

QUALIDADE DO AR INTERIOR EM GINÁSIOS

Exposição a poluentes do ar interior durante a
atividade física

Carla Alexandra Almeida Martins Cortês Ramos

Dissertação elaborada com vista à obtenção do grau de Mestre em Gestão
Integrada da Qualidade, Ambiente e Segurança



Instituto Superior de Educação e Ciências

Lisboa, julho de 2013

INSTITUTO SUPERIOR DE EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS
Unidade Científico-Pedagógica de Ciências e Tecnologia

Dissertação elaborada com vista à obtenção do grau de Mestre em Gestão
Integrada da Qualidade, Ambiente e Segurança

QUALIDADE DO AR INTERIOR EM GINÁSIOS

Exposição a poluentes do ar interior durante a atividade física

Autor: **Carla Alexandra Almeida Martins Cortês Ramos**

Orientadora: **Doutora Marta Almeida**

Lisboa, julho de 2013

Agradecimentos

Inicialmente gostaria de deixar todo o meu apreço à Doutora Marta Almeida. Como orientadora desta dissertação, sempre mostrou o seu auxílio, dinâmica e ânimo de modo que conseguisse desenvolver o melhor trabalho possível e pela possibilidade de poder voltar ao Instituto Tecnológico e Nuclear, agora Campus Tecnológico e Nuclear do Instituto Superior Técnico (CTN) e desenvolver mais um passo no meu percurso académico.

À Doutora Sandra Cabo-Verde, investigadora no CTN e a todo o seu grupo de trabalho, pela ajuda na realização das tarefas em microbiologia no LETAL (Laboratório de Ensaios e Técnicas em Áreas Limpas).

À Doutora Carla Viegas, docente da Área Científica de Saúde Ambiental da Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa (ESTeSL), pela fundamental ajuda na identificação fúngica realizada neste trabalho e à Dr.^a Ana Oliveira, responsável pelos laboratórios do 2.º piso da ESTeSL pelo auxílio na realização de meios de cultura.

Ao Departamento de Ordenamento e Ambiente da Universidade de Aveiro, à Área Científica de Saúde Ambiental da ESTeSL e à EFACEC, pela disponibilização de alguns equipamentos de medição, imprescindíveis para a realização deste trabalho.

A todos os gestores, responsáveis, professores e colaboradores dos ginásios onde desenvolvi este trabalho, obrigado pela abertura de portas, simpatia e alegria dada durante os dias passados nos ginásios mas, principalmente, pela disponibilidade em colaborar em trabalhos de investigação.

Aos colegas do grupo NANE – Ativação Neutrónica, Ambiente, Nutrição e Epidemiologia, Joana Lage, Marina Almeida-Silva e Nuno Canha pela ajuda dada tanto a nível da organização e logística do trabalho como no debate realizado sobre esta investigação, uma vez que a qualidade do ar é tema transversal de investigação a todos nós. Obrigado às colegas de Saúde Ambiental que realizaram estágio académico no

CTN e colaboraram nesta investigação, Ana Margarida Calado e Catarina Dias: espero que também tenha sido produtivo para vós.

Às minhas companheiras de Mestrado, Carolina Sá e Rafaela Feliciano, pela entreajuda que sempre houve entre nós desde o primeiro dia. Helena Recto e Ana Jorge, um obrigado a vós também pelo vosso carinho.

Obrigado ao meu namorado Helder Cardoso pela motivação e paciência que sempre demonstrou ao longo de todo o meu percurso académico e que continua a demonstrar todos os dias pelo meu trabalho.

Principalmente, obrigado aos pilares da minha vida: aos meus pais, pela oportunidade que me deram por poder continuar a desenvolver os meus estudos e aos meus padrinhos por me terem criado e ajudado em tudo ao longo de todos estes anos.

Resumo

Numa época em que vários problemas de saúde podem ser minimizados se a população praticar desporto, é importante que as condições dadas encorajem essa prática e não promovam nenhum risco acrescido para a saúde humana. Os ginásios tornaram-se um espaço de excelência para a prática de desporto e, sendo um espaço fechado, as condições ambientais poderão não ser as adequadas para a atividade desenvolvida. Neste ponto enquadra-se a qualidade do ar, que se assume como uma condição essencial ao bem-estar da população.

