do final da manhã devido às elevadas temperaturas sentidas no interior do edifício, espaço sem janelas, nem sistema de ventilação artificial (Figura 2.5).



Figura 2.5- Interior ginásio

O período de amostragem no interior do ginásio decorreu de 15 a 22 de Julho de 2012, estando os equipamentos instalados junto ao fosso de cubos e os amostradores passivos suspensos numa das paredes laterais, como pode ser observado na Figura 2.6



Figura 2.6- Locais de amostragem no interior do ginásio

Durante a campanha de amostragem, o pico de ocupação ocorria no período da manhã, uma vez que o ginásio era ocupado por atletas das 9h00 às 14h00 e das 17h00 às 19h00 e por um grupo de crianças de uma academia de verão patrocinado pela universidade, durante a manhã.



Figura 2.7- Atividades no ginásio

Exterior

A amostragem no exterior foi realizada num terraço em altura, junto ao ginásio e distante do *fronton* cerca de 120 m. Os equipamentos e os amostradores passivos foram colocados próximo de uma das paredes do edifício com acesso ao interior para fornecimento de energia, rodeados de uma vasta área livre de obstáculos e de fontes de emissão pontuais, que podem ser observados a Figura 2.8. O período de amostragem no exterior decorreu de 10 a 22 de Julho de 2012.



Figura 2.8- Local de amostragem no exterior

2.2 Amostragem

A campanha de amostragem decorreu de 10 a 22 de Julho de 2012, sendo a primeira semana dedicada a medições no *fronton* e a segunda no ginásio. A amostragem no exterior foi realizada em paralelo durante todo o período da campanha experimental.

Neste estudo foram obtidos dados de parâmetros de conforto (T e HR), CO₂, CO e COVs recorrendo a medidores automáticos, dados de COVs, carbonilos e NO₂ com amostradores passivos, dados de PM₁₀ através de amostradores de baixo caudal e dados de distribuição de partículas por tamanho com um contador ótico. De seguida é apresentada uma descrição mais detalhada dos equipamentos utilizados na medição dos parâmetros em estudo.

Parâmetros de conforto e gases em contínuo

No interior das duas instalações desportivas foram medidos em contínuo a temperatura (T), a humidade relativa (HR), o dióxido de carbono (CO₂), o monóxido de carbono (CO) e COVs com um Indoor Air IQ-610 Quality Probe (Gray Wolf® monitor). No exterior foram efetuadas as mesmas medições, em contínuo, utilizando IAQ-CALC monitor (model 7545) da TSI, excluindo o parâmetro COVs que só foi medido no interior.

COVs, Carbonilos e NO₂

A amostragem de COVs, Carbonilos e NO₂ foi efetuada nos períodos de segunda a sexta-feira. Os COVs e carbonilos foram recolhidos em tubos de difusão Radiello® (código dos cartuchos 130 e 165, respetivamente). Para o NO₂ foram utilizados tubos de difusão da Gradko. No exterior, os amostradores passivos foram colocados num abrigo para ficarem protegidos contra intempéries, como a precipitação, mas garantindo uma ventilação adequada.

Os tubos de difusão são um método de amostragem passivo que consistem numa deslocação livre das moléculas gasosas para o interior do tubo, a uma taxa controlada por difusão molecular. O poluente fica retido por um material adsorvente específico, no interior do cilindro, sendo posteriormente extraído através de um solvente (CS₂, CH₃CN, etc.) ou por via térmica, permitindo a obtenção de um valor médio de concentração do poluente, para o período de exposição (Figura 2.9).

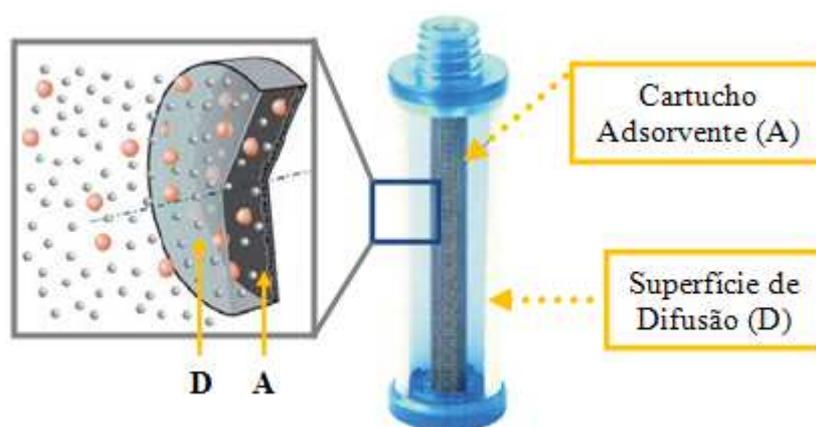


Figura 2.9- Captação de gases pelos tubos de difusão

(Adaptação site <http://www.radiello.it/>)

Partículas PM₁₀

As partículas com diâmetro aerodinâmico menor que 10 µm foram recolhidas diariamente apenas durante os períodos de ocupação dos edifícios e simultaneamente no exterior. Durante o fim-de-semana adotou-se um programa de amostragem de 24h. Os amostradores de baixo caudal utilizados foram Echo TCR Tecora com filtros de quartzo, de 47 mm de diâmetro, previamente sujeitos à temperatura de 500°C, durante 6h.

Estes equipamentos dispõem de uma cabeça de pré-separação que funciona por impacto inercial, um suporte para um filtro, uma bomba rotativa, um processador eletrónico para o controlo das condições de amostragem e medição do caudal. As amostragens foram realizadas com recurso a cabeças PM₁₀ e a um caudal médio de 2,3 m³ h⁻¹, de acordo com a norma EN 12341.

A Figura 2.10 esquematiza a deslocação das partículas e a sua divisão por impacto inercial, numa cabeça de amostragem PM_{10} .

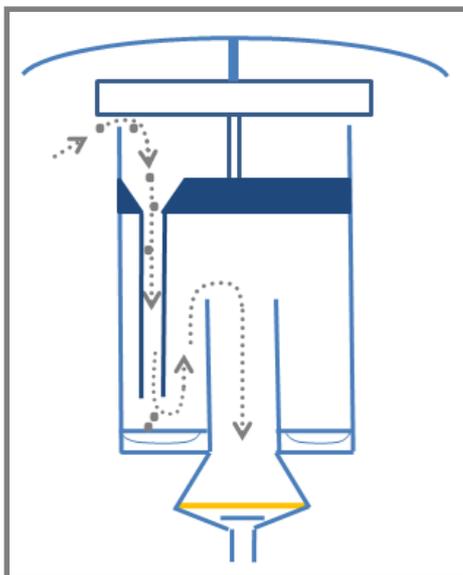


Figura 2.10- Separação das partículas na cabeça de amostragem

Distribuição do tamanho das partículas

Na amostragem de partículas por tamanho foi utilizado um espectrómetro laser *Passive Cavity Aerosol Spectrometer Probe*, PMS, Modelo PCASP-X (Figura 2.11). O equipamento funcionou em contínuo registando o número de partículas agrupadas em 31 classes de tamanho.



Figura 2.11- Espectrómetro laser PCASP-X (Passive Cavity Aerosol Spectrometer Probe), PMS Model

O PCASP é um contador ótico de partículas (OPC) que permite medir a distribuição das partículas de diâmetros óticos nominais compreendidos entre 0,1 e 10 μm . A classificação das partículas por classe de tamanho é função da dispersão da luz associada a cada partícula, para um comprimento de onda de 632,8 nm entre ângulos de dispersão de 45° e 135°, utilizando um laser He-Ne. O equipamento foi calibrado com esferas de látex de diâmetro conhecido, com um índice de refração de 1,58-0i (para um comprimento de onda de 632,8 nm). A Tabela 2.1 apresenta os intervalos de tamanho para cada um dos canais.

Tabela 2.1- Intervalos de tamanho de partículas medidos pela PCASP-X, 0,10-10 μm (para um índice de refração de 1,58-0i)

Canal	Tamanho (μm)	Intervalos (μm)
1	0,10-0,12	0,02
2	0,12-0,14	0,02
3	0,14-0,16	0,02
4	0,16-0,18	0,02
5	0,18-0,20	0,02
6	0,20-0,23	0,03
7	0,23-0,26	0,03
8	0,26-0,30	0,04
9	0,30-0,35	0,05
10	0,35-0,40	0,05
11	0,40-0,45	0,05
12	0,45-0,50	0,05
13	0,50-0,60	0,10
14	0,60-0,70	0,10
15	0,70-0,80	0,10
16	0,80-0,90	0,10
17	0,90-1,00	0,10
18	1,00-1,20	0,20
19	1,20-1,40	0,20
20	1,40-1,60	0,20
21	1,60-1,80	0,20
22	1,80-2,00	0,20
23	2,00-2,30	0,30
24	2,30-2,60	0,30
25	2,60-3,00	0,40
26	3,00-3,50	0,50
27	3,50-4,00	0,50
28	4,00-5,00	1,00
29	5,00-6,50	1,50
30	6,50-8,00	1,50
31	8,00-10,00	2,00
32	>10,00	

Uma vez que a dispersão da luz por parte das partículas depende da sua composição, partículas com o mesmo grau de dispersão podem ter tamanhos diferentes. O contador ótico tende a subestimar o verdadeiro tamanho dos aerossóis atmosféricos que pelo facto de apresentarem algumas propriedades absorventes dispersam geralmente menos radiação que as partículas de látex. As distribuições por tamanho devem então ser corrigidas de acordo com o índice de refração das partículas amostradas. Contudo, a complexidade da composição química das partículas e a lacuna existente na caracterização dos índices de refração dos aerossóis dificultam a obtenção de um índice preciso. Neste estudo foram determinados índices de refração complexos a partir dos dados de composição química das partículas obtidos. Estes índices foram utilizados para a correção dos diâmetros dos diferentes canais obtendo o número de partículas correspondente a cada intervalo de tamanho, recorrendo a um programa baseado na Teoria de Mie (Bohren e Huffman, 1983).

Para além do índice de refração, o valor do volume amostrado deve ser corrigido em função da altitude do ponto de amostragem, de acordo com as indicações do fabricante.

O contador ótico possui um sistema de recirculação de ar interno, que passa por vários filtros, sendo utilizado como ar de diluição da amostra, aumentando o espaçamento entre as partículas para a sua posterior leitura, como pode ser observado na Figura 2.12.

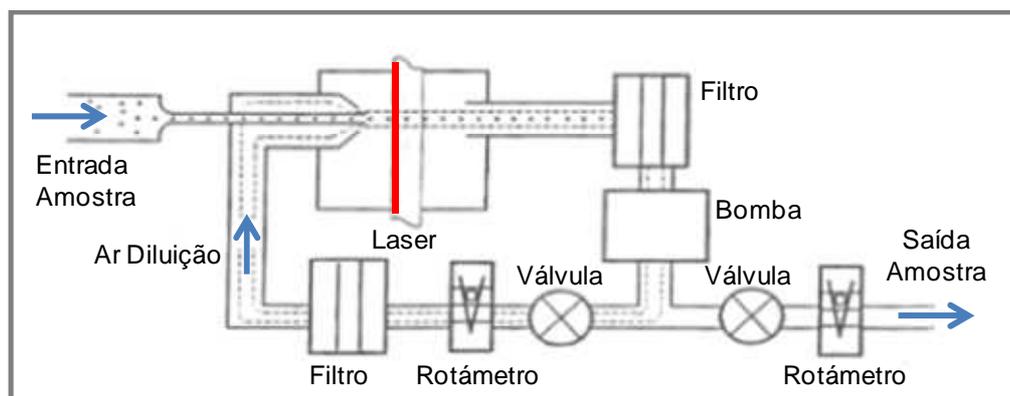


Figura 2.12- Diagrama do fluxo do espectrômetro PCASP-X

Quando uma partícula passa através do laser, a informação sobre o seu tamanho é enviada para o sistema de aquisição de dados, que necessita de um período de tempo fixo (tempo de retorno) para iniciar a leitura de uma nova partícula. A percentagem de tempo durante o qual a sonda está a contabilizar partículas ativamente corresponde ao parâmetro atividade, apresentando valores de 0 a 100 por cento. Uma atividade de 100% corresponde à capacidade de leitura máxima do equipamento, teoricamente de 10 000 partículas por segundo. Mediante a atividade registada, durante a aquisição de dados e com recurso a um algoritmo os valores medidos pelo equipamento são corrigidos. Uma descrição mais detalhada da PCASP-X, seus erros de medição e correções pode ser encontrada em Calvo, 2009.

Para o presente estudo, durante os períodos de atividade as medições foram efetuadas em contínuo, registrando um valor a cada minuto. Durante a noite, o registo, também a cada

minuto, foi intercalado com períodos de vazio de 15 minutos. As medições foram realizadas maioritariamente no interior dos edifícios, sendo, contudo registados esporadicamente séries de dados, de cerca de 30 minutos, no exterior. O número limitado de medições no exterior esteve associado ao facto de existir apenas um único equipamento que devido à sua elevada sensibilidade levou à redução do número de deslocações até ao exterior.

2.3 Métodos analíticos

2.3.1 Análise gravimétrica

A massa de PM₁₀ depositada nos filtros de quartzo, durante o período de amostragem foi determinada por análise gravimétrica, com recurso a uma balança analítica Mettler Toledo AG245, com sensibilidade 0,01 mg e repetibilidade de 0,01 mg. Para tal, foi quantificada a massa dos filtros antes e depois da amostragem, numa sala com temperatura e humidade controladas, após uma permanência mínima de 24h num excicador para reduzir a interferência da humidade. A quantidade de partículas resulta da subtração da massa final pela inicial dos filtros; a concentração de partículas no ar resulta da posterior divisão da massa colhida pelo volume de ar amostrado. O aparelho de amostragem permite a quantificação do volume de ar às condições de amostragem e em condições PTN (1 atm e 0 °C).

2.3.2 Método termo-ótico

O aerossol carbonoso é constituído por carbono orgânico (OC), carbono elementar (EC) e carbonatos (CC), sendo o somatório destas três frações designado de carbono total (CT). A determinação do OC e EC, nos filtros de quartzo amostrados foi levada a cabo por um sistema termo-ótico de transmitância desenvolvido no Departamento de Ambiente e Ordenamento (DAO) da Universidade de Aveiro por Pio *et al.* (1994), com base no modelo proposto por Huntzicker *et al.* (1982). Por sua vez, os carbonatos foram quantificados com recurso a um borbulhador adaptado, acoplado ao analisador de CO₂ do sistema termo-ótico.

2.3.2.1 Análise de OC e EC

O método termo-ótico consiste num aquecimento controlado das partículas, a temperaturas que permitam a volatilização do carbono, primeiro em atmosfera anóxica (OC) e depois em atmosfera oxidante (EC). Na presença de oxigénio, o carbono é oxidado a CO₂ sendo detetado por um analisador de infra vermelho não dispersivo (NDIR). Por sua vez, um laser permite a monitorização do enegrecimento do filtro por transmitância devido a processos de

carbonização que podem ocorrer, em maior ou menor extensão, numa primeira fase de aquecimento dedicada à volatilização do carbono orgânico e que interfere na quantificação do OC e EC presente na amostra. Deste modo é possível a quantificação do OC e EC mais precisa do que o que seria obtido por mera quantificação baseada no simples método ótico (Castro, 1997).

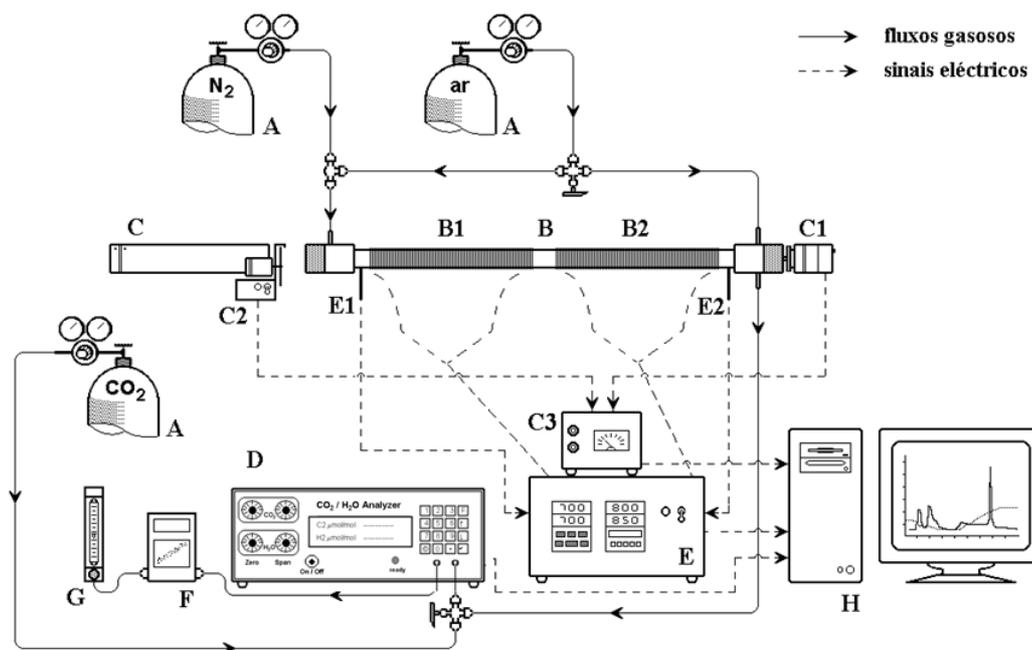
A utilização deste método exige que as partículas sejam recolhidas em filtros de fibras de quartzo, resistentes às elevadas temperaturas características deste processo de análise (Almeida, 2009).

Os filtros de quartzo, de 47mm de diâmetro foram cuidadosamente dobrados em dois, sobrepondo os lados com partículas. Com o auxílio de um vazador foram recortados um par de círculos com diâmetros de 9 mm. Este procedimento minimiza as perdas de material e permite a obtenção de frações de filtro mais representativas das amostras (Martins, 2012).

Antes de iniciar a análise, todos os círculos foram submetidos a uma atmosfera ácida durante 4 horas, produzida por vapores de ácido clorídrico (HCl), para a remoção de carbonatos que interferem na quantificação de OC e EC. Posteriormente os círculos foram neutralizados num exsicador com hidróxido de sódio (NaOH), removendo o excesso de ácido prejudicial aos equipamentos (Almeida, 2009).

O analisador termo-ótico utilizado é constituído por um tubo de quartzo com duas secções de aquecimento, uma fonte e um detetor de laser, um medidor de caudal, um controlador de temperatura e um analisador de CO₂ (espectrofotómetro de infravermelho não dispersivo).

Figura 2.13-Esquema representativo do sistema de análise termo-ótico (fonte: Cerqueira, *et al*, 2004)



Legenda da Figura:

A – Garrafa de gás;	C3 – Transdutor;
B – Forno de quartzo;	D – Analisador de CO ₂ ;
B1 – Zona 1 de aquecimento;	E – Controlador de temperatura;
B2 – Zona 2 de aquecimento;	E1 e E2 – Termopares;
C – Laser;	F – Medidor de caudal mássico;
C1 – Detetor;	G – Rotâmetro;
C2 – Pulsador (<i>Chopper</i>);	H – Computador;

Para iniciar a análise, um par de círculos é colocado num tubo de quartzo, um na horizontal e o outro na vertical. O porta-amostras é introduzido na primeira zona de aquecimento do forno (B1) sendo deslocado até ao centro da zona de aquecimento, junto ao início da vareta de quartzo que atravessa o segundo forno (zona de aquecimento, B2) para condução do feixe de luz transmitida pelo filtro até ao detetor (C, Figura 2.13), como pode ser observado na Figura 2.14.

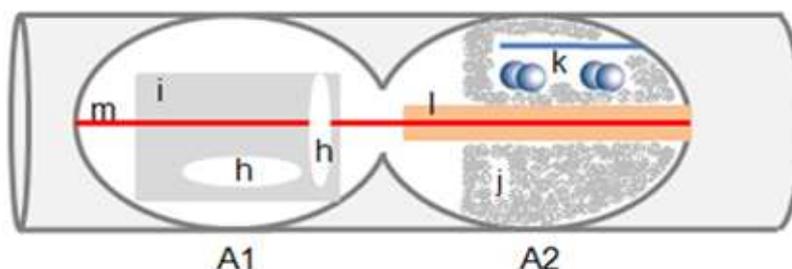


Figura 2.14-Representação do interior do forno de quartzo utilizado no sistema termo-ótico adaptado de (Afonso et al.,2004)

Legenda da figura:

A1 - Primeira zona de aquecimento	j - Enchimento de óxido cúprico
A2 - Segunda zona de aquecimento	k - Tubo perfurado para entrada de O ₂
h - Filtros de quartzo com partículas	l - Vareta de quartzo
i - Porta filtros (tubo de quartzo)	m - Feixe de laser

O forno é fechado e o CO₂ residual no interior é removido com azoto (N₂), iniciando-se posteriormente a análise que decorre em duas fases.

Na primeira fase, a amostra é sujeita a um aquecimento controlado na ausência de oxigénio, com um gás de arraste constituído unicamente por azoto. Os compostos orgânicos (OC) são volatilizados e ocorre também a formação de algum carbono pirolítico (POC), com propriedades absorventes que provoca um enegrecimento no filtro.

Na segunda fase, o carbono elementar (EC) e o carbono pirolítico (POC) são volatilizados e oxidados com o aumento da temperatura e na presença de uma atmosfera constituída por ar e azoto (mistura com cerca de 4% de O₂).

Durante todo o período de análise, a segunda zona de aquecimento do forno (A2 na Figura 2.14) é mantida à temperatura de 650°C. Esta zona tem o seu interior preenchido com óxido cúprico (CuO) que atua como catalisador do processo de oxidação, que associado à introdução contínua de O₂ garante uma conversão completa de todos os compostos carbonosos a CO₂, para a sua posterior deteção (Martins, 2012).

Um feixe de laser atravessa longitudinalmente todo o forno, desde a extremidade de vidro da primeira zona de aquecimento, passando pela fração de filtro que contém a amostra até atingir a vareta de quartzo, que conduz o sinal até ao detetor ótico. Este sistema permite a monitorização do enegrecimento do filtro associada à formação do POC que apesar de ser uma fração do OC, devido à alteração das suas propriedades durante o processo de aquecimento, só é volatilizado na segunda fase de aquecimento, juntamente com o EC inicial na amostra. Como é possível observar na Figura 2.15, na primeira fase da análise, o sinal de laser registado a determinado momento decresce devido à formação do POC, mantendo-se sensivelmente constante até o início da segunda fase, a partir da qual, sofre um aumento associado à volatilização do POC e do EC, até atingir valores característicos de um filtro limpo.

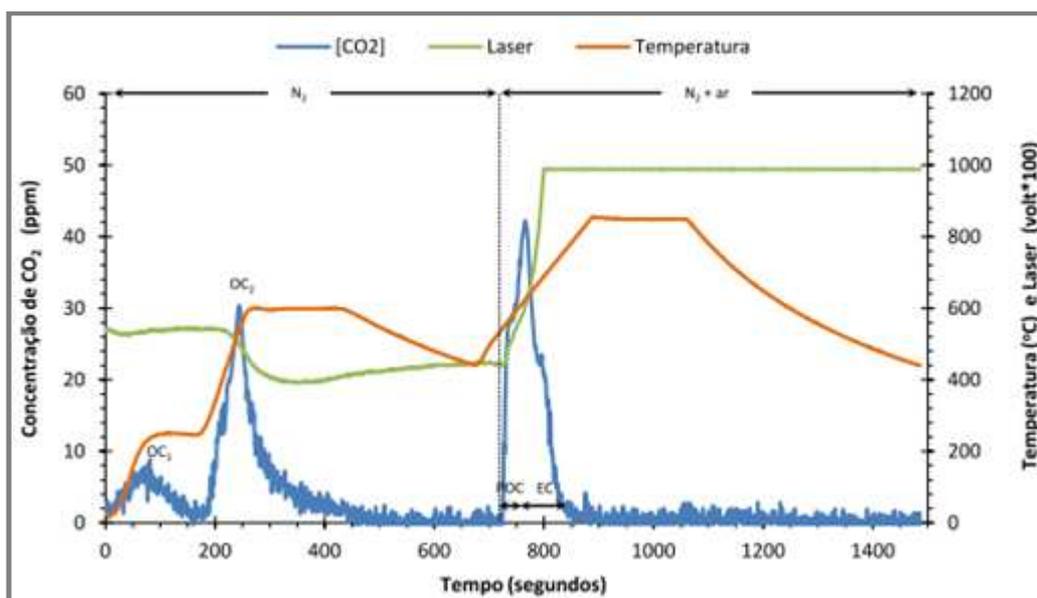


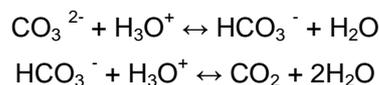
Figura 2.15-Representação da evolução do CO₂, da temperatura e do sinal do laser ao longo de uma análise.

O POC corresponde à quantidade de CO₂ libertada desde o início da segunda fase de aquecimento até ao momento em que o valor do laser iguala o sinal inicial. O chopper e o transdutor (C2 e C3) associados ao laser têm a função de eliminar as interferências causadas por outras fontes luminosas, principalmente o rubor resultante do aquecimento das resistências elétricas localizadas em redor do forno. Por sua vez, o controlador de temperatura (E na) regula o aquecimento previamente programado de acordo com os patamares de temperatura pretendidos para cada forno.

O analisador de CO₂ foi calibrado com quatro padrões de CO₂, garrafas de calibração, dotadas de certificado, com as concentrações de 45, 81, 349,5 e 809 ppm em azoto e uma incerteza de ±5% da concentração nominal e com a corrente de N₂ para a concentração de 0 ppm.

2.3.2.2 Análise de carbonatos

O método de quantificação de carbonatos tem por base uma reação com meio ácido no intuito de deslocar o equilíbrio gás/líquido (CO₂/H₂O) no sentido da libertação de CO₂, de acordo com as seguintes reações:



O sistema utilizado para a análise é essencialmente constituído pelo analisador de CO₂, o medidor de caudal e o sistema de aquisição de dados, do sistema termo-óptico acoplados a um borbulhador de vidro, ligado a dois tubos que permitem a entrada e saída de gases (Figura 2.16).