Neste trabalho foram selecionados três ginásios da cidade de Lisboa, para aplicar uma metodologia de monitorização da qualidade do ar interior, que decorreu num período de uma semana em cada ginásio. O objetivo principal da investigação foi de perceber se a qualidade do ar existente nos ginásios estudados é satisfatória ou se pelo contrário poderá colocar em causa a saúde dos seus utilizadores. Assim foram estudados os principais poluentes do interior: partículas, dióxido de carbono, monóxido de carbono, compostos orgânicos voláteis, microrganismos e os parâmetros de conforto - temperatura e humidade relativa. As taxas de ventilação praticadas foram também avaliadas através da curva de crescimento das concentrações de dióxido de carbono.

Os resultados obtidos indicam a existência de duas fontes de emissão principais que contribuem para a alteração da qualidade do ar interior, são elas a ocupação humana, que promove o aumento de partículas, de material microbiano e de dióxido de carbono, e o ar proveniente do exterior.

Em geral, os resultados apresentam-se satisfatórios nos três ginásios estudados, não havendo indícios de que a qualidade do ar interior seja prejudicial ao desenvolvimento da atividade física.

Palavras-chave

Ginásios, ar interior, poluentes, avaliação.

Abstract

We live in a time that several health problems can be avoided or minimized if the population practices more physical exercise. Gymnasiums become an area of excellence for developing physical activity and, being a closed space inside of a building, indoor air quality may not be adequate for the type of activity that is developed inside. However, it is important to give good conditions that promote physical activity and not magnify any risk for human health. In this point, air quality assumes to be an essential condition for population well being.

Three gymnasiums in the city of Lisbon were selected to apply a specific methodology for indoor air quality monitoring, during a week in each gymnasium. The main goal of this research is to understand if the air quality in the studied gymnasiums is good or contrariwise, might destabilize the health of users. By this way, the main indoor air pollutants were assessed: particulate matter, carbon dioxide, carbon monoxide, volatile organic compounds, microbiological airborne material and comfort parameters (temperature and relative humidity). Air exchange rates in the gymnasiums were also analyzed using carbon dioxide concentrations.

The obtained results in this study indicate that exists two major emission sources that contribute to change the indoor air quality which are human occupancy, that promotes the increase of particulate matter, microbiological airborne material and carbon dioxide, and outdoor air.

In general, the results appear to be satisfactory in the three studied gymnasiums, with no indications that indoor air quality is considered poor for the developing of physical activity.

Keywords

Gymnasiums, indoor air, pollutants, assessment.

ÍNDICE

Resumo	iii
Abstract.....	iv
Índice de Figuras	viii
Índice de Tabelas	x
Abreviaturas.....	xi
INTRODUÇÃO.....	1
PARTE I. EQUADRAMENTO TEÓRICO	4
Capítulo 1. Qualidade do Ar Interior	8
1.1 Compostos Orgânicos Voláteis (COV)	8
1.2 Formaldeído (CH ₂ O).....	9
1.3 Monóxido de Carbono (CO)	10
1.4 Dióxido de Carbono (CO ₂).....	11
1.5 Matéria Particulada (PM).....	12
1.6 Material Biológico	13
Capítulo 2. Controlo Ambiental	15
2.1 Ventilação	15
2.1.1 Ventilação Natural.....	16
2.1.2 Ventilação Mecânica.....	18
2.1.3 Síndrome do Edifício Doente (SED).....	21
2.2 Conforto Térmico.....	23
2.2.1 Temperatura	24
2.2.2 Humidade Relativa (HR).....	25
Capítulo 3. Suscetibilidade durante o Exercício Físico.....	26
3.1 Fisiologia do Exercício	26
3.2 Interação no Aparelho Respiratório	28
3.3 Evidências entre a Qualidade do Ar e Exercício Físico.....	29
Capítulo 4. Legislação Aplicável à Temática.....	32
4.1. Regulamento dos Sistemas Energéticos e Climatização de Edifícios.....	32
4.1.1 Nota Técnica – NT-SCE-02	33

4.2 Referenciais Europeus e Internacionais	34
4.2.1 Europa	34
4.2.2 Regulamentação Internacional	35
4.2.3 Organização Mundial de Saúde.....	36
Capítulo 5. Objetivos da Dissertação	38
PARTE II – METODOLOGIA	39
Capítulo 1. Objeto de Estudo	39
1.1 Tipo de Estudo	40
1.2 Variáveis	40
Capítulo 2. Técnicas de Medição, Amostragem e Análise.....	41
2.1 CO ₂ , CO, COV, temperatura e HR	43
2.2 Partículas.....	43
2.2.1 Medição em Contínuo	43
2.2.2 Amostragem de Partículas.....	43
2.2.3 Determinação da Concentração Mássica.....	44
2.3 Bactérias e Fungos	45
2.3.1 Preparação dos Meios de Cultura.....	46
2.3.2 Amostragem	46
2.3.3 Contagem e Identificação.....	47
2.4 Determinação das Taxas de Ventilação.....	48
2.5 Tratamento de Dados	50
PARTE III – RESULTADOS E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	51
Capítulo 1. Parâmetros Químicos e Físicos.....	51
1.1 CO ₂	51
1.2 CO e COV.....	56
1.3 Partículas.....	58
1.4 Temperatura e Humidade.....	64
Capítulo 2. Parâmetros Biológicos.....	67
2.1 Bactérias.....	68
2.2 Fungos.....	71
2.3 Superfícies.....	75
Capítulo 3. Taxas de Ventilação	79
CONSIDERAÇÕES FINAIS	81

CONCLUSÕES	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

Índice de Figuras

Figura 1 – Colónia de fungos.	14
Figura 2 – Colónia de bactérias.	14
Figura 3 – Índice de Qualidade do Ar Exterior em 2010.	17
Figura 4 – Esquema do sistema AVAC.....	19
Figura 5 – Desenvolvimento de um sistema de ventilação híbrido.	20
Figura 6 – Evolução das taxas de ventilação nos Estados Unidos da América.	22
Figura 7 – Relação entre o PPD e o PMV.	24
Figura 8 – Média prevista para a deposição total e regional, com base no modelo ICRP, através da respiração pelo nariz, em exercício físico leve.....	29
Figura 9 – Esquema ilustrativo da disposição dos equipamentos no ginásio.....	41
Figura 10 – Pesagem de um filtro de teflon antes da amostragem.	44
Figura 11 – Controlo de qualidade relativo ao caudal dos equipamentos (desvio aceitável de 5%).....	45
Figura 12 – Contagem de colónias de fungos.	47
Figura 13 – Contagem de colónias de bactérias.	47
Figura 14 – Preparação dos cortes de fungos: a) aplicação do azul de lactofenol; b) corte da colónia; c) colocação da lamela por cima da preparação; d) aplicação do verniz.	48
Figura 15 – Representação das três fases da evolução da concentração de CO ₂ , com a seleção dos pontos na fase de <i>build-up</i>	49
Figura 16 – Variação temporal da concentração de CO ₂ nos clubes (valores em mg/m ³). A reta horizontal corresponde à legislação portuguesa para CO ₂ de 1800mg/m ³ (ponteados a cinzento).....	52
Figura 17 – Curva de crescimento do CO ₂ em aulas de <i>fitness</i> com diferentes taxas metabólicas.	55
Figura 18 – Produção de CO ₂ e consumo de O ₂ em função da atividade física.....	55
Figura 19 – Distribuição temporal das concentrações de CO e COV nos clubes (valores em mg/m ³).	56
Figura 20 – Correção das concentrações de PM ₁₀ medidas através do equipamento Lighthouse 3016 (valores em µg/m ³).	59
Figura 21 – Distribuição temporal da concentração de partículas nos clubes (valores em mg/m ³)..	60