Antes de iniciar a análise de carbonatos foi recortado um par de discos de 7mm de diâmetro de cada filtro amostrado. O par de discos foi preso com uma pequena mola, na zona superior de um borbulhador, sem contactar com a solução de ácido fosfórico (20% H₃PO₄), previamente introduzida. A escolha do ácido fosfórico está associada ao fato deste ser pouco volátil reduzindo o risco de deterioração do sistema de análise. O borbulhador foi vedado e introduzido azoto (gás de arraste) para eliminar os vestígios de CO₂ presentes no interior. Após verificação de corrente de gás sem CO₂, fecha-se o azoto e soltam-se os discos contendo as partículas que mergulham na solução e começam a reagir com o ácido. Após uns 2 minutos, abre-se a corrente de N₂, de cerca de 250 mL min⁻¹ que arrasta o CO₂ libertado para o detetor, passando previamente por um filtro de teflon que retém possíveis gotículas de ácido que possam ser arrastadas e danificar o equipamento.

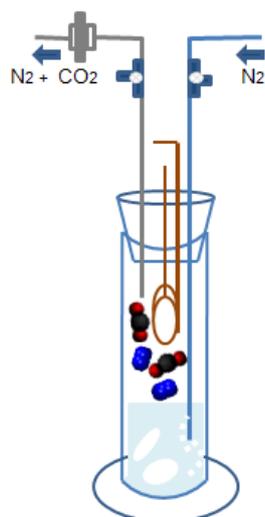


Figura 2.16- Representação esquemática do borbulhador para a análise de filtros

O tempo de espera antes da abertura da válvula permite uma concentração do CO_2 , sendo possível obter um pico inicial de maiores dimensões (Figura 2.17), facilitando a sua contabilização. O caudal de arraste deve ser suficientemente elevado para contribuir para a formação de um pico, mas suficientemente baixo para minimizar a formação de gotículas de ácido que possam atingir os filtros durante a purga inicial de CO_2 .

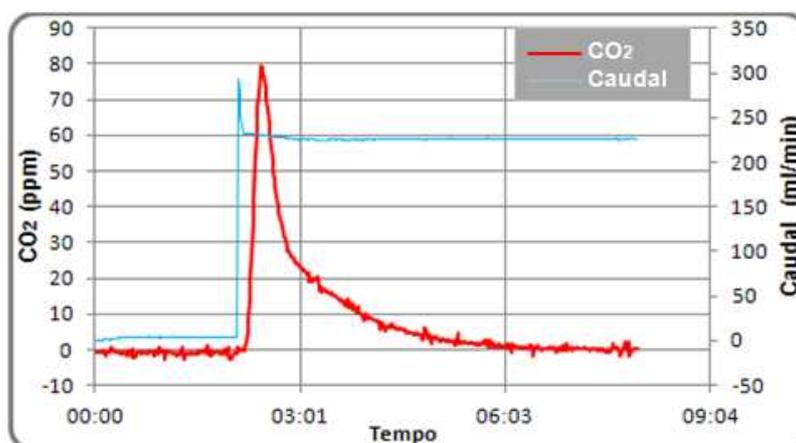


Figura 2.17- Representação gráfica de uma análise de carbonatos

Para a análise dos carbonatos presente no pó de magnésia utilizou-se o mesmo sistema com a variante da amostra estar em solução. Para contornar esta situação, um volume conhecida de amostra foi colocado no fundo do borbulhador, juntamente com água e após a purga do CO_2 , o ácido fosfórico foi introduzido com o auxílio de uma seringa, sendo o restante procedimento idêntico (Figura 2.18).

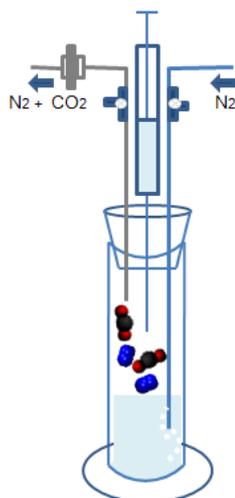


Figura 2.18-Representação esquemática do borbulhador para a análise da solução de magnésia

A calibração do analisador de CO_2 para a análise de carbonatos foi idêntica à realizada para a determinação do OC e EC, tendo apenas o cuidado do borbulhador já ter ácido ou a solução, para estar nas mesmas condições que a amostra e minimizar erros de quantificação por efeito de matriz.

Foram efetuadas igualmente análises de filtros e de soluções com concentração conhecida de carbono (na forma de hidrogenoftalato e/ou de hidrogeno carbonato) para controle de qualidade de todo o sistema de análise e avaliação da eficiência do sistema.

2.3.3 Cromatografia iônica

O método de cromatografia iônica foi utilizado na determinação dos principais iões solúveis presentes na matéria particulada, sendo este um método amplamente utilizado neste tipo de análises. Os métodos de cromatografia permitem a separação, identificação e quantificação de compostos químicos através da utilização de uma fase móvel e de uma fase estacionária. A amostra é transportada na fase móvel atravessando a fase estacionária, na qual os compostos são separados por diferença de velocidades de migração. Alguns compostos têm ligações fortes com a fase estacionária, ficando retidos durante mais tempo, enquanto outros têm ligações mais fracas, movendo-se rapidamente (menor tempo de retenção). Depois de separada, a amostra passa por um detetor que regista o sinal e o tempo de retenção de cada substância, dando origem a um cromatograma com vários picos, como pode ser observado na Figura 2.19. As substâncias apresentam um tempo de retenção característico, sendo possível identificar o pico correspondente a cada uma, de acordo com a sua localização e comparação com os tempos de retenção de substâncias conhecidas. Por sua vez, a quantificação dos diferentes iões é obtida em função da área dos respetivos picos por comparação com a área dos padrões (Calvo, 2009).

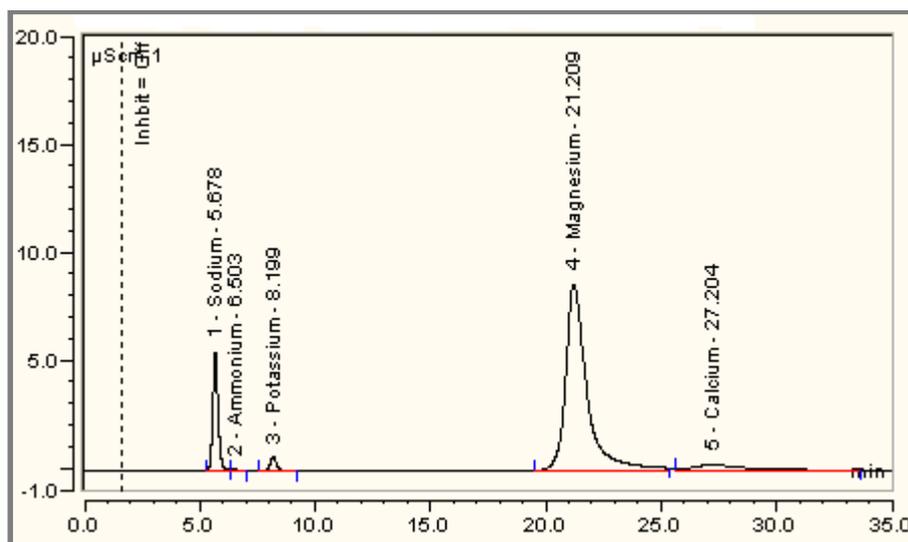


Figura 2.19- Cromatograma de uma análise de cátions

Para a análise dos iões foram utilizados dois equipamentos de cromatografia iónica, um DX100 da Dionex acoplado a um Gilson Sampling Injector 234 e um Model CTO-6A Column Oven com CDD-6A Conductivity Detector da Shimadzu acoplado a um Model 231 Sample Injector e Model 401 Dilutor da Gilson, ligados a uma bomba PU-980 da Jasco.

As amostras previamente extraídas num volume conhecido de água ultrapura são filtradas numa unidade “acrodisc Watman” de PVC e poro 0,2 µm para um pequeno contentor (“vial”), e introduzidas no *loop*, dos equipamentos através do injetor automático, sendo transportadas por uma fase móvel líquida (eluente) até à coluna onde é feita a separação dos iões. Antes da coluna existe uma pré-coluna que retém as impurezas contidas na amostra evitando a deterioração da coluna analítica. Os iões já separados passam pela membrana supressora, onde um regenerante converte os iões do eluente em formas menos condutoras, que ao reduzir o ruído de fundo permite um ganho de sensibilidade considerável nas análises de amostra de baixas concentrações. As espécies a analisar passam por um leitor de condutividade, sendo o sinal transmitido para o sistema de aquisição de dados que gera os cromatogramas. A Figura 2.20 representa esquematicamente o sistema de cromatografia iónica descrito.

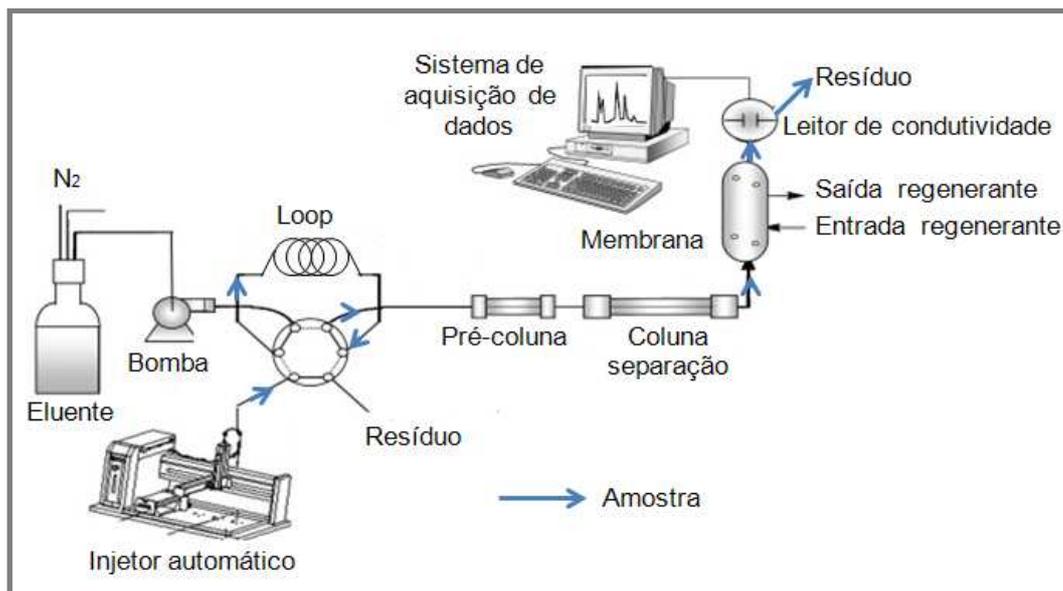


Figura 2.20- Esquema representativo do sistema de análise de cromatografia iônica

Adaptado de (Morganti *et al.*, 2007)

Para a extração das amostras analisadas foram retirados dois círculos de 9 mm de diâmetro, dos filtros de partículas amostrados, sendo cortados em quatro e adicionados a um volume 3 ml de água ultrapura (Milli-Q). De seguida as amostras foram submetidas a um banho de ultrassom e com recurso a uma seringa e um filtro foram filtradas para o interior de *vials* (Figura 2.21).



Figura 2.21- Filtração das amostras para a cromatografia iônica. (Fonte: <https://uk.vwr.com/>)

Os aniões (Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} e SO_4^{2-}) foram separados numa coluna Dionex AS14, passando pela pré-colona Dionex AG14, com uma solução de Na_2CO_3 (0,0018 mN) e NaHCO_3 (0,0017 mN) como eluente, utilizando como regenerante uma solução de H_2SO_4 diluída e uma membrana da Dionex AMMS 300.

Na análise dos catiões (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+}) foi utilizado uma solução de ácido metano sulfónico (MSA) a 15 mN como eluente, uma coluna Dionex CS12, com uma pré-coluna Dionex CG12. Uma solução de Tetrabutylammonium hydroxide (TBA) foi utilizada como regenerante na membrana da Dionex CMMS 300.

Os cromatografos foram calibrados com sete padrões resultantes de diferentes diluições a partir de uma solução mãe contendo concentrações conhecidas dos diferentes iões, a partir dos quais se construíram as retas de calibração para cada um dos analitos. A par das amostras também se analisaram filtros limpos, “brancos” considerados para a quantificação dos iões nas amostras como se descreve no ponto 2.

2.4 Metodologias de cálculo

2.4.1 Taxas de ventilação

Uma taxa de ventilação pode ser definida como a taxa de renovação de ar suficiente para garantir uma QAI aceitável, normalmente traduzida em termos de caudal volúmico de ar ou caudal volúmico de ventilação, Q , expresso em l s^{-1} ou $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$. O número de renovações horárias, R_{ph} , expresso em h^{-1} é outro indicador utilizado na quantificação da taxa de ventilação de espaços interior, também designado na literatura por taxa de renovação horária ou simplesmente por renovação horária (“Air Change Rate”- ACR). O R_{ph} pode ser entendido como o número de vezes que o ar de um espaço é renovado em cada hora (ASHRAE, 2001).

Para a determinação das taxas de ventilação recorreu-se à técnica de decaimento, através da análise de um período de medição e registo de CO_2 (gás traçador) do ar interior e exterior. Nestes registos são identificados os períodos considerados de regime permanente, onde a concentração de gás é uniforme, que por ausência de pessoas no espaço deixa de ser produzido. Nestes períodos é assumido um instante inicial (após a saída de todos os ocupantes) e um instante final dos quais são recolhidas as concentrações de CO_2 interior e exterior, utilizadas para o cálculo na seguinte expressão:

$$C_t = C_{ext} + \frac{q_{CO_2} \times 10^6}{Q} - \left(C_{ext} - C_0 + \frac{q_{CO_2} \times 10^6}{Q} \right) e^{(-Q/V)} \quad \text{Equação 2.1}$$

Onde C_t é a concentração de CO_2 no ar interior no instante t (ppm), C_{ext} é a concentração de CO_2 no ar exterior (ppm), C_0 é a concentração de CO_2 (ppm) no ar interior no instante inicial ($t = 0$), Q é o caudal volúmico de ar que entra no espaço ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), q_{CO_2} caudal volúmico de emissão de CO_2 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), V é o volume do espaço (m^3) e t é o instante final considerado (s). Quando o espaço está vazio não há emissão de CO_2 pelos ocupantes, logo $q_{CO_2} = 0$.

A equação anterior, pode ser reorganizada para nos dar diretamente o caudal de ventilação (Q) necessário, a partir dos valores de concentração medidos durante o período t.

$$Q = -\frac{V}{t} \times \ln\left(\frac{C_t - C_{ext}}{C_0 - C_{ext}}\right) \quad \text{Equação 2.2}$$

O número de renovações de ar horárias, R_{ph} (h^{-1}) pode ser obtido com a seguinte equação, com o caudal volúmico de ar (Q) em $m^3 h^{-1}$ e o tempo (t) em h.

$$R_{ph} = \frac{Q}{V} = -\frac{\ln\left(\frac{C_t - C_{ext}}{C_0 - C_{ext}}\right)}{t} \quad \text{Equação 2.3}$$

Quando os vários ocupantes do espaço não saem em simultâneo, demorando um certo tempo até todos abandonarem o local, o decaimento de CO_2 tende a ser inferior ao que seria obtido se todos abandonassem o local ao mesmo tempo, sendo esta uma situação crítica (Persily,1996). Por outro lado, o facto da determinação do caudal de ventilação, Q, depender do volume efetivo da zona ventilada, aumenta a incerteza associada a este método (Persily,1997). O volume efetivo corresponde ao volume onde o ar realmente circula, excluindo o volume ocupado por mobiliário, equipamentos e volumes onde haja estagnação de ar.

Neste método admite-se que são verificadas as seguintes condições: uma concentração homogeneia do gás traçador em todo o espaço em estudo, uma mistura perfeita e imediata entre o gás traçador e o ar (homogeneização completa), que o gás traçador não altera a densidade do ar, que a temperatura interior e exterior são uniformes e não variam ao longo do tempo e que o vento é estacionário durante o período de medições. Na prática tais condições podem não ser cumpridas introduzindo alguma incerteza nos resultados obtidos.

As propriedades do gás traçador influenciam em grande medida o sucesso desta técnica. Apesar de o CO_2 não poder ser considerado como gás traçador no sentido estrito do termo, por ser um constituinte da atmosfera, é recorrentemente utilizado com essa finalidade, por possuir muitas características indicadas para gás traçador. Alguns dos aspetos que contribuem para a sua ampla utilização são o facto de:

- Não ser dispendioso;
- Não ser inflamável, nem explosivo;
- Ter uma massa molar ($M=44 \text{ g mol}^{-1}$) relativamente próxima da massa molar média do ar ($M=29 \text{ g mol}^{-1}$), sendo a sua densidade de 1,53;
- Ser fácil de analisar sendo a concentração mínima detetável de 3 ppm (ASTM,2000), (Roulet e Vandaele,1991), mas no entanto é recomendado o uso de uma concentração mínima 100 vezes superior, para garantir uma proporcionalidade direta entre os valores lidos pelo aparelho e as concentrações no ar;
- Apresentar uma baixa toxicidade, não conferindo risco para a saúde dos ocupantes do espaço, desde que mantido abaixo dos limites recomendados.

A utilização de CO₂, também tem alguns aspetos negativos, nomeadamente por:

- Ser adsorvido pelos materiais de revestimento do espaço em estudo, como as placas de gesso cartonado ou placas de fibras de madeira (MDF), ainda que em baixa percentagem.
- Estar presente no ar exterior, tendo de ser contabilizado e tido em conta na resolução da equação de balanço mássico;
- Ser produzido pelos ocupantes da zona em estudo.

A utilização do CO₂ como gás traçador, permite o aproveitamento, com os devidos cuidados, deste recurso já existente nos espaços em estudo, para a determinação das taxas de ventilação.

2.4.2 Determinação de COVs, Carbonilos e NO₂

A análise dos gases amostrados por difusão passiva foi efetuada após o final da campanha de amostragem. Os amostradores passivos de NO₂, foram enviados aos laboratórios da Gradko para análise (Gradko Laboratories, UK). Os métodos de análises usados para a quantificação de COVs e carbonilos foram os recomendados no *site* <http://www.radiello.it/> analisados por membros da equipa de amostragem sendo os métodos utilizados descritos de seguida.

2.4.2.1 COVs

Os COVs concentrados nos tubos de difusão da *Radiello* (RAD 130) foram extraídos com 2 ml de dissulfureto de carbono (CS_2 da *Aldrich*) contendo 2-fluorotolueno (da *Aldrich*) como padrão interno, sendo os frascos de vidro agitados durante aproximadamente 30 minutos. As amostras foram posteriormente analisadas por cromatografia gasosa recorrendo a um *Thermo Scientific Trace GC Ultra* acoplado a um detetor de ionização de chama. O equipamento foi calibrado no início e durante a análise com injeção de soluções-padrão diluídas em CS_2 . A partir da calibração obteve-se um fator de resposta relativa (RRF) para os diferentes compostos ou grupo químico, através da seguinte equação:

$$RRF = \frac{m_{IS} \times A_c}{m_c \times A_{IS}} \quad \text{Equação 2.4}$$

Sendo, m_{IS} a massa do padrão interno (ng) injetado, A_c a área do cromatograma correspondente ao composto injetado, m_c a massa do composto injetado e A_{IS} a área do padrão interno. Com base no fator de resposta e área dos picos medida para cada composto na amostra estima-se a massa de composto e através da equação abaixo, a concentração média ao longo do tempo de exposição, em $\mu\text{g m}^{-3}$,

$$C = \frac{m}{Q_K \times t} \times 1000000 \quad \text{Equação 2.5}$$

em que, C é a concentração da espécie de COVs no ar ($\mu\text{g m}^{-3}$), m a massa da espécie analisada (μg), Q_K é o caudal de amostragem à temperatura K e t o tempo em minutos. Detalhes da técnica e procedimento podem ser encontrados em (Pegas, 2012).

A Figura 2.22 ilustra de forma resumida o processo de determinação de COVs no ar, desde da amostragem até a análise.

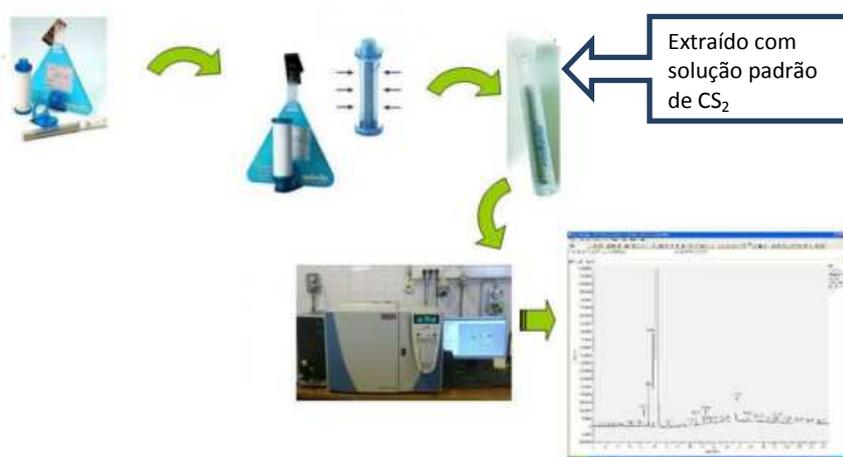


Figura 2.22 Esquema do procedimento de amostragem até a análise, para os COVs. (Adaptado de (Pegas, 2012))

2.4.2.2 Carbonilos

Os Carbonilos recolhidos nos tubos de difusão passiva Radiello (RAD 165) sob a forma de 2,4-dinitrophenylhydrazines (DNPH), de acordo com o método descrito na página da Radiello, foram extraídos em 2 ml de acetonitrilo (Fisher Scientific), para frascos de vidro e agitados durante aproximadamente 30 minutos. Os extratos foram filtrados através de filtros de membrana de 0,45 µm (kit de filtração RAD 174) e analisados por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). O sistema de análise utilizado era constituído por uma bomba Jasco PU-980, uma válvula de injeção manual Rheodyne, uma coluna Supelcosil LC-18 e um detetor de díodos Jasco MD-1510, ligados em série. Como eluente foi utilizada uma solução de acetonitrilo/água ultra pura (60/40,v/v). Para determinar as concentrações dos vários compostos de carbonilos foram realizadas curvas de calibração externas, utilizando uma solução padrão de 15 derivados de DNPH (TO11/IP6A carbonilo- DNPH Mix da Supelco).

As concentrações médias de carbonilos amostrados foram obtidas a partir de seguinte equação:

$$C = \frac{m}{Q_K \times t} \times 1000000 \quad \text{Equação 2.6}$$

em que, C é a concentração do composto de carbonilo no ar ($\mu\text{g m}^{-3}$), m a massa de aldeído ou cetona (μg) quantificada na amostra a partir da reta de calibração e volume de extração, Q_K é o caudal de amostragem à temperatura K e t o tempo em minutos (Pegas, 2012).

2.4.3 Determinação da concentração mássica de EC, OC e Carbonatos

Da análise ao carbono orgânico, carbono elementar e carbonatos foram obtidas as massas correspondentes à fração de filtro a analisado, calculadas por integração numérica com recurso a uma folha de cálculo, em Excel, desenvolvida para o efeito.

Para o cálculo da concentração, é necessário determinar primeiramente a massa de carbono existente na totalidade do filtro amostrado, através da equação 2.7.

$$m_{i,F} = \frac{m_{i,a} \times A_{a,F}}{n_c \times A_c} \quad \text{Equação 2.7}$$

em que,

$m_{i,F}$ – massa de carbono i no filtro amostrado (μg); sendo i = orgânico (OC), elementar (EC) e Carbonatos.

$m_{i,a}$ – massa de carbono i analisada (μg);

$A_{a,F}$ – área do filtro amostrada (cm^2);

n_c – número de círculos analisados;

A_c – área do círculo analisada (cm^2).

Após a obtenção das massas por filtro, efetuou-se a sua correção subtraindo a média dos brancos. Esta correção não é efetuada para o carbono elementar, uma vez que é referente aos compostos orgânicos que são adsorvidos pelo filtro ao longo do tempo de análise (gravimétrica e carbonácea).

$$m_{i,F} = m_{i,F} - \overline{m_b} \quad \text{Equação 2.8}$$

em que,

$m_{i,F}$ – massa de carbono j corrigida (μg); sendo i = orgânico (OC) e carbonatos;

$\overline{m_b}$ – média da massa dos filtros brancos do ensaio.

Procedeu-se ao cálculo da concentração do carbono i amostrado (C, em $\mu\text{g m}^{-3}$), dividindo a massa pelo valor do volume amostrado, nas condições de ambiente, obtido pelos equipamentos.

$$C_{i,F} = \frac{m_{i,F}}{V_{a,td}} \quad \text{Equação 2.9}$$

A determinação da concentração de OC e EC é feita com base no sinal do laser, isto é, o momento de recuperação do sinal do laser na segunda fase de aquecimento do forno 1 descrita anteriormente. A massa de carbono libertada até este momento corresponde à massa de carbono orgânico e a massa de carbono libertada subsequentemente até final da análise corresponde ao EC.

2.4.4 Determinação de iões inorgânicos solúveis

Da análise aos iões inorgânicos solúveis foram obtidas concentrações dos iões na solução de extração ($C_{i,a}$). A massa de cada ião analisado determinou-se com a equação 2.10.

$$m_{i,F} = \frac{C_{i,a} \times V_a \times A_{a,F}}{n_c \times A_c} \quad \text{Equação 2.10}$$

em que,

$m_{i,F}$ – massa de ião i no filtro amostrado (μg); sendo i = Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} e SO_4^{2-} .

$C_{i,a}$ – concentração de ião i analisada ($\mu\text{g ml}^{-1}$);

V_a – Volume de extração da amostra (ml);

$A_{a,F}$ – área do filtro amostrada (cm^2);

n_c – número de círculos analisados;

A_c – área do círculo analisada (cm^2).

Após a obtenção das massas por filtro, efetuou-se a sua correção subtraindo a média dos brancos.

$$\dot{m}_{i,F} = m_{i,F} - \overline{m_b} \quad \text{Equação 2.11}$$

em que,

$\dot{m}_{i,F}$ – massa de ião i corrigida (μg); sendo $i = \text{Na}^+, \text{NH}_4^+, \text{K}^+, \text{Mg}^{2+}, \text{Ca}^{2+}, \text{Cl}^-, \text{NO}_3^-, \text{PO}_4^{3-}$ e SO_4^{2-} .