Figura 22 – Concentrações de PM ₁₀ recolhidas no interior e no exterior dos clubes (valores em µg/m ³).	63
Figura 23 – Variação temporal da temperatura nos espaços dos clubes.	65
Figura 24 – Variação temporal da humidade relativa nos espaços dos clubes.....	66
Figura 25 – Concentração de bactérias no interior e no exterior dos clubes (valores em UFC/m ³)..	68
Figura 26 – Concentração de fungos no interior e no exterior dos clubes (valores em UFC/m ³).	72
Figura 27 – Duas placas de MEA de colheita de superfície com mais de 300UFC.....	77

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Projetos de investigação europeus sobre QAI.	4
Tabela 2 – Valores dos parâmetros fisiológicos em repouso.	26
Tabela 3 – Parâmetros fisiológicos para atletas de competição (AC) e atletas recreativos (AR).	27
Tabela 4 – Concentrações máximas de poluentes de acordo com o RSECE.	33
Tabela 5 – Concentrações máximas de poluentes de acordo com a certificação chinesa.	36
Tabela 6 – Referências da OMS relativas a concentrações máximas admissíveis no ar interior.	37
Tabela 7 – Características dos espaços dos clubes estudados.	40
Tabela 8 – Características dos equipamentos instalados nos clubes.	42
Tabela 9 – Concentrações de CO ₂ medidas nos três clubes (média, desvio-padrão, máximo e mínimo. Valores em mg/m ³).	52
Tabela 10 – Concentrações de CO medidas nos três clubes (média, desvio-padrão, máximo e mínimo Valores em mg/m ³).	57
Tabela 11 – Concentrações de COV medidas nos três clubes (média, desvio-padrão, máximo e mínimo. Valores em mg/m ³).	58
Tabela 12 – Concentrações de PM ₁₀ medidas nos três clubes (média, desvio-padrão, máximo e mínimo. Valores em µg/m ³).	61
Tabela 13 – Razão I/E entre as concentrações de PM ₁₀ medidas no interior e no exterior dos clubes.	64
Tabela 14 – Estatística descritiva para a temperatura (°C) e humidade relativa (%).	66
Tabela 15 – Avaliação da conformidade legal da concentração de bactérias (valores em UFC/m ³).	69
Tabela 16 – Situações de perigosidade relativas a fungos.	71
Tabela 17 – Avaliação da conformidade legal da concentração de fungos (valores em UFC/m ³).	72
Tabela 18 – Avaliação das concentrações de bactérias e fungos em superfícies (valores em UFC/m ²).	75
Tabela 19 – Taxas de ventilação e renovações de ar obtidas para o clube A e clube B.	79

Abreviaturas

AC – Atletas de Competição

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

AR – Atletas Recreativos

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CE – Comunidade Europeia

CH₂O – Formaldeído

CO – Monóxido de Carbono

COHb – Carboxihemoglobina

CO₂ – Dióxido de Carbono

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

CTN – Campus Tecnológico e Nuclear

DA – Diâmetro Aerodinâmico

IAEA – International Atomic Energy Agency

IARC – International Agency for Research on Cancer

I/E – razão entre as concentrações de PM₁₀ no interior e no exterior

LETAL – Laboratório de Ensaios Tecnológicos em Áreas Limpas

MEA – Malt Extract Agar

NIST – National Institute of Standard and Technology

NH₃ – Amónia

NO₂ – Dióxido de Azoto

NO_x – Óxidos de Azoto

O₃ – Ozono

PM₁₀ – Partículas com diâmetro aerodinâmico inferior a 10µm

QAI – Qualidade do Ar Interior

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema de Certificação Energética

SED – Síndrome do Edifício Doente

SO₂ – Dióxido de Enxofre

TSA – Trypto-Soic Agar

UE – União Europeia

UFC – Unidade Formadora de Colónia

INTRODUÇÃO

Um ambiente limpo é essencial para a saúde humana e bem-estar, no entanto, as interações no binómio ambiente/saúde são complexas e difíceis de avaliar. Os efeitos do ambiente mais conhecidos são os impactes relacionados com a poluição ambiental, radioatividade e a falta de condições sanitárias. Na Europa atual, um dos problemas ambientais com maior impacte na saúde humana está relacionado com a poluição do ar tanto em contexto exterior como interior (EEA, 2011). Nos últimos anos cresceram as evidências científicas que indicam que o ar poluído presente no interior de edifícios pode ser um problema mais grave do que o ar poluído presente no exterior, até mesmo nas cidades mais industrializadas. Para além deste facto, as investigações indicam que as pessoas passam cerca de 90% do seu tempo em ambientes interiores (EPA, 2011a), facto que enfatiza a relevância da qualidade do ar no interior dos edifícios.

Outro fator importante para a qualidade de vida das populações é a prática de exercício físico. A prática regular de exercício físico moderado, como caminhar, andar de bicicleta ou participar em algum tipo de desporto, apresenta benefícios para a saúde. A inatividade física foi identificada como o quarto fator de risco para a mortalidade, causando cerca de 3.2 milhões de mortes por ano no mundo (WHO, 2012). Atualmente sabe-se que a prática de exercício físico ao ar livre é a mais comum entre os habitantes da Europa sendo que, dos 39% dos portugueses que afirmam fazer exercício físico, 17% apresentam esta tendência (Eurobarometer 72.3, 2010). No entanto, esta é uma prática desaconselhada quando o exercício é praticado perto de vias rodoviárias, principalmente em horas de ponta (Carlisle e Sharp, 2001). Em contexto urbano é difícil poder optar por zonas não poluídas, optando-se assim pela prática do exercício em ginásios. Os ginásios oferecem outro tipo de serviços e de atividades desenvolvidas em contexto interior: é criado um treino personalizado e adaptado às necessidades de cada indivíduo, com acompanhamento de um profissional de educação física; existem aulas em grupo com várias modalidades; existem equipamentos específicos de treino muscular; e o ginásio apresenta mais segurança para a prática de exercícios cardiovasculares (como correr ou andar de bicicleta), do que se estes forem feitos no exterior (devido a intempéries, assaltos ou atropelamentos).

Dado este contexto surge a questão sobre qual a situação da Qualidade do Ar Interior (QAI) nos espaços destinados à prática de exercício. Este tema é pertinente de ser estudado devido ao facto de durante o exercício físico i) existir um aumento do volume de poluentes inalados com o aumento de ar inalado, ii) um volume considerável de ar ser inalado oralmente, não passando pelas vias nasais de filtração onde ficam retidas partículas maiores e iii) o aumento da velocidade do ar inalado depositar as partículas em zonas mais profundas do pulmão (Carlisle e Sharp, 2001).

Esta dissertação de Mestrado insere-se no Mestrado em Gestão Integrada em Qualidade, Ambiente e Segurança, enquadrando-se na vertente Ambiente, uma vez que pretende debater e estudar fatores relacionados com a poluição do ar, especificamente o ar interior. Esta dissertação apresenta os seguintes objetivos:

- Avaliar a concentração de poluentes presentes no ar interior destes espaços dedicados à prática de atividade física;
- Identificar as principais fontes emissoras que contribuem para a presença dos poluentes existentes no interior dos ginásios;
- Caracterizar o tipo e taxas de ventilação praticadas nos três ginásios estudados;
- Propor medidas para a mitigação de fontes que contribuem para a degradação da QAI e para a melhoria das condições ambientais essenciais à prática do exercício físico.

Esta dissertação encontra-se organizada por três Partes, sendo cada uma das partes dividida em capítulos:

PARTE I – A Parte I é o Enquadramento Teórico da dissertação, onde é realizada uma revisão da literatura existente sobre a temática a estudar. Encontram-se na Parte I, quatro capítulos: Capítulo 1, uma descrição sumária sobre a QAI e os seus poluentes e contaminantes mais significativos; no Capítulo 2 encontra-se a relevância dada aos parâmetros ambientais no bem-estar humano, dando especial ênfase à ventilação como sendo um pilar fundamental para uma boa QAI; o Capítulo 3 foca a ligação entre a QAI

e o exercício físico, fundamentando ainda mais a pertinência deste tema; por fim o Capítulo 4 é relativo à legislação relacionada com este assunto.