$\overline{m_b}$ – média da massa dos filtros brancos do ensaio.

Procedeu-se ao cálculo da concentração dos iões i no ar amostrado, em $\mu\text{g m}^{-3}$, dividindo a massa pelo volume amostrado ($V_{a,td}$), registado pelos equipamentos.

$$C_{i,F} = \frac{\dot{m}_{i,F}}{V_{a,td}} \quad \text{Equação 2.12}$$

2.4.5 Distribuições por tamanho

Os ficheiros de dados obtidos pela PCASP-X, não podem ser utilizados em bruto sem um processamento prévio. Efetuaram-se correções no caudal, altitude e atividade, sendo também corrigidos os diâmetros para cada canal em função dos índices de refração determinados para os espaços em estudo. Também foi efetuado o ajusto à distribuição lognormal para obter os parâmetros característicos destas distribuições. De seguida será descrita a metodologia utilizada para as correções, determinação dos índices de refração e dos parâmetros das distribuições lognormal. Uma descrição mais detalhada das correções e tratamento de dados da PCASP-X pode ser consultada em Calvo, (2009).

2.4.5.1 Índice de refração

A distribuição da luz dispersada pelas partículas é de modo geral função do tamanho da partícula, da sua forma, do comprimento de onda incidente, do índice de refração e do meio que a rodeia (Rader e O'Hern, 2001). O índice de refração é uma propriedade ótica, sendo definido como

$$m = n_{eff} - k_{eff} i \quad \text{Equação 2.13}$$

Onde a parte real efetiva do índice, n_{eff} , representa o *scattering* (fenómeno de redistribuição da energia eletromagnética incidente, pela interação com uma partícula, fenómeno de dispersão) e a parte imaginária efetiva, k_{eff} , corresponde à capacidade de absorção da radiação pela partícula. Os índices com valores de n_{eff} elevados significam que o fenómeno de *scattering* é mais intenso, valores mais elevados de k_{eff} traduzem um maior efeito de absorção pelas partículas. O OPC deteta o *scattering* das partículas para um comprimento de onda de 632,8 nm, estimando

o seu tamanho, de acordo com a magnitude do sinal obtido e assumindo que são esféricas. O índice de refração interfere na classificação das partículas, sendo necessário corrigir os intervalos de tamanho obtidos com o índice de refração de partículas de latex, utilizadas para a calibração do OPC, por intervalos determinados para índices mais adequados às partículas em estudo.

O índice de refração depende da composição química do aerossol e do comprimento de onda incidente (Nakajima *et al.*, 1996), sendo muito complicado determinar o índice de refração correspondente aos aerossóis atmosféricos por serem constituídos por diferentes compostos em fases, por vezes não homogêneas e num estado de mistura variável.

Com o intuito de obter uma composição química aproximada dos aerossóis, utilizou-se os dados das análises aos filtros amostrados para reconstituir a concentração mássica média das PM₁₀ (RCM), e dos seus principais constituintes.

$$[RCM] = [Sais] + [Minerais] + [MOP] + [EC] \quad \text{Equação 2.14}$$

A massa de PM₁₀ subdividiu-se em sais inorgânicos, material mineral da crosta terrestre, em matéria orgânica particulada (MOP) e carbono elementar (EC). Para determinar os sais com maior peso no aerossol, efetuou-se um balanço iónico cuidado, com os catiões (Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺) e aniões (CO₃²⁻, Cl⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻ e SO₄²⁻) analisados, considerando os sais característicos do aerossol atmosférico e os iões identificados em maior proporção. Para as concentrações de MOP e EC utilizaram-se os valores das análises do termo-ótico apresentados em 3.4.2.1. A MOP correspondente à massa total de matéria orgânica, contabilizando elementos como o oxigénio, o azoto e o hidrogénio que se encontram agregados a esta. Para obter o valor de MOP multiplicou-se o OC por um fator de conversão (estimativa do peso molecular médio pelo peso de carbono no aerossol orgânico) (Kleefeld *et al.*, 2002). O fator de conversão será tanto maior quanto maior for a oxidação do aerossol, tendo sido utilizado no passado, por vários autores, valores de 1,2-2,0 (Seinfeld e Pandis, 2006). Para este estudo considerou-se adequado a utilização do valor 1,4 para os vários locais de amostragem.

A fração correspondente à matéria mineral determinou-se subtraindo as frações dos outros constituintes, à massa total de PM₁₀. Uma vez que não se efetuou análises à matéria mineral considerou-se que esta fração estaria sobre a forma de silicatos, principal constituinte dos minerais (Stanley, 1994).

Depois efetuou-se uma pesquisa de índices de refração e densidades de vários constituintes do aerossol para um comprimento de onda próximo dos 632,8 nm, estando alguns compilados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2- Índices de refração e densidades

Espécie	Densidade (g cm ⁻³)	Índice de refração	Fonte
NaCl	2,163	1,544	(Perry <i>et al.</i> , 1997)
(NH₄)₂SO₄	1,760	1,530	(Tang, 1996)
CaCO₃	2,711	1,550	(Perry <i>et al.</i> , 1997)
MgCO₃	3,037	1,700	(Perry <i>et al.</i> , 1997)
Silicatos	2,6	1,53	(Horvath, 1998)
POM	1,400	1,550-0,001	(Lin <i>et al.</i> , 2012)
EC	1,500	1,800-0,540	(Lin <i>et al.</i> , 2012)

Com base na composição, índices de refração e densidade dos vários constituintes do aerossol seco, determinaram-se os índices de refração complexos para os locais de estudo, assumindo uma mistura interna de todas as partículas (Lin *et al.*, 2012).

$$n_{eff} = \left(\sum_i n_i \cdot X_i / \rho_i \right) / \left(\sum_i X_i / \rho_i \right) \quad \text{Equação 2.15}$$

$$k_{eff} = \left(\sum_i k_i \cdot X_i / \rho_i \right) / \left(\sum_i X_i / \rho_i \right) \quad \text{Equação 2.16}$$

Sendo,

n_{eff} – a parte real do índice do aerossol;

k_{eff} – a parte imaginária do índice do aerossol;

X_i – a fração mássica do composto i nas partículas;

ρ_i – a densidade do composto i nas partículas;

n_i e k_i – a parte real e imaginária respetivamente do composto i nas partículas;

A densidade do aerossol ($\bar{\rho}$) foi determinada com a seguinte equação

$$\bar{\rho} = 1 / \left(\sum_i X_i / \rho_i \right) \quad \text{Equação 2.17}$$

2.4.5.2 Correções de caudal, altitude e atividade

Os dados da PCASP-X tiveram também de ser corrigidos de acordo como o caudal de ar amostrado, para a altitude na qual foi realizada a amostragem e em termos de actividade, parametro obtido pelo equipamento associado à sua capacidade de leitura. Léon situa-se a uma altitude de cerca de 840 metros (2756 pés), que de acordo com a tabela do fabricante, disponível no anexo II, corresponde a um fator de correção de altitude de 90,43%. Para este fator e os dados de concentração de partículas e actividade obtidos para cada medição determinou-se o numero de partículas por cm^3 , dividindo os valores pelo caudal, através da Equação 2.18.

$$\frac{\text{partículas}}{\text{cm}^3} = \frac{\text{concentração partículas medida}}{\text{caudal} * \text{fator de altitude} * \text{tempo}} \cdot \frac{1}{1 - \left[0,0052 * \left(\frac{\text{actividade}}{\text{tempo} * 10} \right) \right]} \quad \text{Equação 2.18}$$

Em que o caudal é expresso em cm^3s^{-1} e tempo de medição de cada valor foi de 60 segundos.

2.4.5.3 Distribuição lognormal

A medição e interpretação das distribuições por tamanho das partículas é essencial para obter uma noção global da origem e efeitos dos aerossóis ambientais (John, 2001). Na atmosfera, a matéria particulada é constituída por partículas de diferentes tamanhos, sendo necessário obter uma descrição matemática das distribuições por tamanho e analisá-las quantitativamente. Os dados devem ser ajustados a uma função que permita caracterizar a distribuição mediante alguns parâmetros. De um modo geral, identificam-se diferentes intervalos de tamanhos de partículas designados por modas, sendo estas: nucleação, Aitken, acumulação e grosseira (Figura 2.23). Esta classificação está principalmente relacionada com os mecanismos que regem a distribuição e evolução das partículas (Seinfeld e Pandis, 2006). A granulometria e a composição química das partículas são geralmente características das fontes de emissão.

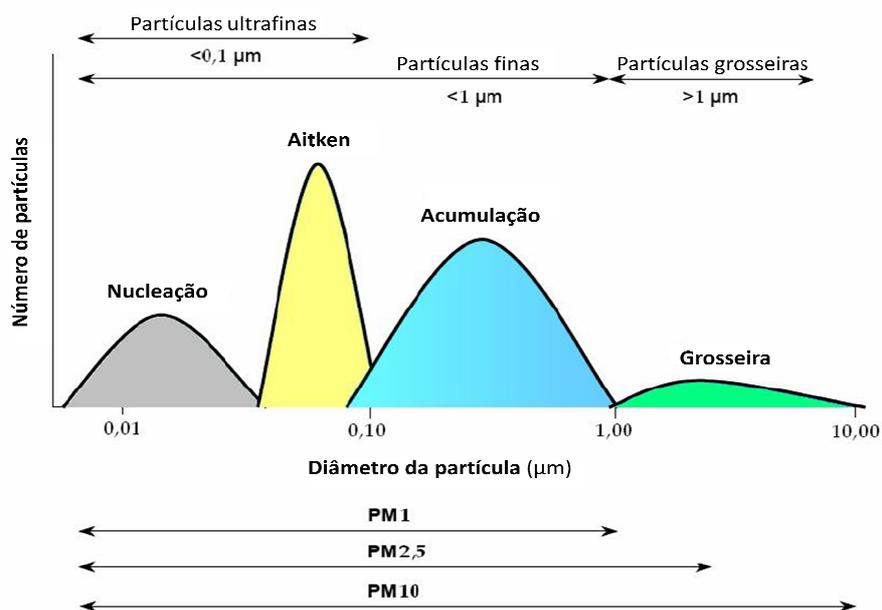


Figura 2.23- Distribuição do número de partículas em função do tamanho, identificação das modas e diferentes classificações por tamanho, adaptado de (Calvo, 2009).

As distribuições por tamanho dos aerossóis podem ser caracterizadas por várias funções, sendo a distribuição de Junge (1963), amplamente utilizada, por ajustar o gráfico do logaritmo do número de partículas, ao logaritmo do tamanho das partículas, através de uma simples função potencial. Atualmente, a função lognormal é a mais utilizada para caracterizar as distribuições de tamanho devido ao bom ajuste obtido para uma grande variedade de dados empíricos.

A distribuição lognormal é definida com a seguinte expressão:

$$\frac{dN}{d \log D} = \frac{N}{\sqrt{2\pi} \log \sigma_g} \exp \left[-\frac{(\log D_g - \log D)^2}{2(\log \sigma_g)^2} \right] \quad \text{Equação 2.19}$$

Sendo N o número total de partículas, D_g o diâmetro geométrico médio, D o tamanho do aerossol e σ_g o desvio geométrico. Por sua vez, o diâmetro geométrico médio (D_g) e o desvio geométrico (σ_g) são resultado das seguintes equações.

$$D_g = \exp \left[\frac{\sum_i (\log D_i n_i)}{N} \right] \quad \text{Equação 2.20}$$

$$\sigma_g = \exp \left[\frac{\sum_i n_i (\log D_g - \log D_i)^2}{N - 1} \right]^{1/2} \quad \text{Equação 2.21}$$

onde n_i é o número de partículas do tamanho D_i . Geralmente, a distribuição de partículas atmosféricas corresponde à soma de m distribuições lognormais:

$$\frac{dN}{d \log D} = \sum_{j=1}^m \frac{N_j}{\sqrt{2\pi} \log \sigma_{g,j}} \exp \left[-\frac{(\log D_{g,j} - \log D)^2}{2(\log \sigma_{g,j})^2} \right] \quad \text{Equação 2.22}$$

Em que j corresponde a cada distribuição, sendo caracterizada individualmente através de três parâmetros: a concentração numérica, N_j (cm^{-3}), o diâmetro médio geométrico, $D_{g,j}$ (μm), e o desvio geométrico, $\sigma_{g,j}$ (dimensional) para m número de distribuições existentes.

Nas distribuições do número de partículas, o diâmetro geométrico médio, D_g , pode representar-se pela mediana do diâmetro da distribuição do número de partículas (CMD: *Count Median Diameter*). A média geométrica da distribuição do número de partículas é a média aritmética da distribuição de $\ln dp$, que é uma distribuição normal simétrica, sendo a média e a mediana iguais (para o logaritmo do diâmetro de partícula dp). A mediana da distribuição $\ln dp$ é também a mediana da distribuição de dp , porque não há alteração da ordem de valores com a conversão a logaritmos. Assim sendo, para a distribuição lognormal do número de partículas, $D_g = \text{CMD}$.

Se a distribuição do número de partículas é multi-lognormal, as distribuições de superfície e volume também o são (John, 2001). Estas distribuições são dadas pela Equação 2.19 substituindo o número de partículas N_i , pela superfície S_i e o volume V_i , respetivamente, e o diâmetro médio geométrico da distribuição D_g , pelo diâmetro de superfície (SMD) e de volume (VMD), respetivamente. Para efetuar os cálculos, considerou-se que as partículas eram esféricas e utilizam-se as seguintes equações:

Para as distribuições de superfície,

$$\text{Superfície partícula esférica} = 4 \cdot \pi \cdot r^2 = 4 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \cdot d^2 \quad \text{Equação 2.23}$$

$$\text{Distribuições por superfície} = N^\circ \text{ de partículas } \text{cm}^{-3} \cdot \pi \cdot d^2 \quad \text{Equação 2.24}$$

$$\text{SMD} = \exp \left(\frac{\sum n_i d_i^2 \ln d_i}{\sum n_i d_i^2} \right) \quad \text{Equação 2.25}$$

Para as distribuições de volume,

$$\text{Volume partícula esférica} = 4/3 \cdot \pi \cdot r^3 = 4/3 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^3 = 1/6 \cdot \pi \cdot d^3 \quad \text{Equação 2.26}$$

$$\text{Distribuições por volume} = N^\circ \text{ de partículas } \text{cm}^{-3} \cdot 1/6 \cdot \pi \cdot d^3 \quad \text{Equação 2.27}$$

$$\text{VMD} = \exp \left(\frac{\sum n_i d_i^3 \ln d_i}{\sum n_i d_i^3} \right) \quad \text{Equação 2.28}$$

3. Resultados e discussão

Os resultados apresentados e discutidos serão divididos por parâmetros analisados, agrupados por metodologias de amostragens e técnicas de análise utilizadas. Alguns parâmetros foram analisados em contínuo, enquanto outros representam valores médios. Salvaguardando estas diferenças procurar-se-á fazer uma análise integrada com o intuito de observar inter-relações que permitam a identificação de possíveis fontes. Os valores registados no interior do *fronton* e do ginásio serão comparados com os valores medidos no exterior a fim de determinar o contributo das fontes exteriores para a qualidade do ar interior e a obtenção de rácios I/E. Os parâmetros serão comparados, sempre que possível, com os valores recomendados em termos de qualidade do ar interior e com outros dados da literatura.

3.1 Parâmetros de conforto e gases em contínuo

A apresentação, dos resultados e a sua discussão, é dividida pelas instalações em estudo (*fronton* e ginásio). A temperatura, a humidade relativa e o CO₂ são apresentados e analisados em conjunto, dada a sua inter-relação e influência, no conforto humano. As variações de CO e COVs, medidas em contínuo, são analisadas procurando identificar possíveis fontes de emissão.

3.1.1 *Fronton*

No interior do *fronton* os valores de temperatura e humidade relativa (Figura 3.1) apresentam amplitudes entre 15,9-32,5 °C e 22,0-49,8%, respetivamente, sendo que a temperatura apresenta uma pequena amplitude durante a maior parte do dia com exceção do período entre as 19:30 - 21:00. Neste período observa-se um aumento significativo de 4 a 6°C na temperatura interior acompanhado de um abaixamento na HR. Este comportamento coincide com a incidência do feixe de radiação solar que atravessa o envidraçado, na zona do equipamento, associado à deslocação do sol ao final da tarde. As variações de T e HR neste período são interpretadas como consequência da interferência da incidência direta da radiação sobre os sensores e que não refletirão a temperatura média no espaço em avaliação. Após o por do sol, a temperatura diminui até um valor próximo de 20 °C. As medições efetuadas no exterior ao longo da semana apresentam variações de temperatura e humidade de maiores amplitudes. O edifício apresenta uma boa inércia térmica em relação à temperatura do exterior.

Para os meses de verão e o uso de vestuário reduzido, característico das atividades desportivas, a ASHRAE recomenda que a humidade relativa se mantenha entre 25-60% e a temperatura entre os 24,5-28 °C para HR de 30% e 23-25,5 °C, para HR de 60%. No *Fronton* estes parâmetros, durante o período de ocupação, apresentaram valores adequados. Contudo o uso deste espaço para a prática de atividade física durante o período noturno, no verão, poderá apresentar condições desconfortáveis, como foi possível constatar durante a permanência da equipe técnica no final do dia.

Os valores de CO₂ aumentam significativamente nos períodos de ocupação, denotando o contributo dos ocupantes, atingindo máximos de 565 ppm, enquanto em média a concentração se mantém próximo de 412 ppm semelhante ao registado no exterior. Em nenhum momento o limite recomendado pela ASHRAE foi ultrapassado. Convém contudo ressaltar que face à área e volumetria do espaço interior a densidade de ocupação foi sempre baixa. No exterior as concentrações de CO₂ apresentaram uma pequena variação ao longo do dia, 400 a 460 ppm.

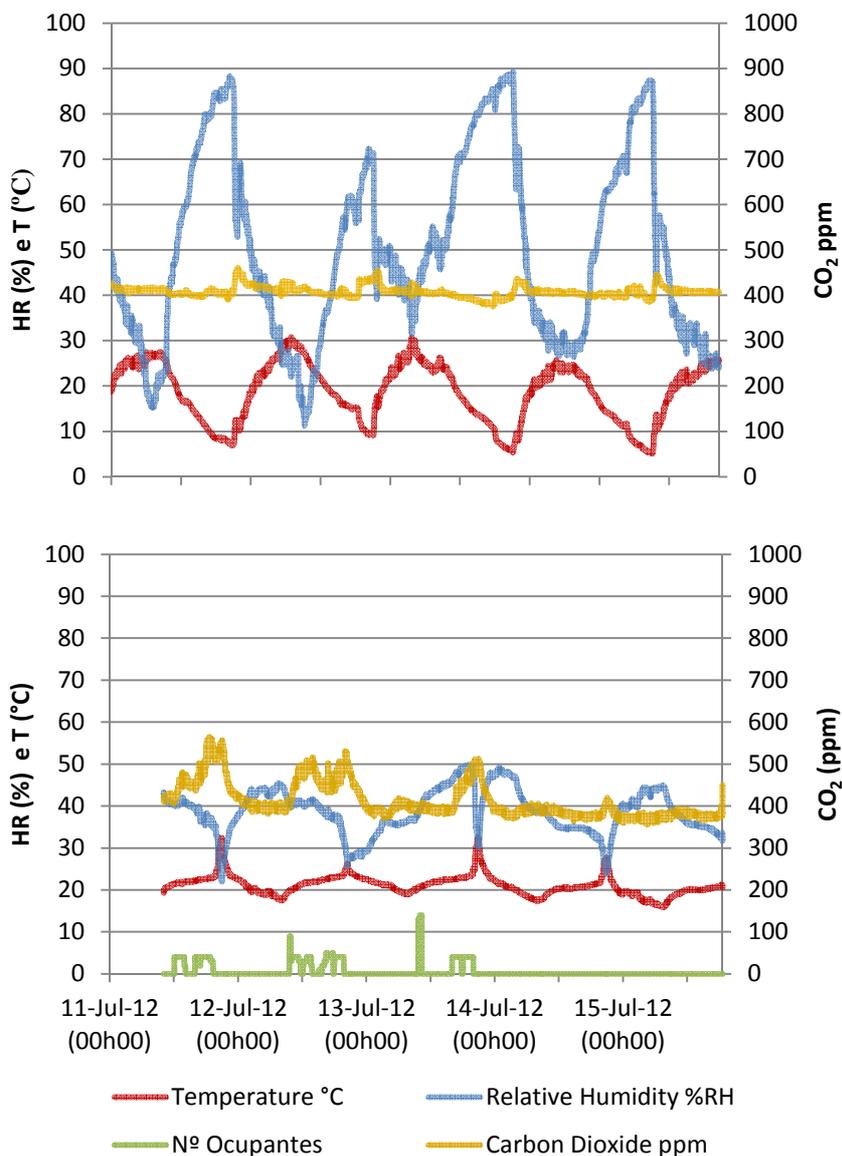


Figura 3.1- Variação da temperatura, humidade relativa e CO₂ no interior do fronton (inferior) e no exterior (superior)

No Figura 3.2 estão representados os valores de CO e COVs medidos no interior do *fronton* e de CO no exterior. O CO, quer no interior do *fronton* quer no exterior, apresentou na maior parte do tempo de monitorização concentrações abaixo do limite de deteção (LD) dos amostradores usados (LD wolfsense 0,050 ppm e 0,100 ppm TSI). No interior foi observada uma concentração máxima de 12,6 ppm, enquanto no exterior o máximo atingiu apenas 1 ppm. Em

qualquer um dos casos nunca foram excedidos os valores guia da OMS (15 min – 81 ppm, 1 h – 28 ppm, 8 h – 8.1 ppm, 24 h, 5.7 ppm). Os valores mais elevados de CO no interior do *fronton*, poluente associado a processos de combustão incompletos, situam-se no período da manhã do dia 11 e 12 de julho de 2012, sensivelmente entre as 11h00 e as 13h00, alturas coincidentes com a saída e entrada de um pequeno trator, cortador de relva, que permanecia estacionado no interior do *fronton*. Os COVs destacam-se no dia 12 de julho, pelos seus valores mais elevados coincidentes com a atividade de limpeza verificada neste período, fonte típica de emissão deste poluente.

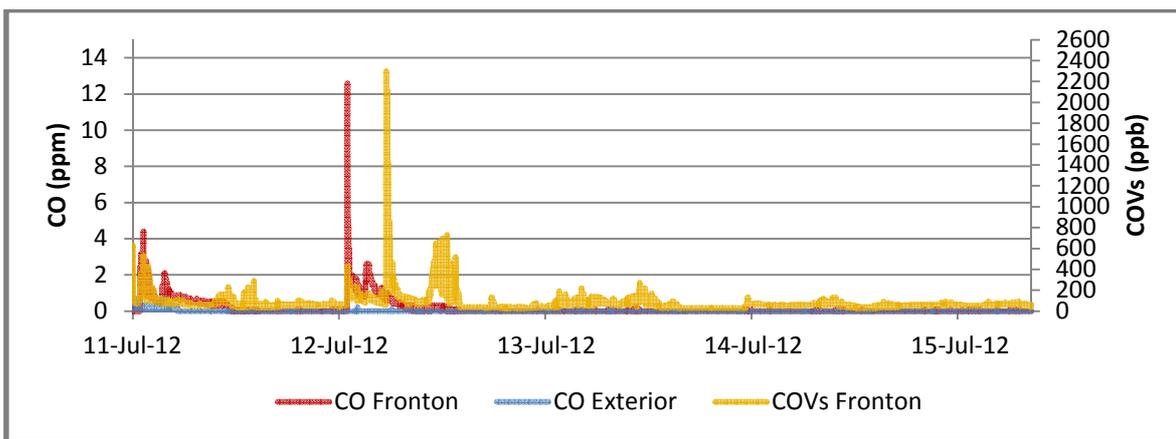


Figura 3.2- Variação das concentrações de CO e COVs no interior do fronton e de CO no exterior durante o período de amostragem.

Estes compostos também podem ter origem em processos de combustão e volatilização de combustíveis, podendo as emissões do trator também contribuir para o aumento deste poluente, nomeadamente durante a sua saída, coincidente com os picos de CO dos dois dias atrás assinalados, como pode ser observado com mais detalhe na Figura 3.3.

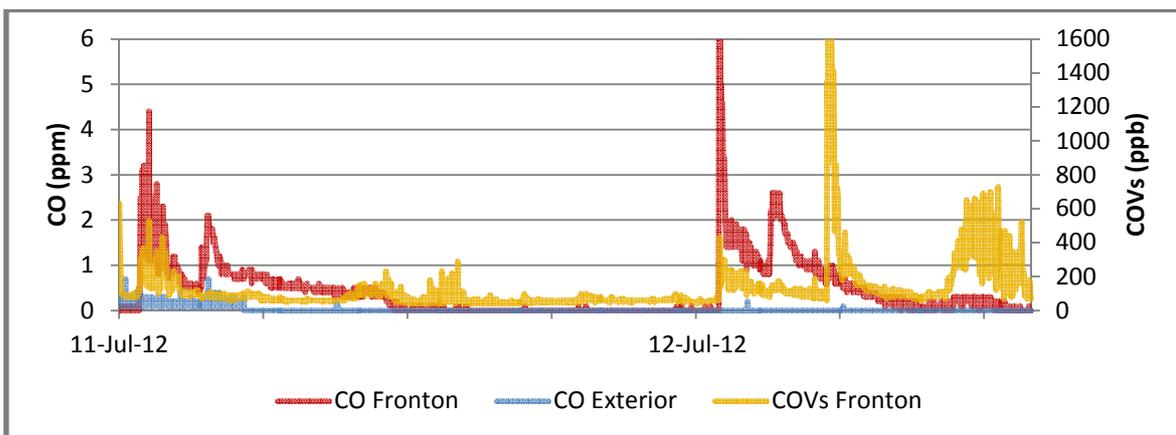


Figura 3.3- Pormenor da variação de CO e COVs no interior do fronton, durante os dias de saída e entrada do trator das instalações.