PARTE II – Esta Parte corresponde à metodologia que foi aplicada para o desenvolvimento deste estudo. Aqui encontra-se a descrição dos equipamentos utilizados no trabalho, os procedimentos e materiais. É feita uma breve descrição das técnicas e métodos utilizados para a obtenção de resultados.

PARTE III – É a última Parte da dissertação e é onde se encontram os resultados obtidos e a discussão dos mesmos à luz do conhecimento actual.

A dissertação culmina com as Considerações Finais, onde são abordadas as mais-valias deste estudo, as limitações encontradas e, por fim, a Conclusão que faz um encerramento global do que foi executado, apresenta os resultados mais importantes e foca o cumprimento dos objetivos propostos.

PARTE I. EQUADRAMENTO TEÓRICO

A primeira grande conferência sobre QAI foi realizada em Copenhaga em 1978, com o propósito de estudar os efeitos do ambiente interior na performance do Homem, no seu conforto e na sua saúde. Trinta e cinco anos passados, alguns dos temas debatidos nessa conferência continuam a fazer parte dos temas de investigação atuais, como por exemplo as emissões dos materiais de construção e os agentes alergénios (Nazaroff, 2012). No entanto, as técnicas disponíveis evoluíram com o tempo, bem como os equipamentos e as metodologias que hoje apresentam um maior número de resultados num menor espaço de tempo. Com o desenvolvimento da tecnologia disponível, foi então possível alargar o leque de investigação incluindo mais espaços, mais poluentes e uma maior resolução temporal.

Nos últimos 10 anos, a Europa tem vindo a aumentar o seu interesse em estudos sobre a QAI, facto este que se reflete no aumento de publicações e no aumento do investimento da Comunidade Europeia (CE) em projetos relacionados com esta área. Os projetos enunciados na tabela seguinte foram financiados pela CE, sendo que alguns já finalizaram e outros ainda se encontram a decorrer.

Tabela 1 – Projetos de investigação europeus sobre QAI.

Acrónimo	Título	Objetivo
INDEX (2002-2004) (Comissão Europeia, 2005)	"Critical appraisal of setting and implementation of indoor exposure limits in EU"	Identificar uma lista de "compostos prioritários", com base em critérios de impacto sobre a saúde.
THADE (2001-2003) (EFA, 2001)	"Towards Health Air in Dwellings in Europe"	Investigar a associação entre poluentes do ar interior e doenças respiratórias.
HESE (2002-2005) (Comissão Europeia, 2006)	"Health Effects of Schools Environment"	Relacionar a alta presença de partículas, fungos e alérgenos com a fraca ventilação em escolas.
BUMA (2006-2009)	"Prioritization of BUilding MAterials"	Criar uma base de dados sobre as emissões dos materiais de construção, priorizar os materiais a utilizar de acordo

(UOWM, 2006)	as indoor pollution sources”	com os fatores de emissão e desenvolver orientações para a criação de novas políticas.
AIRMEX (2003-) (Comissão Europeia, 2013)	“European Indoor Air Monitoring and Exposure Assessment Project”	Identificar e quantificar os principais poluentes do ar em edifícios públicos, incluindo escolas e jardins de infância e estimar a exposição da população e possíveis efeitos na saúde, devido a exposição crónica
EnVIE (2004-2007) (IDMEC, 2009)	“Co-ordination action on Indoor Air Quality and Health Effects”	Aumentar a compreensão dos impactes da qualidade do ar interior na saúde pública, em toda a Europa.
Sinphonie (2010-2012) (REC, 2010)	“Schools Indoor Pollution and Health: Observatory Network in Europe”	Definir recomendações políticas sobre medidas corretivas no ambiente escolar.
HITEA (2008-) (National Institute for Health and Welfare, 2008)	“Health Effects of Indoor Pollutants”	Identificar o papel de agentes biológicos interiores no desenvolvimento de doenças respiratórias a longo prazo, reações inflamatórias e alérgicas em crianças.