Ginásio

No interior do ginásio o comportamento, da temperatura e humidade relativa, apresenta variações de 20,4-36,6 °C e 10,8-37,3%, respetivamente. Durante os períodos de ocupação a temperatura mantém-se acima dos 27°C e a humidade relativa atinge vários dias valores inferiores a 20%, durante longos períodos (Figura 3.4). Para tal contribuíram as elevadas temperaturas e baixas HR observadas no exterior. Contrariamente ao *fronton* o ginásio apresenta menor inércia térmica principalmente durante o período diurno. A abertura dos portões durante o período de ocupação para arejamento do espaço também terá influenciado a temperatura e humidade no interior, aproximando os valores registados no interior e exterior. As elevadas temperaturas e baixas humidades tornam o ambiente no interior do ginásio desconfortável e cansativo. As atividades realizadas em ambientes quentes podem levar ao surgimento de doenças graves nos praticantes de desporto, especialmente nas crianças (Binkley *et al.*, 2002) (Racinais *et al.*, 2012).

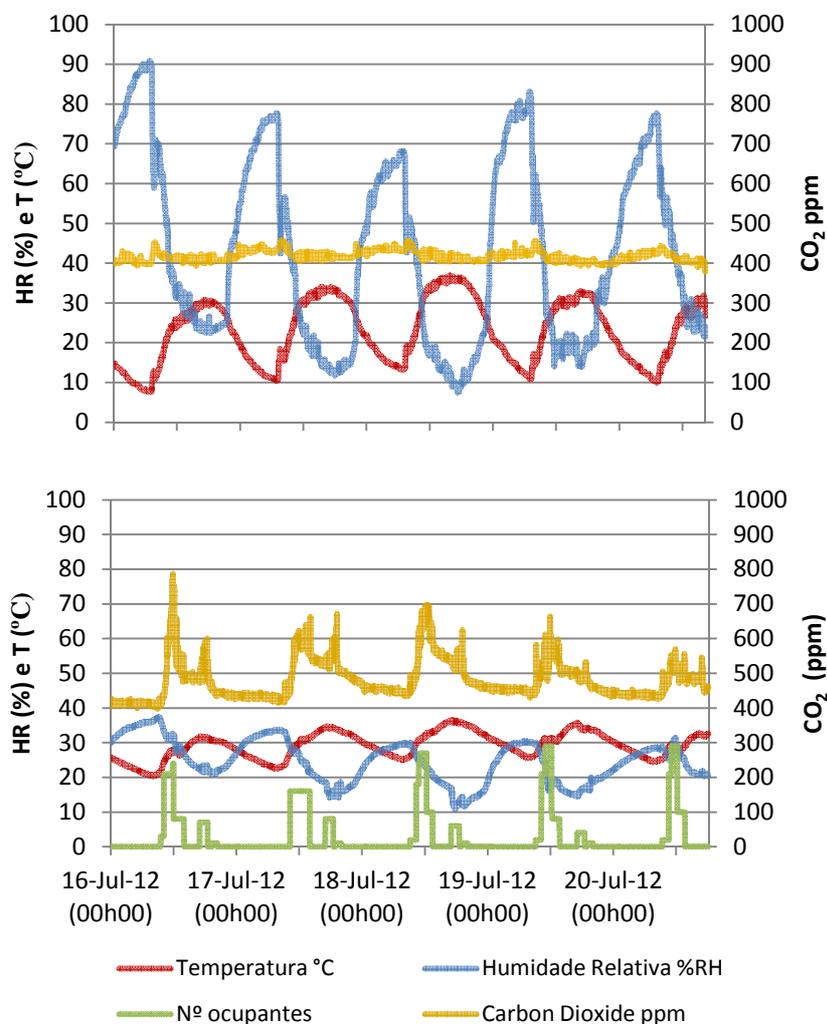


Figura 3.4- Variação da temperatura, humidade relativa e CO₂ no interior do ginásio (inferior) e no exterior (superior)

Os valores de humidade relativa inferiores a 25% provocam desconforto nos ocupantes, podendo provocar a formação de gretas e irritação nas membranas mucosas e na pele. Por sua vez, temperaturas de 27-32°C podem originar fadiga em casos de exposição prolongada e atividade física e temperaturas de 32-41 °C provocar câibras e esgotamentos (Esteves, 2012). No ginásio deverão ser tomadas medidas para garantir níveis de temperaturas confortáveis para os ocupantes, recorrendo a mecanismos de ventilação ou ao isolamento de fontes de calor, por exemplo, através de paredes ou telhados de ar, ou aplicando películas reflexivas nas janelas e claraboia.

O CO₂, no interior do ginásio, aumenta significativamente em relação ao exterior, durante os períodos de ocupação atingindo um máximo de 787 ppm, nunca excedendo os 1000 ppm recomendados pela ASHRAE. Os picos de concentração de CO₂ são coincidentes com os períodos de maior ocupação.

Na Figura 3.5 estão representadas as variações de CO e COVs no interior do ginásio e o CO no exterior. A concentração de CO no interior e exterior do ginásio apresentaram valores muito próximos do limite de deteção dos amostradores usados na sua monitorização, tendo ocorrido uma ou outra concentração mais elevada no exterior, com um máximo de 4,9 ppm. A contribuição do ar exterior por infiltração representará a principal origem de CO no interior. Os limites legais para o CO nunca foram excedidos. Os COVs estão presentes em baixas concentrações destacando-se alguns picos, coincidentes com momentos de registos e operação inerentes às amostragens junto do equipamento, podendo ter como origem o perfume de algum dos membros da equipa de amostragem.

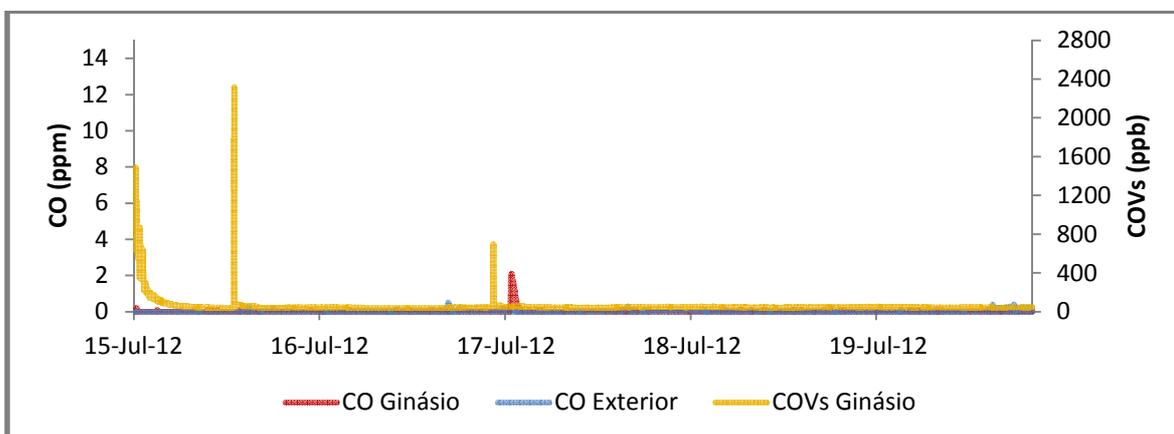


Figura 3.5- Variação das concentrações de CO e COVs no interior do ginásio e de CO no exterior durante o período de amostragem.

3.2 Taxas de ventilação

As taxas de ventilação obtidas para o *Fronton* e para o Ginásio, correspondem aos intervalos de decaimento de CO₂ do final dos dias que mais se aproximam de uma função exponencial. Durante este período no interior do ginásio, o portão esteve aberto durante cerca de uma hora correspondente ao período de limpeza, tendo sido estimado taxas de ventilação para um período de decaimento da hora de almoço em que o portão esteve fechado.

Os R_{ph} obtidos para o *Fronton* variam entre 0,8-1,0 h⁻¹ e para o ginásio entre 0,4-0,7 h⁻¹. Considerando um número máximo de ocupantes de 15 para o fronton e de 30 para o ginásio obtiveram-se caudais volúmicos de 625-880 m³ h⁻¹ por ocupante e de 60-100 m³ h⁻¹ por ocupante, respetivamente. Nas duas instalações desportivas os valores obtidos foram largamente superiores ao caudal mínimo de ar novo de 35 m³ h⁻¹ por ocupante exigido por exemplo pelo RSECE para ginásios. A determinação das taxas de ventilação para o ginásio foi efetuada estando o portão aberto como esteve nos períodos de maior ocupação, correspondendo a períodos de maior ventilação natural. A taxa de ventilação obtida para períodos em que o portão esteve fechado decaiu para 40 m³ h⁻¹ por ocupante, correspondente a um R_{ph} de 0,3 h⁻¹.

Ao considerar a área superficial dos edifícios foram estimados caudais de 3,5-5 dm³ s⁻¹ m⁻² para o fronton e de 1,3-2,9 dm³ s⁻¹ m⁻² para o ginásio. Estes valores são superiores ao caudal mínimo de 0,55 dm³ s⁻¹ m⁻² estipulado pelo RITE para ginásios e locais de prática desportiva exceto piscinas (IDA3), referente a locais de ocupação não permanente. Para o ginásio com o portão fechado os valores rondaram os 0,9 dm³ s⁻¹ por m². Segundo a ASHRAE a taxa de ventilação mínima recomendada para uma QAI aceitável em arenas desportivas, estádios e ginásios é de 1,5 dm³ s⁻¹ m⁻² e para centros de ginástica e salas de aeróbica é de 0,3 dm³ s⁻¹ m⁻². As duas instalações de um modo geral excedem estes valores.

A dificuldade de se verificarem na prática os pressupostos considerados no cálculo das taxas de ventilação pela técnica de decaimento introduz alguma incerteza nos valores obtidos. Nas duas instalações os ocupantes não abandonavam os espaços em simultâneo ficando elementos da equipa de amostragem ou o funcionário da limpeza (no caso do ginásio) até mais tarde, interferindo no pressuposto de aplicação das curvas de decaimento utilizadas. Em (Persily,1996) foi verificado, nestas condições, um decaimento de CO₂ inferior ao obtido quando todos os ocupantes abandonavam o espaço em simultâneo. Durante a campanha de amostragem nos períodos de ocupação foram registadas diferenças significativas na temperatura entre o interior e exterior do fronton, com cerca de menos 8 a 10 °C no interior, enquanto para o ginásio as diferenças foram apenas de 1-2°C. Na técnica de decaimento é assumido que as temperaturas interiores e exteriores são idênticas, não variando ao longo do tempo. Por outro lado, na determinação das taxas de ventilação é assumido que existe uma homogeneização completa em toda a zona ventilada. No caso de espaços com ventilação natural e pé-direito até 2,5 m esta hipótese pode considerar-se como válida, em virtude da homogeneização do ar interior ser na

realidade quase completa, mas no caso de instalações com alturas superiores tal pode não se verificar, devido à estratificação da temperatura do ar e conseqüentemente do gás traçador (Raatschen, 1991). Tanto o fronton como o ginásio são edifícios altos com cerca de 17 e 11 metros, respectivamente.

Esta técnica assenta no conceito de espaço de zona única, definido pela norma E741, como espaços onde a concentração de gás traçador é uniforme e em que a troca de ar é feita exclusivamente com o exterior. Se o espaço em estudo estiver integrado num edifício com acesso a outros compartimentos interiores não é possível saber se o gás traçador é diluído pelo ar exterior ou por ar proveniente de um espaço interior adjacente (Raatschen, 1991). O ginásio está integrado num edifício, tendo ligações com o exterior e o interior sendo mais crítico neste aspeto, o fronton é um edifício único apresentando somente ligações com o exterior.

Todos os aspectos anteriormente citados introduzem incertezas nos valores das taxas de ventilação obtidas, contudo as informações recolhidas apontam para taxas de ventilação adequadas para os dois espaços e os valores apresentados devem ser entendidos apenas como indicadores.

3.3 COVs, Carbonilos e NO₂

Os resultados das medições de COVs, Carbonilos e NO₂ amostrados por difusores passivos, no *fronton*, no ginásio e no exterior, são analisados por composto, de modo a facilitar a sua discussão. As análises destes compostos tiveram lugar logo após o término da campanha, tal como é recomendado pelos métodos usados, tendo sido realizadas por outros elementos da equipe de investigação envolvidos na campanha. O tratamento de dados já ocorreu no âmbito do presente trabalho.

3.3.1 COVs

As concentrações médias dos COVs encontrados nas duas instalações desportivas e simultaneamente no exterior estão compilados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1- Concentrações de Compostos Orgânicos Voláteis ($\mu\text{g m}^{-3}$)

COVs	Fronton		Ginásio	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior
Metanol	<l.d.	16.4±3.0	0.33±1.06	<l.d.
Acetona	2.85±0.43	207±10.9	23.5±1.94	3.41±0.51
Pentano	0.90±0.13	103±5.44	0.87±0.10	1.05±0.08
Dicloro- metano	5.30±3.11	24.1±4.03	2.24±0.21	4.39±0.50
n-Hexano	0.44±0.07	19.9±0.97	0.81±0.15	0.50±0.03
Benzeno	0.58±0.13	8.71±0.44	0.71±0.02	0.58±0.09
n-Heptano	0.96±0.36	7.23±0.16	1.43±0.08	1.26±0.11
Tolueno	0.94±0.22	97.2±3.48	1.53±0.08	1.50±0.03
Etilbenzeno	0.55±0.64	14.1±0.52	<l.d.	0.98±0.10
n-Nonano	<l.d.	7.79±0.40	<l.d.	<l.d.
n-Decano	<l.d.	24.4±0.55	0.59±1.18	<l.d.

l.d. – limite de deteção

No *fronton* para os vários tipos de COVs, foram encontrados rácios I/E até 0,22, sugerindo que as baixas concentrações presentes no interior, tenham como origem infiltrações de ar exterior. Durante o período de amostragem do *fonton*, foram obtidas elevadas concentrações de COVs no exterior, provavelmente associadas a atividades de higienização, limpeza e manutenção, comuns no final do ano letivo que foram realizadas num edifício próximo do local de amostragem exterior. A aplicação de ceras de proteção e produtos de branqueamento na superfície dos pavimentos foram algumas das atividades realizadas. As saídas de ar do edifício situavam-se a poucos metros do local de amostragem, sendo a causa provável dos elevados níveis encontrados. Todos os compostos orgânicos identificados e quantificados no *fronton* apresentaram concentrações menores do que as registadas no exterior em igual período.

No interior do ginásio, a acetona apresenta um rácio de I/E de 7, indicando a presença de fontes interiores com forte contributo na emissão deste composto. A acetona pode ser emitida por solventes de tintas, vernizes, ceras, detergentes, produtos de limpeza, cosméticos e algumas colas. A entrada e acumulação de COVs de origem exterior contribuem para o aumento das concentrações, em espaços interiores. A amplitude dos rácios I/E permite identificar se as fontes predominantes de emissões se encontram no interior ou exterior do edifício. No interior do ginásio destacam-se o hexano (I/E=1,60), o benzeno (I/E= 1,22) e o heptano (I/E=1,13), também presentes em produtos de limpeza, tendo sido detetados em concentrações superiores no interior do edifício em comparação às observadas no exterior para igual período.

3.3.2 Carbonilos

Na análise aos carbonilos foram identificados vários compostos presentes no interior e exterior das duas instalações, estando as suas concentrações médias representadas na Figura 3.6. Os rácios I/E dos compostos variam entre 1,5 e 5, apontando a existência de fontes de emissão interiores.

Os compostos de carbonilo mais abundantes no *fronton* e no ginásio foram o butilaldeído e a acroleína. O butilaldeído não tem limite de exposição ocupacional estabelecido. A acroleína foi identificada pela EPA como um dos 188 poluentes do ar mais perigosos, sendo tóxica para o sistema respiratório. Este composto, comum em ambientes interior e exterior, é um aldeído volátil e insaturado. As principais fontes de acroleína conhecidas são o aquecimento de óleos de cozinha, fumo de tabaco, incensos, velas e lareira (Seaman *et al.*, 2007), no entanto estas fontes parecem improváveis no caso das duas instalações desportivas. A formação de acroleína por oxidação de COVs libertados por revestimentos, materiais de construção, tapetes, acabamentos de madeira, colas, adesivos e tintas foi apontado como um provável mecanismo que justifique a presença de acroleína em muitos ambientes interiores (Seaman *et al.*, 2007). A agência de proteção ambiental da Califórnia adotou como nível de exposição de referência para minimizar o surgimento de cancro, a concentração de $0,19 \mu\text{g m}^{-3}$ e de $0,06 \mu\text{g m}^{-3}$ para doenças crónicas, sendo qualquer um destes valores largamente superados no *fronton* e no ginásio.

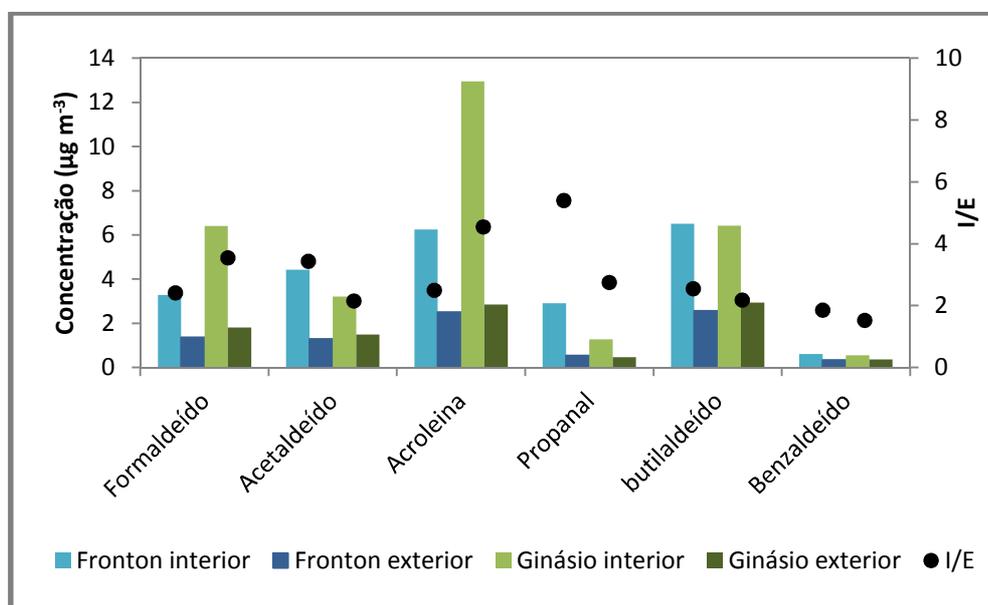


Figura 3.6- Concentrações médias de compostos de carbonilo

As concentrações de formaldeído, nas duas instalações desportivas, são relativamente baixas, comparadas com valores presentes em outros ambientes interiores, mas em ambos os

locais interiores superiores às concentrações no exterior para períodos homólogos. O formaldeído é um dos compostos mais importantes em termos de qualidade do ar interior devido aos seus efeitos nocivos na saúde e por se encontrar muitas vezes presentes em altas concentrações, fruto das inúmeras fontes que podem estar presentes no interior. As fontes de formaldeído estão associados aos aglomerados de madeira e outros produtos contendo resinas à base de ureia-formaldeído, a alguns materiais de acabamento, ao fumo do tabaco e a outros processos de combustão. Na primavera e no verão, os níveis de formaldeído no exterior aumentam devido à aceleração da atividade fotoquímica. De igual modo as fontes interiores também podem ser intensificadas nos mesmos períodos devido ao papel exercido pela temperatura sobre a pressão de vapor que afeta a taxa de volatilização. Num estudo recente concluiu-se que indivíduos suscetíveis de apresentar sintomas de irritação e cancro estariam protegidos para concentrações interiores de formaldeído inferiores a $132 \mu\text{g m}^{-3}$ (Golden, 2011). As concentrações de formaldeído registados no *fronton* e no ginásio foram muito inferiores aos valores atrás citados. Apesar das concentrações de formaldeído serem baixas, acusam a contribuição de fonte(s) interior(es).

3.3.3 NO₂

Os valores médios de concentração de NO₂ no *fronton*, no ginásio e no exterior para os respetivos períodos de amostragem estão apresentados na Figura 3.7.

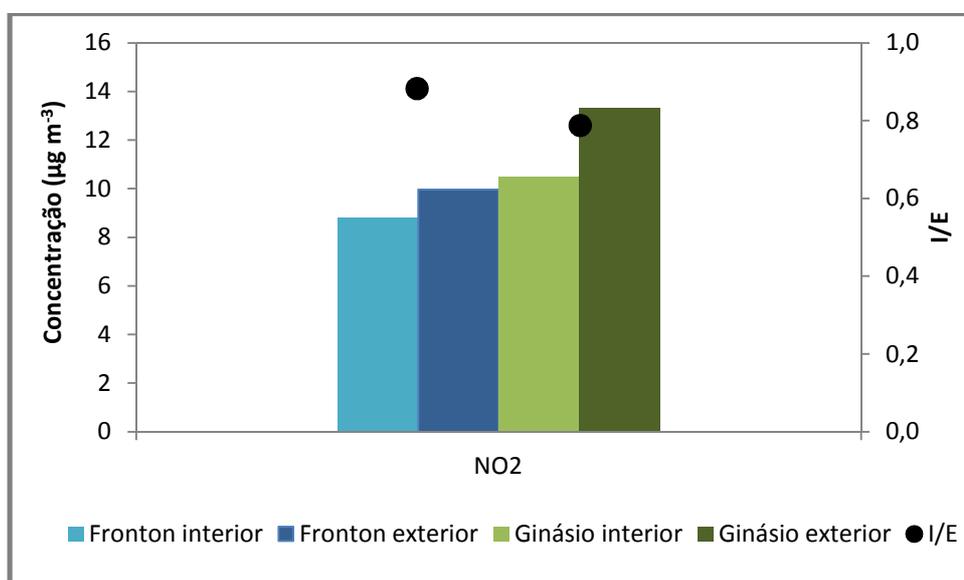


Figura 3.7- Concentrações médias de dióxido de azoto

As concentrações médias de NO₂ no interior do *fronton* e do ginásio foram de 8,8 e 10,5 $\mu\text{g m}^{-3}$, respetivamente. No exterior os valores foram superiores, resultando provavelmente da influência de emissões de tráfego automóvel nas proximidades, fonte característica deste

poluente. Os rácios I/E foram de 0,88 para o *fronton* e 0,79 para o ginásio. Os dois espaços desportivos apresentaram valores de NO₂ inferiores a 40 µg m⁻³ (média anual), valor recomendado pela OMS, para a proteção da saúde pública e as concentrações no interior devem-se essencialmente a infiltração do ar exterior.

3.4 Partículas

O contaminante PM₁₀ foi avaliado em termos da concentração mássica, método gravimétrico, e em termos da sua composição, fração inorgânica solúvel e fração carbonosa (OC, EC e carbonatos), dando a conhecer parte da sua composição química e informações sobre as suas origens. De igual modo foi analisada a distribuição das partículas por classe de tamanho, num total de 32 classes. A apresentação dos resultados é subdividida em massa de PM₁₀, carbono orgânico e elementar, e em iões inorgânicos solúveis (carbonato, cloro, nitrato, fosfato, sulfato, sódio, amónia, potássio, magnésio e cálcio). Depois desta análise são apresentados os dados obtidos em contínuo, da concentração numérica de partículas e das distribuições de partículas por tamanhos em número, superfície e volume, para um dia representativo do *fronton* e do ginásio. Para o tratamento de resultados das distribuições por tamanho foram determinados os índices de refração complexivos, tendo por base a composição química média das partículas em cada tipo de ambiente (*fronton*, ginásio e exterior).

3.4.1 Massa PM₁₀

Na Figura 3.8 estão apresentadas as concentrações médias de PM₁₀ obtidas nos dias com atividades e ao fim-de-semana, para o *fronton* e ginásio, e respetivas concentrações médias obtidas em paralelo, no exterior. Convém lembrar que as concentrações de PM₁₀ para o *fronton* corresponde a uma amostragem cumulativa de dois dias durante os períodos com atividade, enquanto para o ginásio se usou períodos de amostragem menores, correspondente ao período de atividade de apenas um dia, dado que era espectável, face à avaliação visual prévia, que neste ambiente as concentrações de PM₁₀ fossem bem mais elevadas como se veio a verificar.

No interior do *fronton*, durante os dias com atividades as concentrações de PM₁₀ variaram entre 32 e 36 µg m⁻³, decrescendo para uma média de 11 µg m⁻³, durante o fim-de-semana. As concentrações obtidas no exterior foram cerca de duas vezes inferiores durante os períodos com atividade, com uma razão I/E de 1,81, enquanto no fim-de-semana, na ausência de atividade, a razão foi próxima de 1.

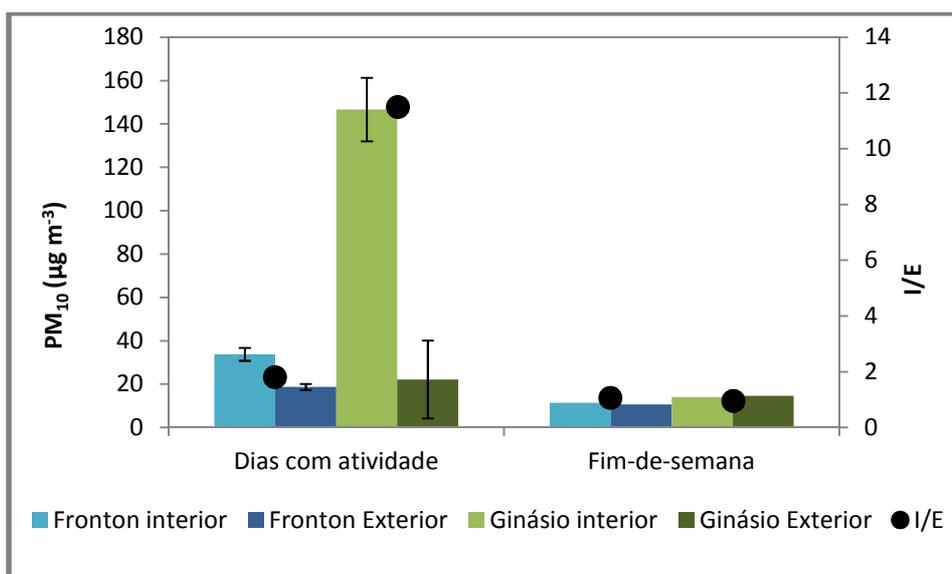


Figura 3.8- Concentrações médias de PM₁₀ no fronton e no ginásio

No ginásio, para os dias com atividades foram registrados elevadas concentrações de PM₁₀, entre 128 e 166 µg m⁻³. No fim-de-semana a concentração no interior do ginásio desceu para os 14 µg m⁻³ valor este da mesma ordem de grandeza das concentrações observadas durante toda a semana no exterior: Na Figura 3.9 apresentam-se as concentrações no interior e exterior do ginásio ao longo da semana. As razões I/E para este espaço variaram de 2,9 a 22,5, o que evidencia a elevada contribuição de fontes interiores para as concentrações de PM₁₀ observadas. Em vários dias no ginásio foram registadas concentrações superiores a 150 µg m⁻³, valor este usado, por vários departamentos públicos de saúde nos EUA, como valor guia (média diária) a não ser excedido. Este valor também é usado como concentração máxima de referência em Portugal, para ambientes interiores, de acordo com o DL n.º 79/2006 para a QAI em edifícios públicos. As elevadas concentrações de PM₁₀ no ginásio encontrarão em parte explicação no tipo de atividade física praticada e equipamentos e materiais a ela associada. Por exemplo o uso de pó de magnésia pelos praticantes de aparelhos como barras assimétricas, paralelas, cavalo, etc., assim como elementos de proteção e segurança como colchões e espumas, que facilmente acumulam pó, serão um bom exemplo. A ressuspensão de partículas e degradação dos materiais representarão uma fonte adicional relevante, tanto no ginásio como no *fronton*.

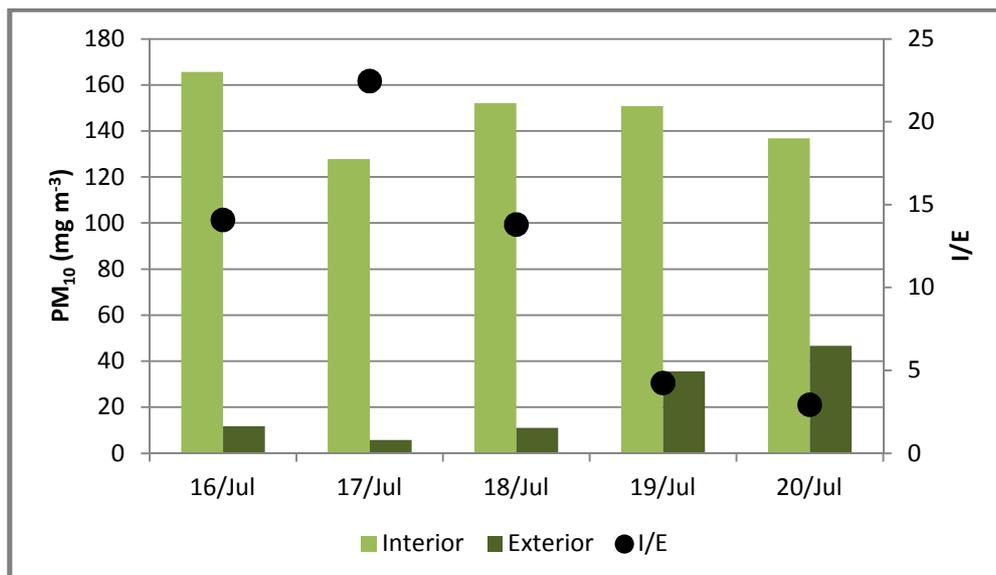


Figura 3.9- Variação de PM₁₀ no ginásio

Os valores recomendados para PM₁₀ variam entre 20 e 150 $\mu\text{g m}^{-3}$, dependendo das organizações e do período temporal (WHO, EPA, RSECE, RITE). Em termos de locais de trabalho as concentrações de PM totais ou PM₁₀ são bem mais elevadas, mas por outro lado aplicados a tempo de exposição menor (ACCIH, INSHT). A Administração Regional Especial de Hong Kong por exemplo usa o valor de 20 $\mu\text{g m}^{-3}$ (média de 8 horas) para classificar o ambiente interior com nível de excelente e de 180 $\mu\text{g m}^{-3}$ (média de 8 horas) para nível bom. Tendo em consideração os valores observados no ginásio, constata-se que os diferentes ocupantes/praticantes, neste local, estão sujeitos a um potencial risco da sua saúde.

A análise da constituição química das partículas e das distribuições por tamanhos, apresentadas de seguida, procurarão esclarecer e consolidar interpretações anteriormente apresentadas responsáveis pelos níveis de PM₁₀ observados nas duas tipologias desportivas.

3.4.2 Composição Química

3.4.2.1 TC, OC e EC

O carbono total, considerado o somatório de OC com EC, representa cerca de 30% das PM_{10} no interior das duas instalações. Durante o fim-de-semana, no *fronton*, o valor de TC decresce para valores próximos dos observados no exterior, de 17-20%. O rácio I/E de 2,7 aponta para a existência de possíveis fontes interiores de material carbonoso. No interior do ginásio as concentrações de TC foram relativamente constantes, apresentando um valor médio de $38 \mu g m^{-3}$ durante o período de atividades e de $5,3 \mu g m^{-3}$ durante o fim-de-semana.

Os resultados da análise do carbono orgânico revelam uma maior contribuição de OC para a concentração de PM_{10} nos dois espaços interiores, como pode ser observado na Figura 3.10, com exceção de alguns dias no ginásio. O *fronton* apresenta uma percentagem de OC nas PM_{10} , de 23,4% durante os dias de atividade, valor superior aos observados no fim-de-semana e no exterior (14-17%) que são semelhantes. No ginásio as diferenças observadas nos dias úteis e no fim-de-semana na contribuição de OC para a massa de PM_{10} são semelhantes às variações ocorridas para o exterior nos mesmos períodos, pese embora as maiores concentrações quer de PM_{10} quer de OC no interior do ginásio ocorrerem durante a semana. O rácio I/E para OC durante o período de atividades no ginásio varia entre 6,6 e 12,4. Ao fim de semana, apesar da concentração de PM_{10} no ginásio ser até ligeiramente inferior à observada no exterior, a % de OC é cerca de 3% mais elevada no interior em relação ao exterior.

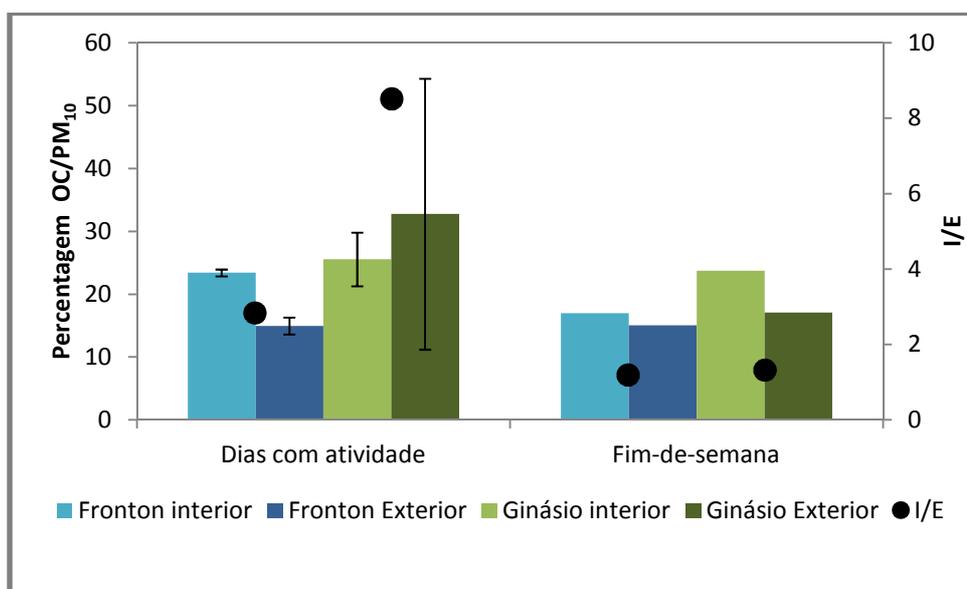


Figura 3.10- Fração mássica de Carbono Orgânico nas PM_{10}

As percentagens de carbono elementar nas PM_{10} foram muito inferiores, às de carbono orgânico (Figura 3.11). Para qualquer dia da semana foi encontrado um rácio OC/EC de cerca de 6 para o *fronton* e uma média de 72 para o período de atividades do ginásio. No exterior os rácios OC/EC variaram entre 4 e 10.

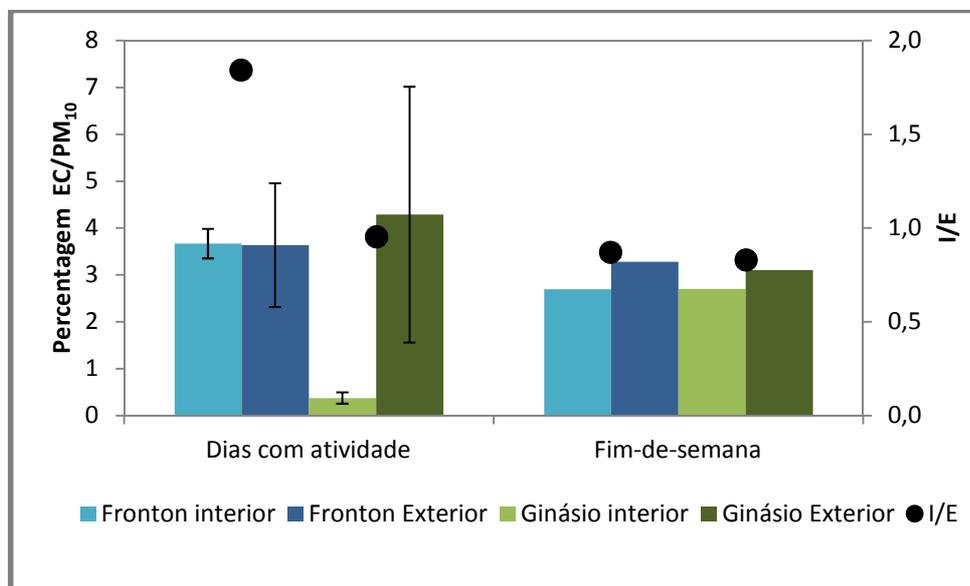


Figura 3.11- Fração mássica de carbono elementar nas PM_{10}

As frações de EC nas PM_{10} observadas no *fronton* e exterior, durante a semana foram relativamente constantes, variando entre 2,5 e 5%. Durante os dias de atividade foram registadas concentrações superiores no interior do *fronton* de $1,2 \mu\text{g m}^{-3}$, comparadas com as observadas no exterior de $0,53\text{-}0,81 \mu\text{g m}^{-3}$. O rácio I/E de 1,5-2,3 aponta para a presença de fontes interiores. A fonte provável de emissão de EC, característico de processos de combustão, foi a presença do trator de cortar relva, estacionado num canto do *fronton* e as suas deslocações de entrada e saída do espaço. Estas observações estão em linha com o que foi analisado para o monóxido de carbono. No ginásio a percentagem de EC nas PM_{10} , desce para valores inferiores a 0,6%. Este baixo valor é justificado pelo aumento das concentrações de material inorgânico e orgânico, durante o período de atividades do ginásio. No exterior e fim-de-semana no ginásio a percentagem de EC nas PM_{10} varia entre 1,4 e 7,5%.

3.4.2.2 Iões inorgânicos solúveis

Na Figura 3.12 apresenta-se a percentagem mássica dos iões solúveis em água nos diferentes espaços, interior e exterior, nas PM_{10} .

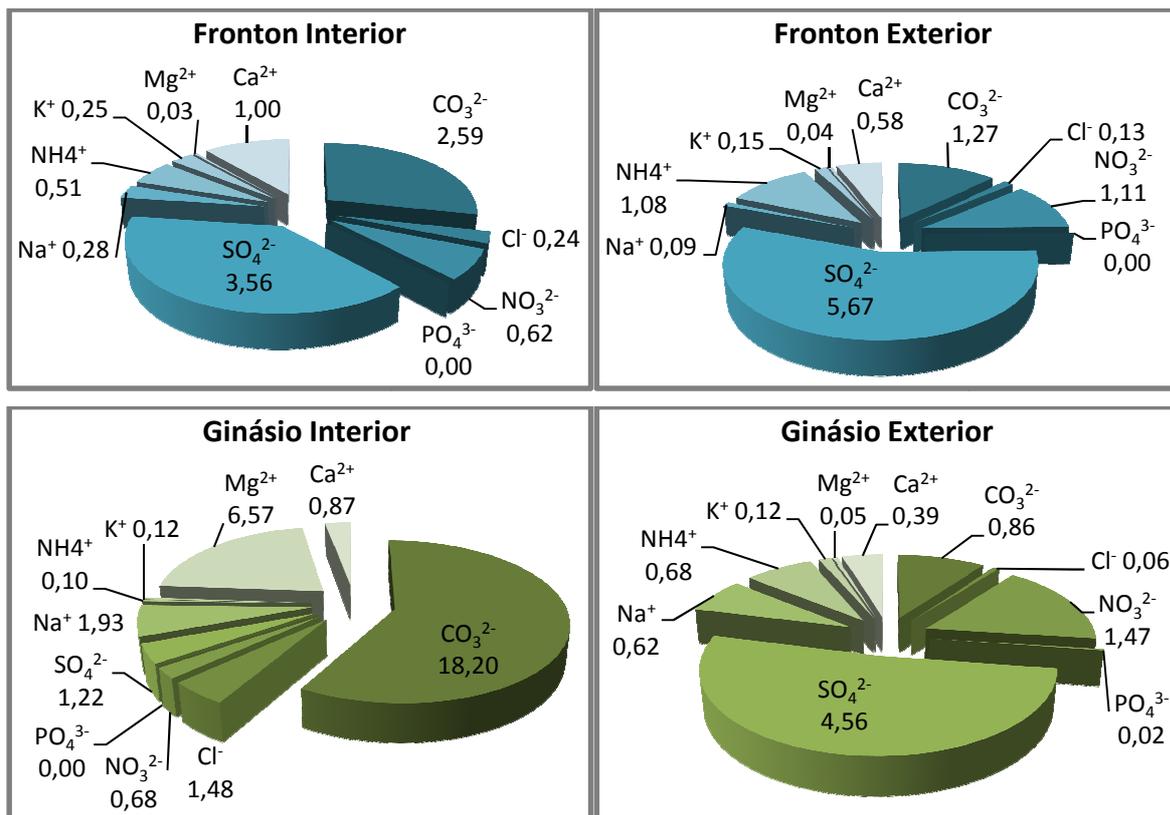


Figura 3.12-Percentagem mássica de iões solúveis nas PM₁₀

No *fronton*, a percentagem mássica de iões solúveis inorgânicos e carbonato corresponde a uma média de 9% das PM₁₀. Os iões predominantes nestas partículas são sulfato, carbonato, cálcio e amónia, mas em concentrações reduzidas, como pode ser observado na Figura 3.13).

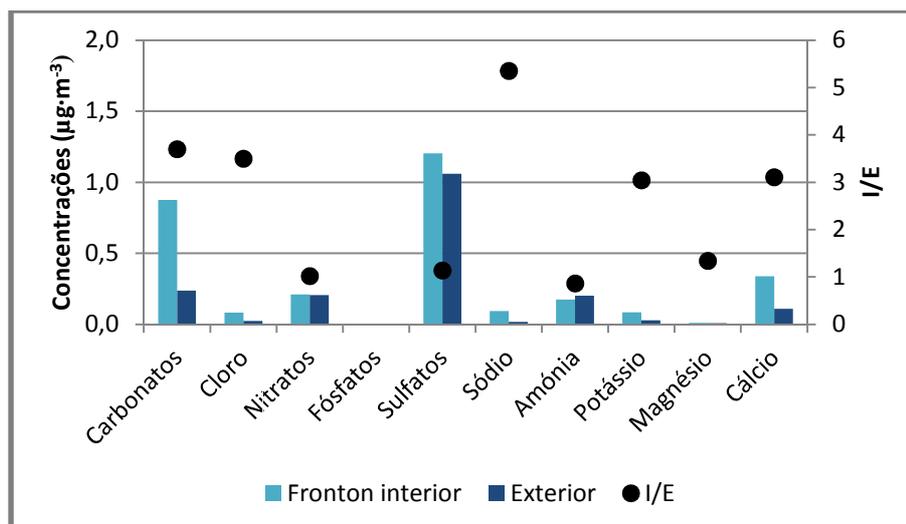


Figura 3.13- Concentração de iões solúveis nas PM₁₀, do fronton

No ginásio por sua vez os iões representam uma média de 27 % nas PM₁₀, sendo o carbonato (CO₃²⁻) e o magnésio (Mg²⁺) os iões presentes em maior abundância, como pode ser observado na Figura 3.14.

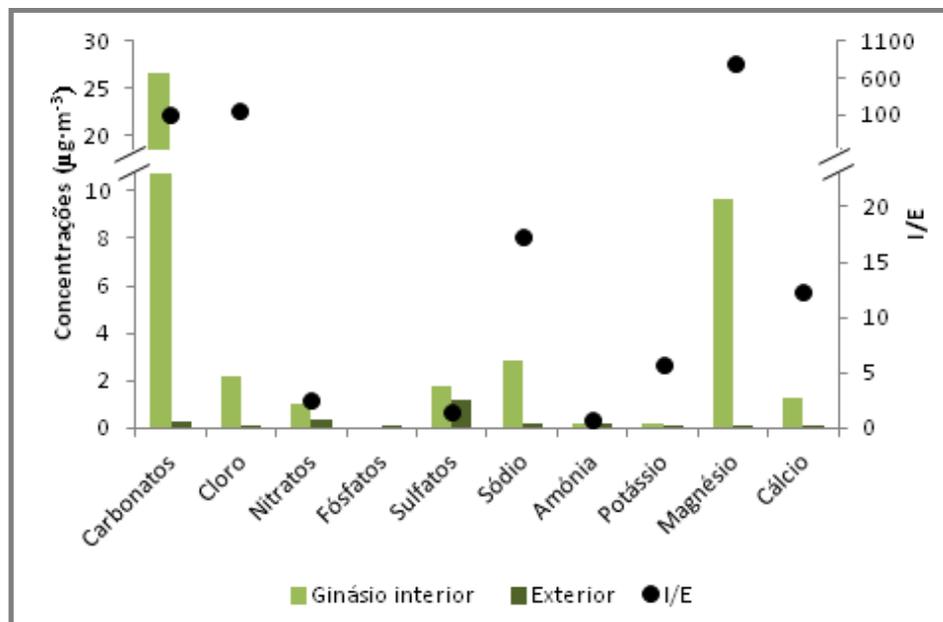


Figura 3.14- Contrações de iões solúveis nas PM₁₀ do ginásio

Estes resultados confirmam a magnésia alba utilizada no ginásio pelos atletas, como grande fonte de partículas, neste ambiente. A magnésia alba é maioritariamente constituída por carbonato de magnésio (MgCO₃) e apresenta também vestígios de carbonatos ligados a cálcio e sódio. A análise efetuada a uma amostra de magnésia usada no ginásio acusou que em termos de massa de catiões era formada por Mg²⁺ (95,9%), Ca²⁺ (3,3%), Na⁺ (0,4%) e K⁺ (0,1%). As concentrações de carbonatos no interior do ginásio foram cerca de 128 vezes superiores às concentrações verificadas no exterior, apresentando concentrações médias de 32±9,4 µg m⁻³. No fronton as concentrações foram muito inferiores, rondando os 2,6 µg m⁻³. A forte natureza alcalina da magnésia pode ainda contribuir para a absorção de CO₂ presente no ar formando mais carbonatos. A magnésia também é responsável pelas elevadas concentrações de Mg²⁺, de 4,7±0,89 µg m⁻³ e possivelmente por algum sódio e cálcio identificados em concentrações vestigiais, numa análise efetuada ao pó. O aumento das concentrações de Na particulado no interior, assim como de cloreto, também podem ter como fonte a transpiração dos ocupantes. O Na e Cl apresentam um rácio I/E de 22,3 e 39,2, respetivamente. O cloreto de sódio é o principal sal presente no suor humano que é composto principalmente de água, com diversos sais e compostos orgânicos em solução. Para além da magnésia, o CaCO₃ presente na crosta terrestre pode ser transportado para o interior do ginásio ou estar ligado aos materiais de construção, podendo contribuir para as concentrações destes iões. A existência de vários sais de carbonatos

no interior do ginásio é reforçada pelas elevadas correlações entre CO_3^{2-} e Mg^{2+} ($r^2=0,99$), Na^+ ($r^2=0,82$) e Ca^{2+} ($r^2=0,78$), apontando o uso de magnésia como a principal fonte interior de PM_{10} . Considerando que o carbonato e magnésio quantificados nas PM_{10} do ginásio provêm apenas da magnésia, esta representará cerca de 25 % da massa de partículas.

Quanto aos efeitos de exposição à magnésia Alba, nada sabemos até ao momento. O material mais semelhante em termos de constituição química é o MgCO_3 que apesar de não apresentar propriedades cancerígenas (Weinbruch *et al.*, 2008) pode estar na origem de tosse, respiração ofegante e aperto no peito (Majumdar e William, 2009). Uma exposição prolongada pode desencadear ou agravar problemas respiratórios. Uma possível medida eficaz e de baixo custo, passa pela substituição de pó de magnésio por um líquido para o mesmo efeito, eliminando esta fonte de emissão interna (Weinbruch *et al.*, 2012).

3.4.2.3 Mineralogia

Como a finalidade de conhecer a morfologia e composição mineralógica das partículas e assim conseguir uma caracterização mais completa das mesmas, foram colhidas várias amostras PM_{10} utilizando filtros de policarbonato de $0,2 \mu\text{m}$ de tamanho de poro em cada um dos espaços desportivos e exterior. A amostragem foi efetuada com um amostrador sequencial modelo Gent (Hopke *et al.*, 1997) a um caudal de $12,4 \pm 0,3 \text{ L min}^{-1}$ à pressão e temperatura ambiente. As amostras de PM_{10} foram enviadas para o laboratório CIEMAT (<http://www.ciemat.es/>) para análise da morfologia e da composição mineralógica das partículas por microscopia eletrónica de varrimento. Detalhes da técnica e equipamento de análise podem ser consultados em Jeol (2013). Aqui apresenta-se apenas a informação geral sobre a composição mineralógica das partículas PM_{10} colhidas no ginásio a qual vem confirmar as análises químicas já apresentada e discutida anteriormente, com especial destaque para as partículas de magnésia.



Figura 3.15- (esquerda-centro) partículas de magnésia, (direita) partícula de magnésia recristalizada com microcristais de haletos. As partículas do fundo foram ensombrecidas com um filtro escuro.

A análise microscópica mostrou que no interior do ginásio predomina a fração mineral especialmente óxidos de Magnésio e carbonato de magnésio (muito provavelmente na forma de

magnesite, $MgCO_3$, haletos metálicos e do tipo NaCl e KCl que tendem a formar microcristais na superfície da magnésia e das argilas). Na fração submicrométrica predomina a fuligem (agregados de carbono principalmente elementar e estrutura gráfica produto de combustão), juntamente com partículas orgânicas e sais.

Esta análise permitiu obter mais informações sobre as características das partículas e fundamentar os pressupostos assumidos para o tratamento de dados da distribuição por tamanhos obtidos com a PCASP-X.

3.4.4 Distribuições por tamanho

Para determinar as distribuições de partículas por tamanho, foi necessário obter primeiramente os índices de refração representativos da constituição das partículas dos vários espaços amostrados. Posteriormente foi efetuada uma análise em termos de distribuição do número de partículas total ao longo de um dia característico do *fronton* e do ginásio, seguida de uma análise em termos de distribuição por tamanho, do número de partículas, superfície e volume, com aproximação à distribuição lognormal e obtenção dos seus parâmetros característicos.

3.4.4.1 Índice de refração

Este índice foi calculado a partir do conhecimento da composição química do material particulado tal como foi apresentado no capítulo 2 (cap. 2.4.5.1). Em termos de constituição química (Figura 3.16), foi admitido que a massa de PM_{10} obtida por gravimetria representaria 100% do material particulado, a fração EC corresponde à massa determinada no termo-ótico e a fração de MOP (matéria orgânica particulada) à massa de OC multiplicada pelo fator de 1.4. A fração iónica é resultado do somatório da massa de todos os iões analisados (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , CO_3^{2-} , Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} e SO_4^{2-}). Para o interior do ginásio, tendo em conta os elevados níveis de magnésio e carbonatos obtidos, resultantes maioritariamente do pó de magnésia e o baixo produto de solubilidade deste composto, com $K_{sp}=3,5 \times 10^{-8}$, para uma temperatura de 25°C (Skoog *et al.*, 1996), admitiu-se que o volume de extração poderia não ter sido suficiente para dissolver a totalidade do magnésio presente nas amostras, existindo uma fração de magnésio insolúvel associada aos carbonatos excedentes no balanço iónico. O magnésio insolúvel representaria 3,86% das PM_{10} , sendo somado aos restantes iões contribuindo para um valor total de 30,87%. Esta aproximação é contudo discutível, uma vez que o carbonato pode estar presente noutras formas. A restante fração de PM_{10} não determinada (n.d) foi considerada material mineral. Como a composição química das partículas do interior do *fronton* e do exterior foi semelhante, foi utilizado o mesmo índice de refração, para estes espaços. Para o ginásio foi necessário calcular o respetivo índice de refração.