Em Portugal também têm sido desenvolvidos estudos que abordam a QAI, nomeadamente o projeto Indoor (de 2008) – “Impact of indoor on human health” financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia que estuda a relação existente entre a QAI nas escolas e a asma e rinite em crianças. Também o projeto SAUDAR – “Qualidade do ar ambiente e saúde pública”, realizado em Portugal e financiado pela Fundação Calouste Gulbenkian, estudou cerca de 60 crianças asmáticas do 1º ciclo do ensino básico das escolas do concelho de Viseu com o objetivo de analisar a relação entre a qualidade do ar (exterior e interior) e a saúde humana, e a evolução previsível dessa região com base nos planos de desenvolvimento existentes (Universidade de Aveiro, 2004).

Para além dos estudos que incidem essencialmente sobre materiais de construção, pode dizer-se que o local de estudo de eleição dos projetos apresentados são as escolas, sendo que estes têm como denominador comum o objetivo de apurar relações entre a QAI e a saúde e definir orientações para a definição de novas políticas. Existe assim um

interesse claro em estudar locais onde estão expostas a poluentes populações mais suscetíveis, como as crianças.

No entanto, existem outras preocupações no seio da CE. Hoje em dia, na Europa, seis dos sete principais fatores de risco de morte prematura (pressão arterial, colesterol, índice de massa corporal elevados, ingestão insuficiente de fruta e legumes, inatividade física e consumo excessivo de álcool) estão associados a hábitos alimentares pouco saudáveis e à falta de exercício físico (Comissão Europeia, 2010). Deste modo, há um apelo e uma necessidade concreta de se praticar mais exercício físico na Europa, o que implica passar mais tempo no exterior, praticando exercício ao ar livre, ou em alternativa realizar a prática desportiva no interior, em ginásios e clubes. Considerando que atualmente os indivíduos passam cerca de 90% do seu tempo em contexto interior (EPA, 2011a), os ginásios passam a fazer parte do conjunto de espaços que contribuem para essa percentagem e consequentemente para a exposição diária a poluentes atmosféricos.

Consideram-se ginásios *“os estabelecimentos abertos ao público ou a uma categoria determinada de utentes, que integram uma ou mais salas destinadas à prática de atividades físicas e desportivas e respetivas instalações de apoio”* (Conselho Nacional do Desporto, 2008). Os ginásios, como objeto de estudo sobre a QAI, são um espaço relativamente pouco estudado. A grande maioria dos estudos publicados incide sobre ginásios escolares, ou seja, sobre os espaços que em Portugal se designam por pavilhões gimnodesportivos. Outros dois espaços também estudados são as piscinas e os ringues de gelo (para a prática de patinagem ou hóquei no gelo). Deste modo, a QAI em ginásios é uma área que oferece possibilidades de estudo.

Os dados mais recentes sobre o número de ginásios existentes em Portugal remontam a 2006, onde segundo a Marktest, existiam à data 1100 ginásios abertos no país, representando o dobro do número de ginásios no ano 2000 (Mendes, 2006). Este mercado de ginásios/clubes/health clubs/academias contabilizava em 2005, 1 396 mil utilizadores (Marktest, 2007). O grupo das mulheres é o que mais frequenta ginásios (18.8%), bem como os jovens entre os 18 e os 24 anos (29.8%), seguidos dos jovens entre os 15 e os 17 anos (28.8%). A população idosa é quem menos contribui para a frequência nos ginásios, sendo que apenas 4% se desloca a estes estabelecimentos. Os

grupos ocupacionais que mais contribuem para a presença nestes espaços são os quadros médios/superiores e os estudantes (Marktest, 2005).