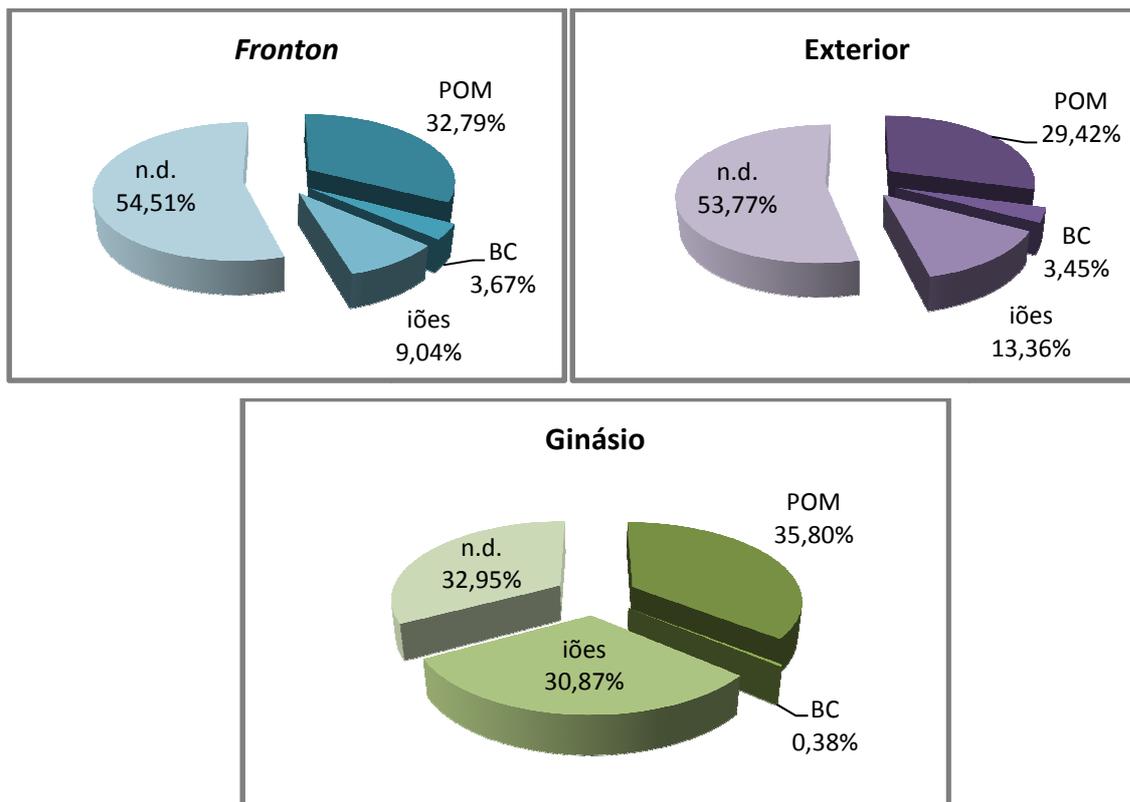


Figura 3.16- Percentagem média dos vários constituintes determinados nas PM₁₀

Para a determinação do índice *fronton/externo* foram considerados os dados obtidos no exterior durante as duas semanas em que decorreu a campanha de amostragem. Com o intuito de clarificar o conhecimento sobre os sais presentes nos aerossóis, correspondentes à associação dos iões quantificados, foram efetuados balanços iónicos, correlações entre os vários iões e uma pesquisa referente aos sais característicos do aerossol atmosférico. Uma vez que esta análise não permitiu obter resultados claros, dos sais presentes nos ambientes amostrados, também devido à variabilidade existente entre os vários dias e tendo em consideração o grau de incerteza associado a determinação do índice de refração, foi considerado que o sal predominante representaria toda a percentagem dos iões. Para o índice *fronton/externo* foi considerado um sal característico do aerossol atmosférico, o $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, devido ao peso do NH_4^+ e do SO_4^{2-} na massa iónica e à boa correlação ($r^2=0,97$) verificada entre estes iões.

Para o índice do ginásio, foi admitido que o pó de magnésia (MgCO_3) representaria toda a percentagem dos iões, dado o seu elevado contributo na fração de iões e a boa correlação entre o Mg^{2+} e o CO_3^{2-} ($r^2=0,99$). Para os dois índices de refração foi considerado que a matéria mineral (n.d.), seria principalmente constituída por silicatos.

De seguida são apresentados nas tabelas 3.2 e 3.3 os resultados dos parâmetros obtidos para o cálculo do índice de refração *fronton/externo* e do ginásio, respetivamente.

Tabela 3.2 - Parâmetros usados para o cálculo do índice de refração fronton/externo.

	%mássica	n_i	k_i	ρ_i (g cm ⁻³)
%EC	3,45	1,80	0,54	1,5
%POM	29,42	1,55	0,001	1,4
%(NH ₄) ₂ SO ₄	13,36	1,523	0	1,769
% Silicatos	53,77	1,530	0	2,6

Tabela 3.3- Parâmetros usados para o cálculo do índice de refração do ginásio

	%mássica	n_i	k_i	ρ_i (g cm ⁻³)
%EC	0,38	1,8	0,54	1,5
%POM	35,80	1,55	0,001	1,4
%MgCO ₃	30,87	1,7	0	3,037
%Silicatos	32,95	1,53	0	2,6

Recordamos que o índice de refração é constituído por uma parte real (n_i) e uma parte imaginária (k_i), estando mais informações sobre esta metodologia, bem como sobre os índices de refração e densidades utilizadas, descritas no capítulo 2 (cap. 2.4.5.1).

Para o *fronton/externo* foi obtido o índice 1,549-0,025i e para o ginásio o índice 1,577-0,003i. Comparando o índice *fronton/externo* com os índices compilados na Tabela 3.4, referentes a estudos em áreas geográficas próximas, verificamos que o valor determinado está situado entre os índices de áreas rurais e urbanas para uma humidade relativa (HR) de 50%, como seria de esperar, uma vez que o presente estudo está inserido numa zona suburbana. O índice *fronton/externo* também é concordante com o intervalo referente a zonas suburbanas, descrito no estudo de Granada.

Tabela 3.4- Comparação de índices de refração

Local	Tipo	n_{eff}	k_{eff}	HR (%)	Referência
Léon	Urbano	1,56	0,087	50	(Castro <i>et al.</i> , 2010)
Léon	Urbano	1,384	0,0194	90	(Castro <i>et al.</i> , 2010)
Léon	Rural	1,52	0,00626	50	(Alonso-Blanco <i>et al.</i> , 2012)
Léon	Rural	1,399	0,00222	90	(Alonso-Blanco <i>et al.</i> , 2012)
Granada	Suburbano	1,45-1,55	0,005-0,5	-	(Alados-arboledas <i>et al.</i> , 2003)

Quanto ao índice de refração obtido para o ginásio, devido às características específicas em termos de constituição química do aerossol e à escassez de estudos neste tipo de instalações, não foram encontrados índices de refração comparáveis, salientando a importância de nestes casos se determinar um índice complexo adequado à constituição química, das partículas em estudo. Contudo, considerando o significado das componentes do índice de refração, o valor de 1,577 correspondente à parte real revela um efeito de *scattering* mais intenso, justificado pelo forte

contributo da magnésia ($MgCO_3$). O valor de 0,003i para a parte imaginária, revela um menor efeito de absorção associado à baixa presença de carbono elementar (EC), no aerossol do interior do ginásio.

Os índices de refração determinados quer para o *fronton*/exterior, quer para o ginásio são contudo meras estimativas com incertezas associadas a diversas interferências e à dificuldade de utilizar parâmetros mais adequados devido às lacunas de dados e estudos disponíveis nesta área.

Para cada um dos índices de refração obtidos foram determinados os intervalos de tamanho, correspondentes às 32 classes da PCASP-X, através da teoria de Mie, implementada com recurso a um programa desenvolvido Bohren e Huffman (1983). Posteriormente estes dados foram utilizados para a correção das distribuições por tamanho, de acordo com o local de amostragem (o índice *fronton*/exterior para os dados do *fronton* e do exterior, e o índice do ginásio para os dados do interior do ginásio), como o próprio nome sugere. Na Tabela 3.5 são apresentados os intervalos de tamanhos correspondentes aos dois índices de refração.

Tabela 3.5-Intervalos de tamanho de partículas medidos pela PCASP-X, para os índices de refração determinados.

Canal	Índice <i>fronton</i> /exterior (1,549-0,025i)		Índice ginásio (1,577-0,003i)	
	Tamanho (μm)	Intervalos (μm)	Tamanho (μm)	Intervalos (μm)
1	0,09-0,11	0,02	0,09-0,11	0,02
2	0,11-0,13	0,02	0,11-0,13	0,02
3	0,13-0,15	0,02	0,13-0,15	0,02
4	0,15-0,17	0,02	0,15-0,17	0,02
5	0,17-0,18	0,01	0,17-0,19	0,02
6	0,18-0,21	0,03	0,19-0,21	0,03
7	0,21-0,24	0,03	0,21-0,24	0,03
8	0,24-0,27	0,03	0,24-0,27	0,04
9	0,27-0,32	0,05	0,27-0,32	0,05
10	0,32-0,4	0,08	0,32-0,39	0,05
11	0,4-0,45	0,05	0,39-0,44	0,05
12	0,45-0,53	0,08	0,44-0,5	0,05
13	0,53-0,66	0,13	0,5-0,62	0,1
14	0,66-0,78	0,12	0,62-0,72	0,1
15	0,78-1,03	0,25	0,72-0,84	0,1
16	1,03-1,22	0,19	0,84-1,09	0,1
17	1,22-1,42	0,2	1,09-1,22	0,1
18	1,42-2,19	0,77	1,22-1,36	0,2
19	2,19-2,53	0,34	1,36-1,5	0,2
20	2,53-2,88	0,35	1,5-1,8	0,2
21	2,88-3,27	0,39	1,8-2,07	0,2
22	3,27-3,79	0,52	2,07-2,28	0,2
23	3,79-4,72	0,93	2,28-2,63	0,3
24	4,72-6,14	1,42	2,63-3,07	0,3
25	6,14-7,59	1,45	3,07-3,45	0,4
26	7,59-9,29	1,7	3,45-3,87	0,5
27	9,29-11,31	2,02	3,87-4,58	0,5
28	11,31-14,18	2,87	4,58-5,99	1
29	14,18-18,11	3,93	5,99-8,29	1,5
30	18,11-22,01	3,9	8,29-10,78	1,5
31	22,01-26,88	4,87	10,78-14,16	2
32	> 26,88		> 14,16	

3.4.4.2 Distribuições

Os dados das distribuições de partículas foram tratados e corridos em termos de caudal, altitude e atividade como descrito no ponto 2.4.5.2. e com o respetivo índice de refração. Após uma análise cuidada dos vários dias amostrados foi selecionado um dia representativo para o interior do *fronton* e do ginásio para efetuar uma análise mais detalhada.

Para o interior do *fronton* foi selecionado o dia 10 de Julho de 2012, dia com a presença do grupo de 13 crianças no início da manhã, sentados a fazerem atividades com papel e com jogos no período da manhã e da tarde. Na Figura 3.17 está representada a distribuição temporal do número total de partículas e número de participantes.

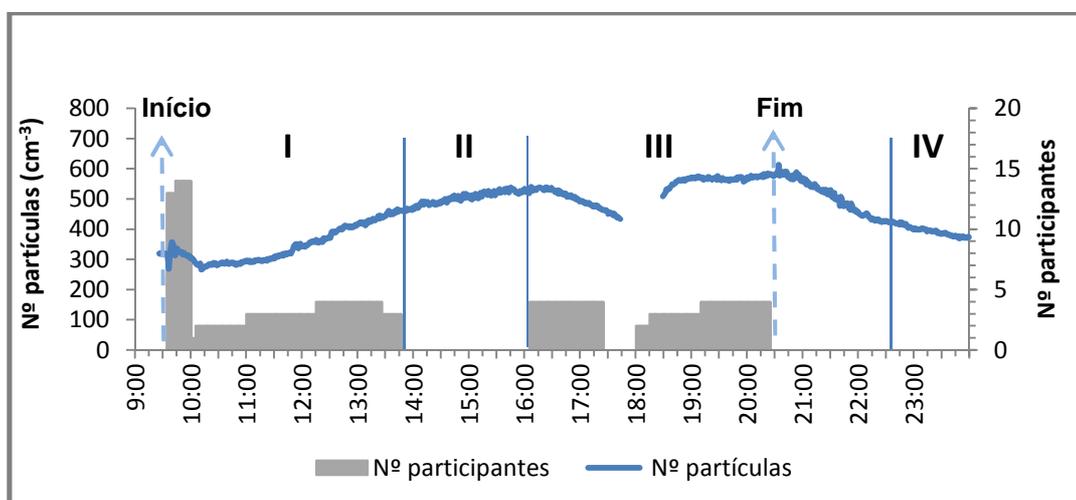


Figura 3.17- Distribuição do número de partículas, no dia 10 de Julho de 2012, dia típico de atividade no *fronton*.

De modo a estudar a evolução temporal das partículas foi efetuada uma divisão do dia por intervalos de tempo, descritos na Tabela 3.6, com o intuito de extrair a máxima informação dos dados recolhidos.

Tabela 3.6- Descrição dos intervalos do *fronton*.

	Descrição	Período
I	Atividades de manhã	9h43-13h47
II	Paragem	13h48-16h04
III	Atividades de tarde	16h05-20h25
IV	2 horas após encerramento	22h40-00h39

No período de atividade (I) decorreram jogos com 2 a 4 jogadores, sendo observado um aumento do número de partículas associados a processos de ressuspensão que se manteve ao longo do dia e durante a atividade da tarde, reduzindo ao final do dia. No período (III) foi

observado uma diminuição de partículas durante o primeiro jogo, explicado por uma diminuição do número de partículas mais finas. A falha de dados observada neste período esteve associada a uma recolha de dados realizada no exterior do edifício. Durante o período de atividade o número de partículas foi mantido entre as 200 e 600 partículas cm^{-3} .

Na Figura 3.18 pode ser observada uma representação cumulativa do número de partículas por tamanho obtida para as médias dos períodos descritos na Tabela 3.6, para o momento referente ao número mais elevado de partículas (Máx. At.), às 20h23, e para uma medição efetuada no exterior entre as 18h00 e 18h15, do dia 10 de Julho de 2012. Este gráfico permitiu observar um comportamento semelhante das distribuições nos vários períodos de atividade, ditados pela variação das partículas $<0,24\mu\text{m}$ que representam a maior fração do número total de partículas. Os valores mais baixos ocorreram nos períodos (I) e (IV), períodos após várias horas sem atividades. A comparação do período (III) com a distribuição do exterior evidencia um possível contributo deste para os valores observados no interior, podendo justificar a variação do número de partículas $< 0,5$, para os restantes períodos, que pela sua pequena dimensão são facilmente transportadas para interior.

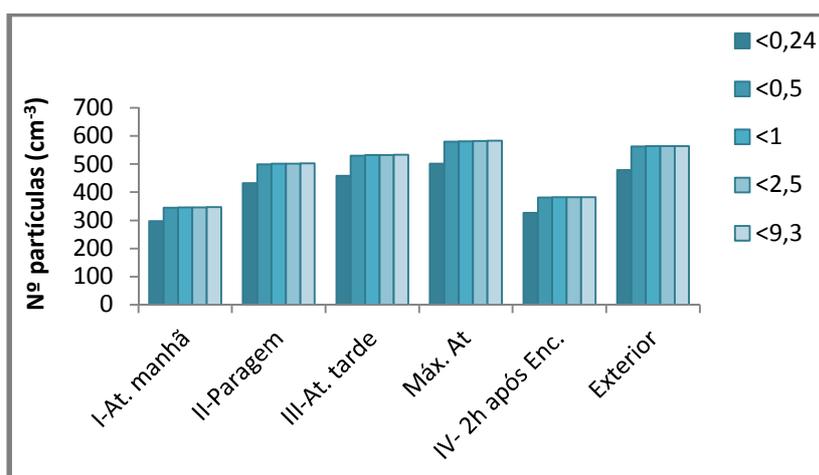


Figura 3.18- Distribuição cumulativa média do número de partículas por tamanho, para os diferentes períodos do *fronton* e uma medição exterior do mesmo dia, 10 de Julho de 2012.

As PM_{10} representam em média 99,73% das partículas amostradas, atingindo um mínimo de 99,21% durante o período de atividades ao final da manhã.

De modo a avaliar o contributo das atividades realizadas no *fronton* foram representadas na Figura 3.19, as distribuições do número de partículas por tamanho dos vários tipos de atividades descritas na Tabela 3.7.

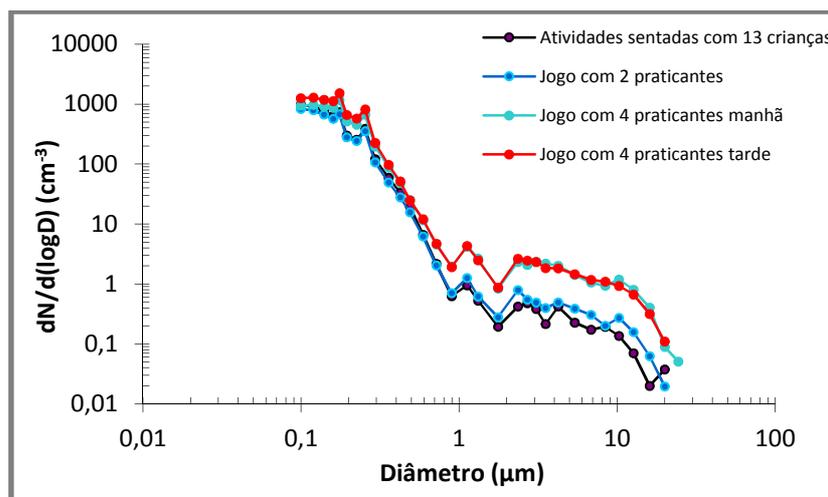


Figura 3.19- Distribuição do número de partículas por tamanho, para vários tipos de atividades do *fronton*.

Tabela 3.7- Descrição dos intervalos por tipo de atividade no *fronton*.

Descrição	Médias
Atividades sentadas com 13 crianças	9h38-9h57
Jogo com 2 praticantes	10h30-10h49
Jogo com 4 praticantes manhã	12h45-13h04
Jogo com 4 praticantes tarde	16h20-16h39

A presença das 13 crianças sentadas apresentou os valores mais baixos. Um acréscimo de partículas foi observado com a prática de *fronton*, uma atividade mais dinâmica e com batimento de bola, mesmo que realizada só por dois jogadores. Um claro aumento foi verificado com a prática desta atividade por 4 jogadores, tanto no período da manhã com da tarde. Os jogos com 4 praticantes nos dois períodos apresentaram uma distribuição muito semelhante.

Para o ginásio foi selecionado o dia 16 de Julho de 2012, apresentando o período da manhã ocupado por 21 crianças da academia de verão com a realização atividades nos colchões, trampolins, argolas, paralelas, espaldares e saltos no fosso com cubos de esponja, seguida de atividades na cama elástica, argolas, paralelas, barra fixa, colchões e fosso de cubos, com o uso de pó de magnésia realizadas por 8 atletas, ao final da manhã. O período da tarde foi ocupado por 7 atletas a realizarem atividades nos colchões sem utilizarem pó de magnésia. Ao final do dia o funcionário da limpeza esteve a aspirar e a limpar o espaço. Para além, deste dia ser preenchido com diferentes tipos de atividades, a sua escolha também se prendeu ao facto de se ter medições no exterior para o dia anterior, uma vez que durante a campanha de amostragem no ginásio não foi possível amostrar com o OPC, no exterior. Por outro lado a distribuição do número total de partículas, representada na Figura 3.20 permite observar a variação de partículas para os

diferentes períodos, por vezes dissimulada noutros dias analisados, pela elevada concentração de fundo, de partículas pequenas.

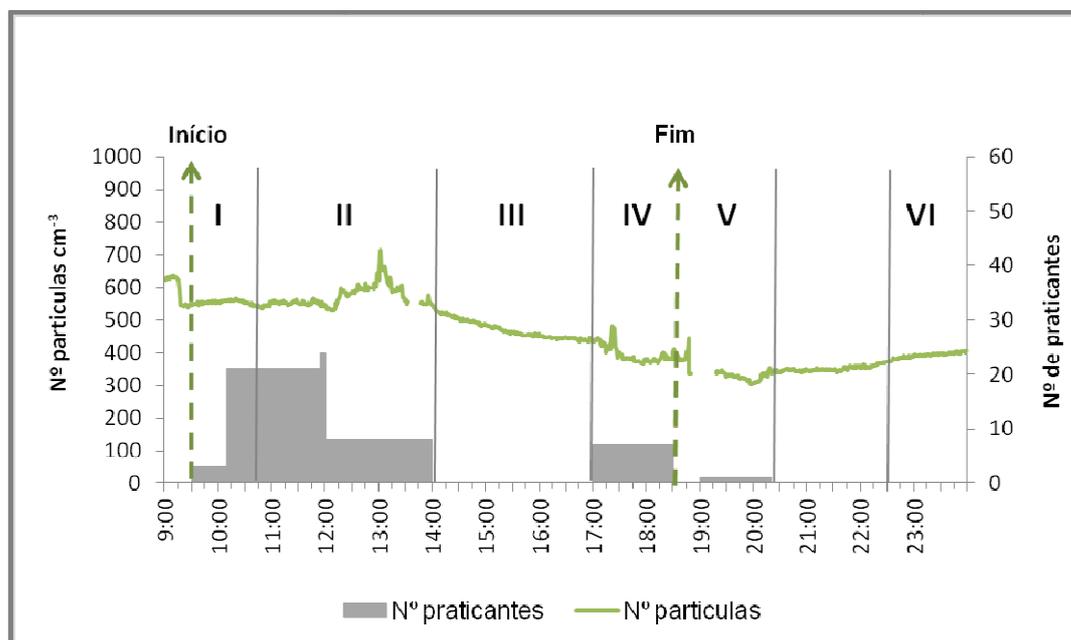


Figura 3.20- Distribuição do número de partículas total, no dia 16 de Julho de 2012, dia típico de atividade no ginásio.

À semelhança da análise efetuada para o *fronton*, foi dividido o dia pelos intervalos descritos na Tabela 3.8, para facilitar a sua análise.

Tabela 3.8- Descrição dos intervalos do ginásio.

Descrição	Período
I Atividades sem uso de pó de magnésia	9h30-10h44
II Atividades com uso de pó de magnésia	10h45-13h59
III Paragem	14h00-16h59
IV Atividades sem uso de pó de magnésia	17h00-18h30
V Limpeza	19h18-20h19
VI 2 horas após encerramento	22h30-00h29

No período de atividades da manhã (I e II) o número total de partículas esteve próximo dos 550 cm^{-3} , aumentando no final do período (II), atingindo um pico de 712 cm^{-3} às 13h00, devido a utilização do pó de magnésia pelos atletas. Das 10h45 às 12h00 algumas crianças estiveram a saltar no fosso de cubos, tendo sido observado uma elevada ressuspensão de pó de magnésia, por esse motivo este intervalo de tempo foi incluído no período (II), apesar de não se utilizar diretamente pó de magnésia. Durante a paragem de almoço (III), o número de partículas decaiu gradualmente, tendo-se mantido próximo dos 400 cm^{-3} no período de atividades da tarde (IV),

apresentando um pico por volta das 17h45 coincidentes com saltos realizados por dois atletas no fosso de cubos. Do período da limpeza (V) até ao final do dia (VI) o número de partículas foi variando gradualmente entre os 300 e 400 cm^{-3} provavelmente associado ao contributo de partículas finas de fonte exterior.

Na Figura 3.21 foram representadas, as distribuições cumulativas do número de partículas por tamanho, para os períodos de tempo do ginásio, uma distribuição referente ao período das 12h58 às 13h07, do pico de magnésia (Máx. Magnésia) e uma distribuição para valores do exterior, do dia 15 de Julho de 2012.

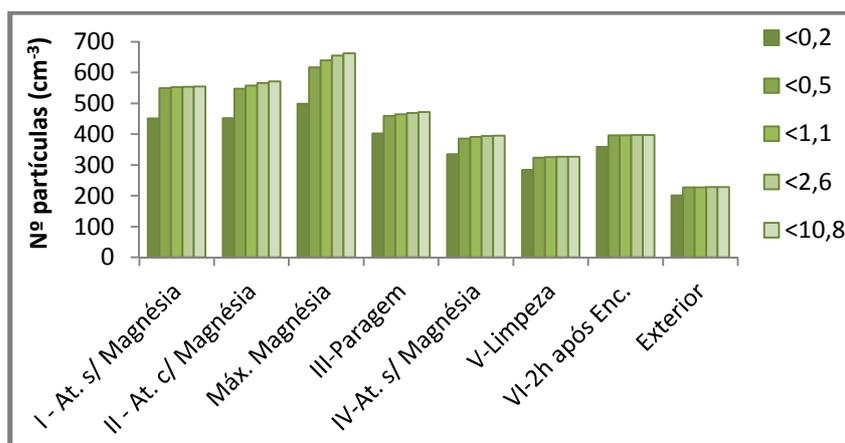


Figura 3.21- Distribuição cumulativa média do número de partículas por tamanho, para os diferentes períodos do ginásio (16 de Julho de 2012) e uma medição exterior (15 de Julho de 2012).

Para os períodos de atividade da manhã (I e II), o número de partículas $<0,5 \mu\text{m}$ foi semelhante, sendo verificado um aumento das partículas com diâmetros entre $1,1$ e $10,8 \mu\text{m}$, com o uso do pó de magnésia, mais evidenciado para o período do máximo da magnésia. Para o período de 2h após o encerramento foi possível confirmar o contributo das partículas $<0,2 \mu\text{m}$ para aumento do número de partículas verificado neste período. Os valores observados para o exterior do dia 15 de Julho de 2012 foram baixos comparados com os restantes intervalos do ginásio e com os valores do exterior, do dia 10 de Julho de 2012, evidenciando a variabilidade deste parâmetro em ambientes exteriores, que contribui para os valores observados no interior, de um modo mais crítico nas partículas de menor dimensão, devido ao seu elevado número.

Uma comparação, das distribuições do número de partículas por tamanho, foi representada na Figura 3.22 para os diferentes tipos de atividades realizadas no ginásio e descritas na Tabela 3.9.

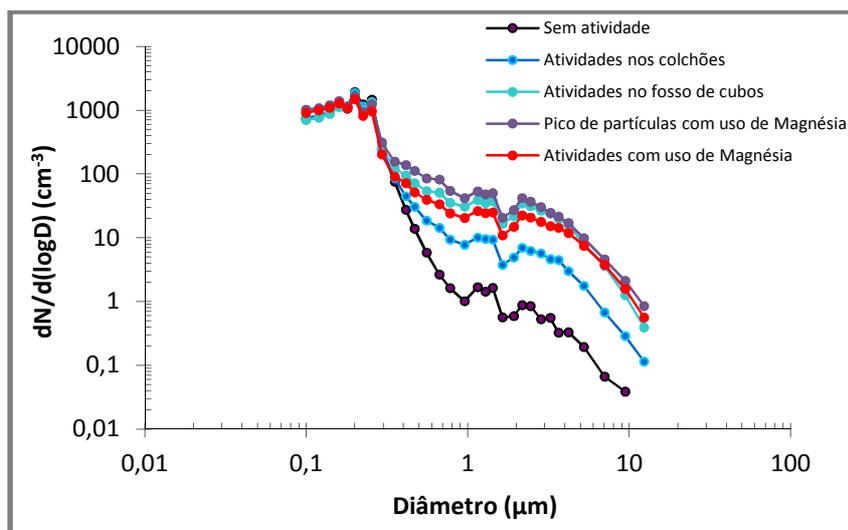


Figura 3.22- Distribuição do número de partículas por tamanho, para vários tipos de atividades do ginásio.

Tabela 3.9- Descrição dos intervalos das diferentes atividades do ginásio.

Descrição	Médias
Sem atividade	9h30-9h49
Atividades nos colchões	10h20-10h39
Atividades no fosso de cubos	11h30-11h49
Pico de partículas com uso de Magnésia	12h58-13h07
Atividades com uso de Magnésia	13h50-13h59

No ginásio, os diferentes tipos de atividades refletiram um aumento das partículas maiores. A transição de um período sem atividade, para atividades, de ginástica, realizadas ao nível do solo, nos colchões (sem uso de pó de magnésia) permitiu evidenciar o contributo da ressuspensão de partículas. O número de partículas com diâmetros entre 1 e 10 μm foi de 6 a 14 vezes superior, para as atividades nos colchões, de 23 a 61 vezes superiores para as atividades no fosso de cubos, de 31 a 69 vezes superiores para o pico de magnésia e 15 a 56 vezes superiores para as atividades com uso de pó de magnésia, comparativamente com o período sem atividade. Apesar do número total de partículas (Figura 3.20) das atividades no fosso de cubos (até as 12h00 do período II) terem sido semelhantes aos valores das atividades, nos colchões sem uso de magnésia (I), as distribuições do número de partículas por tamanho revelam um comportamento semelhante das atividades no fosso com as atividades com uso de pó de magnésia pelos atletas. O equipamento de medição este localizado próximo do fosso de cubos permitindo observar o contributo das partículas maiores nas atividades com uso de pó de magnésia. Contudo, uma vez que o pó de magnésia é aplicado nas mãos, pelos atletas, estes

podem estar sujeito a concentrações superiores, no momento de aplicação do pó e do exercício, bem como após os saltos, no fosso de cubos, provavelmente antecedido de retenção da respiração, tendo necessidade de inspirar mais profundamente, num momento de maior concentração de partículas, podendo originar efeitos mais graves na saúde.

Na Figura 3.23 foi efetuada uma comparação entre as distribuições do número de partículas por tamanho do dia analisado para o *fronton* e para o ginásio.

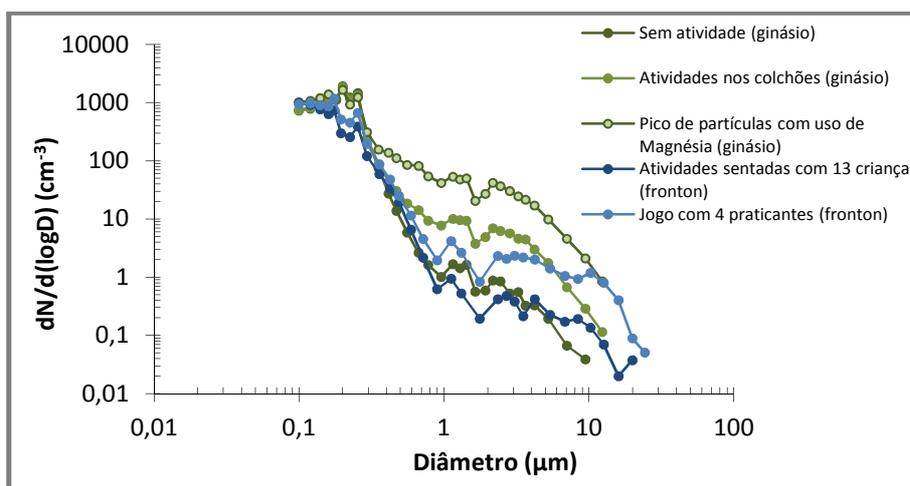


Figura 3.23- Comparação entre distribuições do número de partículas por tamanho do *fronton* (10 de Julho de 2012) e do ginásio (16 de Julho de 2012).

Para os períodos de atividade reduzida as distribuições, das duas instalações apresentaram valores próximos, sendo contudo observado valores mais elevados de partículas finas no ginásio, eventualmente associados a variação de concentração no ar exterior. Nesta comparação foi destacado contributo do uso do pó de magnésia no ginásio evidenciando valores significativamente mais elevados para as partículas maiores que os períodos de máxima atividade (jogo com 4 praticantes) no *fronton*.

O dia 12 de Julho de 2012 tinha revelado elevadas concentrações de COVs coincidentes com o período das atividades de limpeza do *fronton* evidenciando igualmente valores elevados do número de partículas total para o mesmo período representados na Figura 3.24, atingindo valores na ordem dos 2400 partículas cm^{-3} .

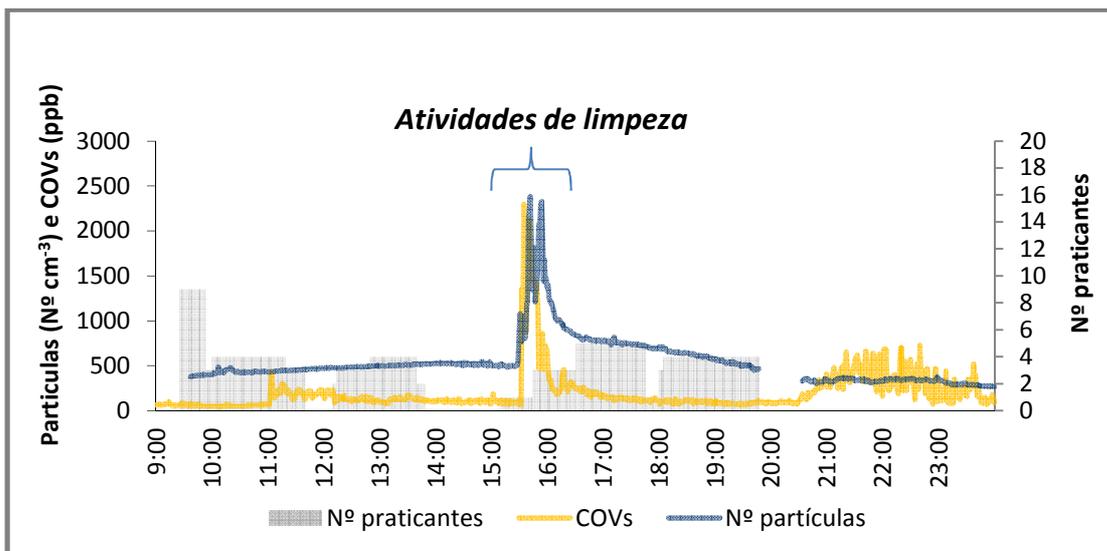


Figura 3.24- Distribuição de número total de partículas e COVs, no dia 12 de Julho de 2012, dia de limpeza do *fronton*.

Com a análise das distribuições do número de partículas por tamanho, apresentada na Figura 3.25 foi possível evidenciar o contributo das atividades de limpeza no aumento do número de partículas finas.

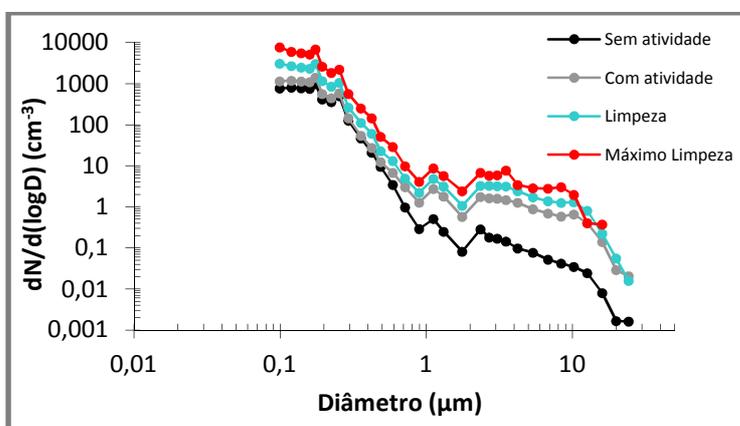


Figura 3.25-Distribuição do número de partículas por tamanho para o dia das limpezas (12 de Julho de 2012).

De seguida são apresentados, na Figura 3.26 os gráficos das distribuições de partículas por tamanho, em número, superfície e volume/massa, para o *fronton* (10 de Julho de 2012). Todas as distribuições apresentaram os valores mais elevados, para as partículas superiores a 1 µm, durante os períodos de atividade (I e III) evidenciando o contributo destas atividades na ressuspensão de partículas. Durante o fim-de-semana de 14 de Julho de 2012, as distribuições obtidas aproximam-se das distribuições no exterior, observadas no dia 10 de Julho de 2012. O

facto das medições no exterior não terem sido realizadas em paralelo com o interior, torna a sua comparação é meramente indicativa.

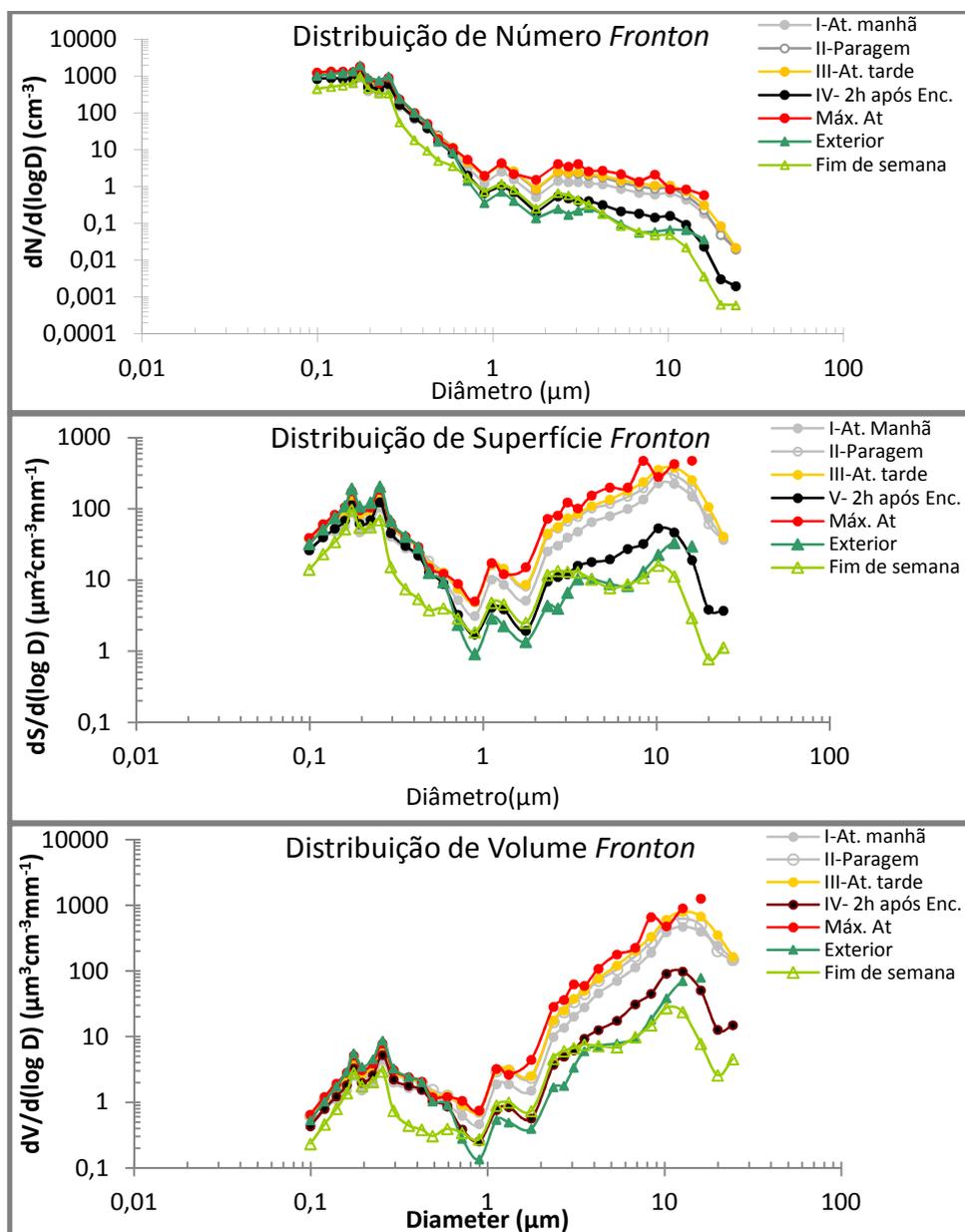


Figura 3.26 Distribuições de partículas por tamanho em número, superfície e volume/massa no *fronton* e exterior do dia 10 de Julho de 2012 e para o 14 de Julho de 2012, dia de fim-de-semana.

Nas Figura 3.10 estão compilados os parâmetros das distribuições lognormal de número, superfície e volume para os vários intervalos analisados para o *Fonton*.

Tabela 3.10- Parâmetros das distribuições lognormal em número, superfície e volume, para o fronton.

Distribuição de Número	N_T (cm^{-3})	CMD (μm)	σ_g
I-At. manhã	347	0,15	1,50
II-Paragem	503	0,15	1,50
III-At. tarde	534	0,16	1,50
IV- 2h após Enc.	383	0,16	1,44
Máx. At	584	0,16	1,50
Ext 10-07-2012	564	0,16	1,42
Fim-de-semana 14-07-2012	248	0,16	1,39
Distribuição de Superfície	S_T ($\mu\text{m}^2\text{cm}^{-3}$)	SMD (μm)	σ_g
I-At. manhã	149	3,80	5,39
II-Paragem	206	3,46	5,38
III-At. tarde	243	3,90	5,19
IV- 2h após Enc.	64	0,86	6,22
Máx. At	300	4,07	4,77
Ext 10-07-2012	74	0,43	4,65
Fim-de-semana-14-07-2012	35	0,54	4,99
Distribuição de Volume	V_T ($\mu\text{m}^3\text{cm}^{-3}$)	VMD (μm)	σ_g
I-At. manhã	202	11,66	1,75
II-Paragem	259	10,94	1,77
III-At. tarde	327	11,35	1,73
IV- 2h após Enc.	38	8,80	2,39
Máx. At	389	10,58	1,68
Ext 10-07-2012	26	8,05	3,27
Fim-de-semana 14-07-2012	12	6,32	3,09

Na Figura 3.27 são apresentadas as distribuições por tamanho em número, superfície e volume/massa para o ginásio. Tal como para o *fronton*, as partículas maiores sofrem aumentos nos períodos com atividades, sendo estes aumentos mais acentuados associado à presença da magnésia alba. Durante o fim-de-semana, na ausência de atividades as concentrações de partículas mantem-se baixos.

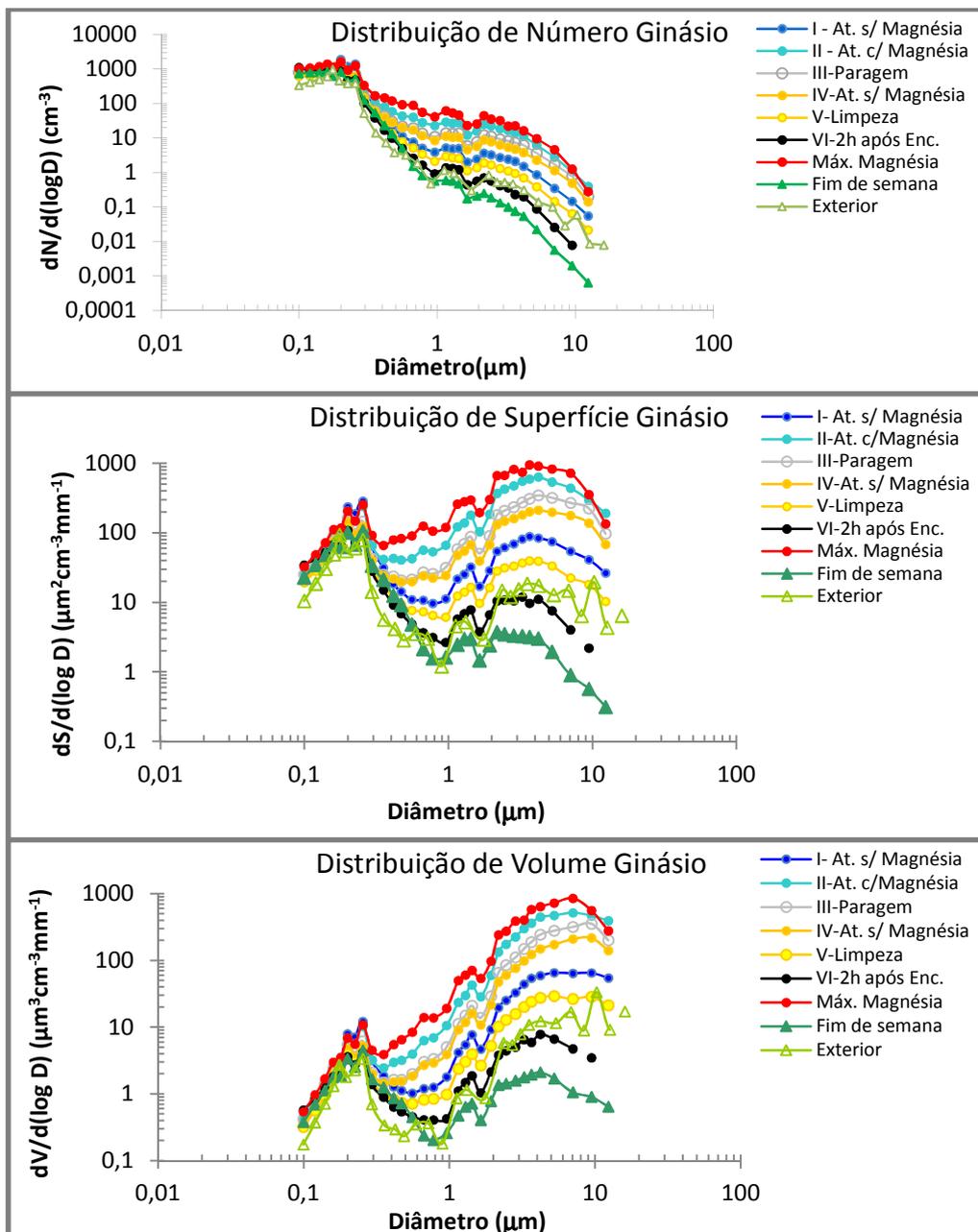


Figura 3.27- Distribuições de partículas por tamanho em número, superfície e volume/massa no ginásio (16 de Julho de 2012), durante o fim-de-semana (21 de Julho de 2012) e no exterior (15 de Julho de 2012).

Na tabela 3.11 estão compilados os parâmetros das distribuições lognormal em número, superfície e volume/massa, para o ginásio, para uma medição exterior de dia 15 de Julho de 2012 e para o interior do ginásio durante o fim-de-semana.

Tabela 3.11- Parâmetros das distribuições lognormal em número, superfície e volume/massa, para o ginásio.

Distribuição de Número	N_T (cm^{-3})	CMD (μm)	σ_g
I- At. s/ Mg	554	0,18	1,45
II-At. c/Mg	571	0,19	1,74
III-Paragem	471	0,17	1,62
IV-At. s/ Mg	395	0,17	1,59
V-Limpeza	326	0,16	1,45
VI-2h após Enc.	397	0,15	1,41
Máx. Mg	662	0,19	1,89
Fim-de-semana	347	0,16	1,41
Exterior	228	0,16	1,39
Distribuição de Superfície	S_T ($\mu\text{m}^2\text{cm}^{-3}$)	SMD (μm)	σ_g
I- At. s/ Mg	124	0,85	4,65
II-At. c/Mg	480	2,72	3,22
III-Paragem	279	2,54	3,66
IV-At. s/ Mg	195	2,18	3,93
V-Limpeza	61	0,75	4,63
VI-2h após Enc.	43	0,31	3,10
Máx. Mg	715	2,72	2,91
Fim-de-semana	37	0,24	2,16
Exterior	36	0,62	5,03
Distribuição de Volume	V_T ($\mu\text{m}^3\text{cm}^{-3}$)	VMD (μm)	σ_g
I- At. s/ Mg	49	4,83	2,46
II-At. c/Mg	340	5,64	1,85
III-Paragem	199	5,85	1,84
IV-At. s/ Mg	130	5,74	1,91
V-Limpeza	22	4,53	2,58
VI-2h após Enc.	5	2,12	4,22
Máx. Mg	476	5,16	1,81
Fim-de-semana	3	1,00	6,83
Exterior	13	5,79	2,87

4. Conclusões

As instalações desportivas apresentam características distintas de acordo com as modalidades para as quais foram desenvolvidas verificando-se a necessidade de caracterizar os vários tipos de instalações em termos de qualidade do ar interior e identificar as principais fontes de poluentes, de modo a garantir a segurança dos ocupantes.

Estes espaços são frequentados por diferentes públicos, desde crianças a idosos na prática desportiva, como atividade de lazer e em benefício da saúde e do bem-estar, como por atletas com treinos intensivos. A permanência, nestes edifícios, pode variar de algumas horas, esporadicamente a várias horas semanais, ou diariamente no caso dos atletas e professores.

Os indivíduos que praticam desporto estão em particular risco devido à maior taxa de ventilação em esforço ao qual se adiciona a inalação pela boca o que acarreta uma maior dose de poluentes absorvida pelo organismo.

Os resultados obtidos com o presente estudo permitiram obter informações sobre a QAI em duas instalações desportivas, para um vasto leque de parâmetros ambientais, permitindo uma interpretação integrada com o intuito de obter uma identificação mais alargada e segura das fontes destes espaços. Assim, este trabalho representa um significativo contributo para a caracterização e prevenção da QAI.

O *fronton* e o ginásio são duas instalações desportivas de grandes dimensões, tendo apresentado taxas de ventilação de 625-880 m³ h⁻¹ por ocupante e de 60-100 m³ h⁻¹ por ocupante, respetivamente, ambas superiores os valores mínimos recomendados. Contudo a dificuldade de se verificarem na prática os pressupostos considerados no cálculo das taxas de ventilação pela técnica de decaimento introduz alguma incerteza nos valores obtidos devendo estes ser entendidos apenas como indicadores.

Em termos de parâmetros de conforto, no interior do *fronton* os valores de temperatura e humidade relativa apresentam amplitudes entre 15,9-32,5 °C e 22,0-49,8%. O edifício apresenta uma boa inércia térmica em relação à temperatura do exterior. No ginásio durante os períodos de ocupação a temperatura mantém-se acima dos 27°C e a humidade relativa atinge vários dias valores inferiores a 20%, durante longos períodos. Para tal contribuíram as elevadas temperaturas e baixas HR observadas no exterior. Contrariamente ao *fronton* o ginásio apresenta menor inércia térmica principalmente durante o período diurno.

Os valores mais elevados de CO no interior do *fronton*, foram de 12,6 ppm ocorrendo no período coincidentes com a saída e entrada de um pequeno trator, cortador de relva, que permanecia estacionado no interior do *fronton*.

O contributo de carbono total (OC e EC) nas PM₁₀ foi cerca de 30%, nos dois espaços interiores.

As atividades de limpeza, no interior do *fronton* coincidiram com aumentos significativos de COVs e partículas. No exterior das instalações e no interior *fronton* a concentração de PM₁₀ foi sempre inferior a 50 µg m⁻³. No interior do ginásio foram registadas concentrações de PM₁₀ de cerca 150 µg m⁻³, associadas a processos de ressuspensão e ao uso de magnésia alba, um pó utilizado nas mãos dos atletas. Este contributo da magnésia foi reforçado pela presença

predominante de íons de magnésio e carbonos nos filtros do ginásio, não evidenciados nos outros locais amostrados. As distribuições de partículas por tamanho demonstraram um claro contributo do uso da magnésia e dos processos de ressuspensão, associados às atividades físicas, no aumento do número de partículas. No ginásio, os diferentes tipos de atividades refletiram um aumento das partículas maiores. A transição de um período sem atividade, para atividades de ginástica realizadas ao nível do solo, nos colchões (sem uso de pó de magnésia) permitiu evidenciar o contributo da ressuspensão de partículas. O número de partículas com diâmetros entre 1 e 10 μm foi de 6 a 14 vezes superior, para as atividades nos colchões, de 23 a 61 vezes superiores para as atividades no fosso de cubos, de 31 a 69 vezes superiores para o pico de magnésia e 15 a 56 vezes superiores para as atividades com uso de pó de magnésia, comparativamente com o período sem atividade. Os valores obtidos para as atividades no fosso de cubos são próximos dos valores para o uso de pó de magnésia devido à elevada acumulação deste pó no fosso.

Quanto aos efeitos de exposição à magnésia Alba, nada sabemos até ao momento. O material mais semelhante em termos de constituição química é o MgCO_3 que apesar de não apresentar propriedades cancerígenas (Weinbruch *et al.*, 2008) pode estar na origem de tosse, respiração ofegante e aperto no peito (Majumdar e William, 2009). Uma exposição prolongada pode desencadear ou agravar problemas respiratórios. Uma possível medida eficaz e de baixo custo, passa pela substituição de pó de magnésio por um líquido para o mesmo efeito, eliminando esta fonte de emissão interna (Weinbruch *et al.*, 2012).

No *fronton* também se observou um aumento do número de partículas maiores coincidentes com o período de prática desportiva, associado a processos de ressuspensão. Para determinar as distribuições de partículas por tamanho, foi necessário obter primeiramente os índices de refração representativos da constituição das partículas dos vários espaços amostrados. Para o *fronton*/exterior foi obtido o índice 1,549-0,025i e para o ginásio o índice 1,577-0,003i. Quanto ao índice de refração obtido para o ginásio, devido às características específicas em termos de constituição química do aerossol (elevado contributo da magnésia) e à escassez de estudos neste tipo de instalações, foi necessário determinar um índice complexo adequado à constituição química, das partículas em estudo.

A informação produzida ao longo do trabalho é valiosa, por se enquadrar numa área do conhecimento em que os resultados publicados ainda são escassos.

Como trabalhos futuros, propõe-se a realização de estudos de QAI a mais instalações desportivas e com diferentes características. Seria igualmente importante o estudo dos efeitos do pó de magnésia na saúde.

5. Bibliografia

- AAP, American Academy of Pediatrics, Committee on Environmental Health. (2003). *Pediatric Environmental Health* (2nd ed.). Elk Grove, IL: American Academy of Pediatrics.
- Afonso, J., Pio, C., Oliveira, T. (2004). *Avaliação da determinação de carbono orgânico e carbono negro por um método termo óptico*, paper presented at 8ª Conferência Nacional do Ambiente, Lisboa, Portugal.
- Alados-arboledas, L., Lyamani, H., Olmo, F. J. (2003). *Aerosol size properties at Armilla, Granada (Spain)*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 129(590), 1395–1413. doi:10.1256/qj.01.207
- Almeida, E. M. A. (2009), *Aerossol carbonoso: contribuição para a sua caracterização*, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.
- Alonso-Blanco, E., Calvo, a I., Fraile, R., Castro, A. (2012). *The influence of wildfires on aerosol size distributions in rural areas*. *TheScientificWorldJournal*, 2012, 735697. doi:10.1100/2012/735697
- Alves, C. A., Calvo, A. I., Castro, A., Fraile, R., Evtugina, M. (2013). *Air Quality in Sports Venues with Distinct Characteristics*. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 78, 281–285.
- ANSI/ASHRAE Standard 62. (2001). *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta.
- APA (2010). *Qualidade do Ar em Espaços Interiores- Um Guia Técnico*. <http://www.apambiente.pt/>, acedido a 10/05/2013.
- ASTM (2000). *Standard test method for determining air change in a single zone by means of a tracer gas dilution*, E 741-00. American Society for Testing Materials. West Conshohocken, USA.
- Beaulieu H.J., Beaulieu S., Brown C. (2008). *Phenyl mercuric acetate (PMA): mercury-bearing flexible gymnasium floors in schools-evaluation of hazards and controlled abatement*, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 5(6), 360-366
- Binkley, H. M., Beckett, J., Casa D. J., Kleiner, D. M., Plummer, P.E. (2002), "National athletic trainers' association position statement: Exertional heat illnesses", *J. Athl. Training*, vol. 37, pp. 329-343.
- Bohren, C. F., Huffman D. R. (1983), *Absorption and Scattering of Light by Small Particles*, 544 pp., Wiley, New York
- Braniš M., Šafránek J. (2011a). *Characterization of coarse particulate matter in school gyms*, *Environmental Research*, 111(4), 485-491
- Braniš M., Safránek J., Hytychová A. (2011b). *Indoor and outdoor sources of size-resolved mass concentration of particulate matter in a school gym-implications for exposure of exercising children*, *Environmental Science and Pollution Research*, 18(4), 598-609

- Calvo, A. I. (2009). *Caracterización y transporte del aerosol atmosférico: medio urbano , rural y quema de biomasa*. Universidade de León.
- Castro, L.M., (1997). *Composição e Origem dos poluentes Particulados numa Atmosfera Costeira*, Tese de Doutoramento. DAO, UA, Aveiro, Portugal.
- Castro, A., Alonso-Blanco, E., González-Colino, M., Calvo, A. I., Fernández-Raga, M., Fraile, R. (2010). *Aerosol size distribution in precipitation events in León, Spain*. *Atmospheric Research*, 96(2-3), 421–435. doi:10.1016/j.atmosres.2010.01.014
- CEHN, Children's Environmental Health Network/Public Health Institute (1999). *Training Manual on Pediatric Environmental Health: Putting It into Practice*. San Francisco, CA: Children's Environmental Health Network/Public Health Institute. <http://www.CEHN.org>
- Cerqueira, M. A., C. A. Pio, J. V. Afonso, C. N. Santos (2004), *Níveis de carbono particulado na precipitação: observações efectuadas em Aveiro durante o ano de 2003*, paper presented at 8ª Conferência Nacional do Ambiente, Lisboa, Portugal.
- CFHA, Commission fédérale de l'hygiène de l'air (2007). *Les poussières fines en Suisse*. Rapport de la Commission fédérale de l'hygiène de l'air (CFHA). Berne. 142 p.
- Comunidad de Madrid, (2010). *Calidad del aire interior en edificios de uso público*. <http://www.madrid.org/cs/>, acedido a 2/10/2013.
- Crump, D. (2011). *Nature and Sources of Indoor Chemical Contaminants*. In *Encyclopedia of Occupational Health and Safety*. Geneva: International Labor Organization.
- Dacarro C., Picco A.M., Grisoli P., Rodolfi M. (2003). *Determination of aerial microbiological contamination in scholastic sports environments*, *Journal of Applied Microbiology*, 95, 904-912
- EEA (2013). *Environment and human health. Report EUR 25933 EN*. European Environment Agency.
- EPA (1994). *Indoor air pollution. Na introduction For health professionals*. U.S. Government Printing Office Publication n°523-217/81322.
- EPA (2000). *IAQ tools for schools: indoor air quality and student performance*. Government Printing Office, Washington, D.C.
- EPA (2008). *Care for Your Air: A Guide to Indoor Air Quality*. <http://www.epa.gov/iaq/pubs/careforyourair.html>, acedido a 21/08/2013.
- EPA (2009). *Indoor Air Quality Tools for Schools - Reference Guide*. http://www.epa.gov/iaq/schools/pdfs/kit/reference_guide.pdf, acedido a 10/08/2013.
- EPA (2010). *An Introduction to Indoor Air Quality - Volatile Organic Compounds (VOCs)*. Volatile Organic Compounds (VOCs). <http://www.epa.gov/iaq/voc.html>, acedido a 5/08/2013.

- Esteves, H. M. (2012). *Avaliação da Qualidade do ar interior e do conforto térmico do departamento de Imagiologia do Hospital Distrital de Santarém*. Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.
- Garcia-Algar O. *et al.* (2003). *Sources and concentrations of indoor nitrogen dioxide in Barcelona, Spain*. Journal of the Air & Waste Management Association, 53:1312–1317.
- Geller, R.J., Rubin, I.L., Nodvin, J.T., Teague, W.G., Frumkin, H., (2007). *Safe and healthy school environments*. *Pediatr Clin North Am.*, 54, 351-373.
- Golden, R. (2011). *"Identifying an indoor air exposure limit for formaldehyde considering both irritation and cancer hazards"*, *Crit Rev Toxicol.*, vol. 48, pp. 672-721.
- Grubenhoff, J.A., Ford, K., Roosevelt, G.E (2007). *"Heat-Related Illness"*, *Clin. Pediatr. Emerg. Med.*, vol. 8, pp. 59-64.
- Health Canada (1995). *Indoor Air Quality in Office Buildings: A Technical Guide*. A Report of the Federal - Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health. Minister of National Health and Welfare. Canada.
- Health Canada (2012). *Particulate Matter*. <http://www.hc-sc.gc.ca/>, acedido a 18/08/2013.
- Hodgson, M. (2002). *Indoor Environmental Exposures and Symptoms*, *Env. Health Perspectives*, 110, supp. 4 : 663-667.
- Hopke, P.K., Xie, Y., Raunemaa, T., Biegalski, S., Landsberger, S., Maenhaut, M., Artaxo, P., Cohen, D. (1997). *Characterization of the Gent Stacked Filter Unit PM₁₀ Sampler*, *Aerosol Sci. Technol.* 27:726-735.
- Horvath, H.(1998). *Influence of atmospheric aerosols upon the global radiation balance, in Atmospheric Particles IUPAC Series on Analytical and Physical Chemistry of Environmental Systems*, vol.5, edited by R.M. Harrison and R. Van Grieken, pp. 543-596, John Wiley, New York.
- IAQ Management Group, (2003). *Guidance Notes for the Management of Indoor Air Quality in Offices and Public Places*. The Government of the Hong Kong Special Administrative Region. <http://www.iaq.gov.hk/cert/doc/GN-eng.pdf>, acedido a 07/04/2013.
- INE (2012). Instituto Nacional de Estatística. <http://www.ine.es>, acedido a 12/08/2013.
- IRSST (2000). *Evaluation de la concentration de fibres d'amiante émises dans l'air ambiant de bâtiments scolaires*, Institut de recherche Robert-Sauvé en Santé Travail. <http://www.irsst.qc.ca/>, acedido a 2/09/2013.
- Janssen N.A.H. *et al.*, (2001). *Assessment of exposure to traffic related air pollution of children attending schools near motorways*. *Atmospheric Environment*, 35:3875–3884.
- Jeol (2013), *A Guide to Scanning Microscope Observation*. <http://www.geology.wisc.edu/~johnf/g777/JEOLguide.pdf>, acedido a 20/08/2013.

- John, W., (2001). *Aerosols Measurements: Principles, Techniques, and Applications*, Second Edition. New York: Baron, P.A., Willeke, K., 1131 pp.
- Jones S., Liu Z., Little J.C. (2011). *Mercury emissions from polyurethane flooring in gymnasiums*, Proceedings Indoor Air 2011
- Kleefeld, S., Hoffer, A., Krivácsy, Z., Jennings, S.G., (2002). "Importance of organic and black carbon in atmospheric aerosols at Mace Head, on the West Coast of Ireland (53°19'N, 9°54'W)". *Atmospheric Environment* 279, 181-193.
- Kotzias D., Geiss O., Tirendi S., Barrero-Moreno J., Reina V., Gotti A., Cimino-Reale G., Casati B., Marafante E., Sarigiannis D. (2009). *Exposure to multiple air contaminants in public buildings, schools and kindergartens the European indoor air monitoring and exposure assessment (AIRMEX) study*. *Fresenius Environmental Bulletin* 18:670-681
- Lemos, E., (1997). *Poluição Interior: abordagem à síndrome dos edifícios doentes*. Disponível em http://www.ipv.pt/millennium/ect7_etl.htm, acessado a 16/10/2013.
- Lin, Z. J., Tao, J., Chai, F. H., Fan, S. J., Yue, J. H., e Zhu, L. H. (2012): *Impact of relative humidity and particles size distribution on aerosol light extinction in urban area of Guangzhou*, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 12, 15639-15674, doi:10.5194/acpd-12-15639-2012.
- LQAI (2013). *Os problemas da qualidade do ar interior*. Laboratório da qualidade do ar interior. <http://www.lqai.com/>, acessado a 18/09/2013.
- Majumdar, D., William, S.P.M. (2009). "Chalk dustfall during classroom teaching: particle size distribution and morphological characteristics," *Environ. Monit. Assess.*, vol. 148, pp. 343-335.
- Martinelli, N., Olivieri, O., Girelli, D. (2013). *Air particulate matter and cardiovascular disease: a narrative review*. *European journal of internal medicine*, 24(4), 295–302. doi:10.1016/j.ejim.2013.04.001
- Martins, V. I. F. (2012), *Emissões de carbono particulado durante a queima doméstica de biomassa*, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.
- Modic, J. (2003). *Carbon monoxide and COHb concentration in blood in various circumstances*. *Energy and Buildings*. 35: 903-907.
- Mogo, S., Cachorro, V. E., Frutos, A. M. De, Optica, G. De. (2005). *Morphological, chemical and optical absorbing characterization of aerosols in the urban atmosphere of Valladolid*, 2739–2748.
- Morganti, A., Becagli, S., Castellano, E., Severi, M., Traversi, R., Udisti, R. (2007). *An improved flow analysis-ion chromatography method for determination of cationic and anionic species at trace levels in Antarctic ice cores*. *Analytica chimica acta*, 603(2), 190–8. doi:10.1016/j.aca.2007.09.050

- Nakajima, T., Tonna, G., Rao, R., Boi, P., Kaufman, Y., Holben, B., (1996). *Use of sky brightness measurements from ground for remote sensing of particulate polydispersions*. *App. Opt.*35, 2672-2686.
- NILU (2006a). *Measurement of air pollution in indoor artificial turf halls*, Norwegian Institute for Air Research, Report NILU OR 03/2006, 39 p.
- NILU (2006b). *Artificial turf pitches-an assessment of the health risks for football players*, Norwegian Institute for Air Research, 34 p.
- OFEFP, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (2005). *Poussières fines: un fleau*. Berne. www.buwalshop.ch, code: DIV-5012-F., acedido a 20/09/2013.
- OFSP (2008). *Poussières fines dans l' air intérieur*. Berne, Suisse.
- Pegas, P. N. (2012). *Qualidade do ar interior em escolas do 1º ciclo de Lisboa e Aveiro*. Universidade de Aveiro.
- Perry, R. H., Green, D. W., Maloney, J. O. (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, seventh Edition, McGraw-Hill.
- Pio, C., L. M. Castro, M. O. Ramos (1994), *Differentiated determination of organic and elemental carbon in atmospheric aerosol particles by a thermal-optical method*, paper presented at Sixth European Symposium on Physical-Chemical Behavior of Atmospheric Pollutants, Report EUR 15609/2 EN, Brussels, Belgium.
- Persily, A.K. (1996). *The relationship between indoor air quality and carbon dioxide*. Indoor Air 96. The 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, 961-966, Nagoya.
- Persily, A.K. (1997). *Evaluating building IAQ and ventilation with indoor carbon dioxide*. *ASHRAE Transactions*, vol. 103, pt. 2, 4072. Atlanta.
- Pio, C., L. M. Castro, M. O. Ramos (1994), *Differentiated determination of organic and elemental carbon in atmospheric aerosol particles by a thermal-optical method*, paper presented at Sixth European Symposium on Physical-Chemical Behavior of Atmospheric Pollutants, Report EUR 15609/2 EN, Brussels, Belgium.
- Quadros, M. E. (2008). *Qualidade do ar interno em ambientes hospitalares: Parâmetros Físico-químicos e Microbiológicos*. Tese de Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 135 pp.
- Raatschen, W. (1991). *Boundary conditions. Condensation And Energy Sourcebook*. International Energy Agency (IEA). Report Annex XIV, Volume 1, cp. 6.
- Racinais, S., Mohr, M., Buchheit, M., Voss, S.C., Gaoua, N., Grantham, J., Nybo, L. (2012). *"Individual responses to short-term heat acclimatisation as predictors of football performance in a hot, dry environment"*, *Br. J. Sports Med.*, doi:10.1136/bjsports-2012-091227.

- Rader, D.J., O'Hern, T.J. (2001). *Optical Direct-Reading Techniques*: In situ sensing. En: Baron, P.A., Willeke, K. *Aerosols Measurements. Principles, Techniques, and Applications*. 2nd edition. New York: Wiley, pp. 455-494.
- Rodrigues, A.; Piedade, A.; Braga, M. (2009). *Térmica de Edifícios*, Edições Orion, Amadora, Portugal.
- Roulet, C., Vandaele, L. (1991). *Air flow patterns within buildings*. Measurement Techniques. Technical Note 34, Annex 5, IEA-ECBCS.
- Seaman, V.Y., Bennett, D.H., Cahill, T.M., (2007). "Origin, Occurrence, and Source Emission Rate of Acrolein in Residential Indoor Air", *Environ. Sci. Technol.*, vol. 41, pp. 6940-6946.
- Seinfeld, J. H., Pandis, S. . (2006). *Atmospheric Chemistry and Physics From Air Pollution to Climate Change* (2nd ed.). New Jersey: Wiley-Interscience.
- Singh, A.L., Jamal, S., (2012). *A study of risk factors associated with indoor air pollution in the low income households in Aligarh city, India*. *Journal of Environmental Research and Management*, 3, 1-8.
- Skoog, D., West, D., Holler, F. (1996). *Fundamentals of Analytical Chemistry*, Seventh Edition, Saunders College Publishing, USA.
- Smedje G. (2002). *Cleaning methods in relation to particles and allergen at school*, Proceedings Indoor Air 2002
- Spengler, J. D.; Samet, J. M.; McCarthy, J. F., (2000). *Indoor Air Quality Handbook*. McGraw-Hill.
- Stanley E. Manahan (1994). *Environmental Chemistry*, sixth Edition, Lewis, USA.
- Tang, I. N. (1996). *Chemical and Size Effects of Hygroscopic Aerosols on Light Scattering Coefficients*, *J. Geophys. Res.* 101:19250.
- Tange, G. I., McLaughlin, A., (2002). *Healthy School Design and Construction*.
- Turner W.A., Caulfield S.C., Ellis T., Lewia R. (2002). *Real-time measurement of (PM10) dust levels in a carpeted and non-carpeted school gym room*, Proceedings Indoor Air 2002
- Unileon (2013). Universidade de Léon. <https://www.unileon.es/>, acedido a 14/08/2013.
- Viegas, J. C. (1996). *Ventilação natural de edifícios de habitação*, Coleção Edifícios – Número 4, Série Conforto Ambiental, LNEC, Lisboa.
- Weinbruch, S., Dirsch, T., Ebert, M., Hofmann, H., Kandler, K. (2008). "Dust exposure in indoor climbing halls," *J. Environ. Monit.*, vol. 10, pp. 648-654.
- Weinbruch, S., Dirsch, T., Kandler, K., Ebert, M., Heimburger, G., Hohenwarter, F. (2012). "Reducing dust exposure in indoor climbing gyms," *J. Environ. Monit.*, vol. 14, pp. 2114-2120.

WHO (1997). *Assessment of exposure to indoor air pollutants*. Regional Publications, European Series.

WHO (2010). *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. World Health Organization Regional Office for Europe. <http://www.euro.who.int/pubrequest>, acedido a 04/03/2013.

WHO (2011). *Air quality and health*. World Health Organization . <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>, acedido a 02/10/2013.

Wolkoff, P. e Nielsen, G. D. (2010). *Non-cancer effects of formaldehyde and relevance for setting an indoor air guideline*. *Environment International*. 36: 788–799.

Anexos

Anexo I – Plantas das instalações

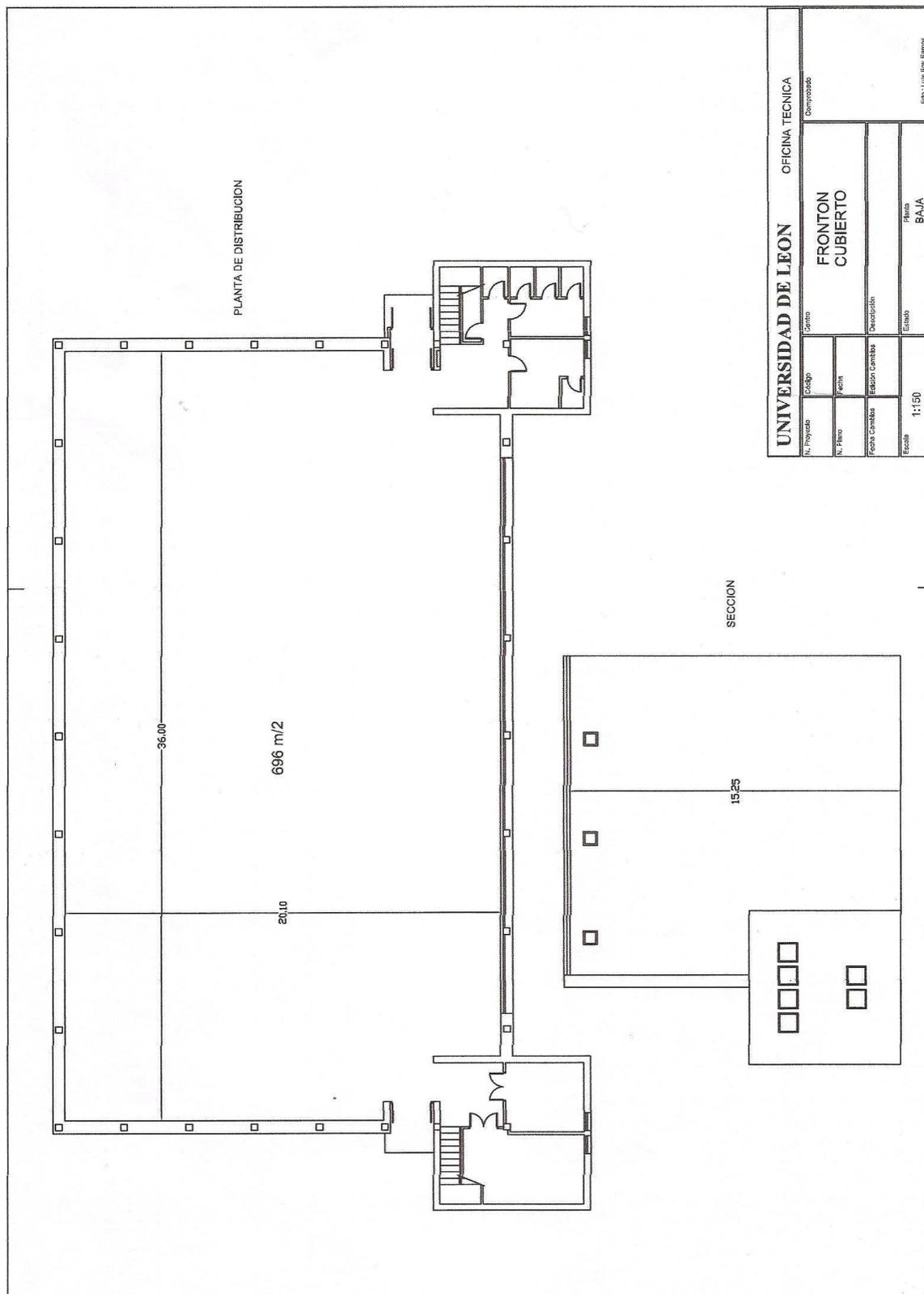


Figura 0.1- Planta do fronton

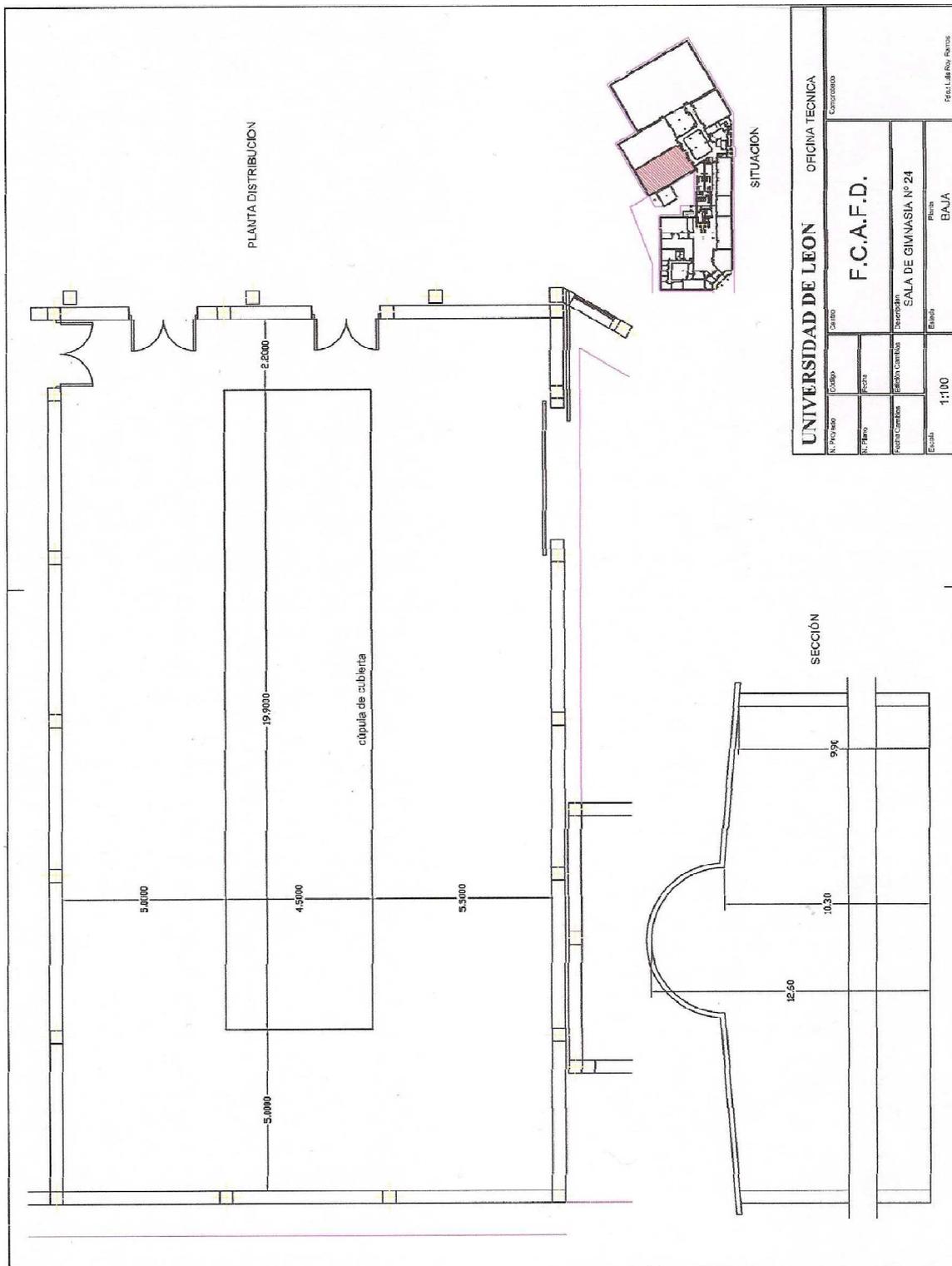


Figura 0.2- Planta do ginásio

Anexo II – Tabela do fabricante para a ajuste do caudalímetro em função da altitude para os dados da PCASP-X

Tabela II.1 - Tabela de correção para ajuste do caudalímetro em função da altitude

Altitude (feet)	Configuração do caudalímetro (ajustado para esta % do caudal pretendido)
0	100.0
500	98.2
1000	96.5
2000	93.0
3000	89.6
4000	86.4
5000	83.2
6000	80.2
7000	77.2
8000	74.3
9000	71.5
10000	68.8