Capítulo 1. Qualidade do Ar Interior

A QAI é influenciada por diversos fatores, assim os poluentes interiores mais comuns variam consoante as fontes que os emitem. Deste modo, fatores como a ocupação do edifício, o fim a que se destina, as atividades nele desenvolvidas, as ações de manutenção do edifício, o tipo de ventilação e a limpeza dos sistemas de ventilação são fatores essenciais a ter em conta numa caracterização da QAI. Em termos globais, a exposição a poluentes do ar interior é mais significativa do que a exposição à poluição exterior. No entanto, a existência de concentrações de poluentes elevadas no ar exterior, podem afetar adversamente o ambiente interior (Hoskins, 2003). É de salientar que alguns dos poluentes enunciados em seguida podem ser originados tanto em ambiente interior, como em contexto exterior sendo depois transportados para o interior dos edifícios. Neste capítulo pretende abordar-se os poluentes mais comuns presentes no ar interior, as suas possíveis fontes de emissão e os efeitos na saúde humana.

1.1 Compostos Orgânicos Voláteis (COV)

Os COV apresentam-se sob a forma gasosa por emissão de alguns líquidos e sólidos. As concentrações destes poluentes são normalmente mais elevadas no interior do que no exterior (EPA, 2011b), uma vez que são emitidos por objetos/estruturas que maioritariamente existem no interior, tais como carpetes, mobiliário, produtos de limpeza, tintas, perfumes, lacas e solventes (APA, 2009). O fumo do tabaco apresenta também uma contribuição significativa na emissão de COV (Vainiotalo *et al.*, 2008; Hodgson *et al.*, 1999). Estes compostos podem ser definidos como compostos químicos orgânicos cuja composição torna possível a sua evaporação sob condições de pressão e temperatura atmosférica normais (EPA, 2011b). Existem várias espécies de COV sendo que as mais comuns no ar exterior são o benzeno, tolueno, etilbenzeno e o xileno, mistura conhecida como BTEX (Hoskins, 2003), indicadora da presença de gasolina e de produtos derivados do petróleo. No ar interior as espécies de COV existentes variam com a sua fonte emissora, sendo as espécies mais comuns o benzeno, cloreto de metileno, dibrometo de etileno, tetracloreto de carbono, 1,1-dicloroetileno e 1,4-diclorobenzeno (Zhang *et al.*, 2003).

O benzeno é um composto químico classificado pelo IARC (International Agency for Research on Cancer) como carcinogénico para os humanos, pertencendo ao Grupo I¹, com evidências suficientes de que este químico origina danos no sistema imunitário, ou provocando leucopenia, trombocitopenia ou anemia (IARC, 1982). Níveis de exposição tão elevados que provoquem estes danos, acontecem ao nível da exposição ocupacional ou quando existem muitos materiais no interior do edifício com grandes quantidades de solventes ou à base de solventes (Hoskins, 2003).

Outros efeitos na saúde incluem dores de cabeça, sonolência, tonturas, irritação dos olhos e vias respiratórias. Dependendo da suscetibilidade do indivíduo, as reações podem ser mais ou menos graves e a diferentes concentrações (CCOHS, 2004).

1.2 Formaldeído (CH₂O)

O formaldeído é um COV, mas dada a sua importância normalmente é avaliado de uma forma individualizada (Hoskins, 2003). À temperatura ambiente o CH₂O é um gás incolor, inflamável e apresenta um odor característico. É utilizado na produção de adubos, papel, madeira prensada e resinas. Apresenta também aplicações como conservante de alguns alimentos e muitos produtos utilizados em habitações, como antissépticos, medicamentos e cosméticos (ATSDR, 1999). É um composto ubíquo no ambiente, uma vez que é um poluente formado naturalmente através da combustão da biomassa e através de vulcões; as fontes antropogénicas incluem fontes industriais e combustão com origem no tráfego rodoviário. No entanto, este composto é produzido industrialmente por todo o globo e é utilizado no fabrico de resinas ou como preservante de alguns produtos, tais com peças anatómicas (WHO, 2010).

As fontes de CH₂O no interior incluem o mobiliário e madeira, que contenham produtos à base de CH₂O, produtos de pintura, papel de parede, cola, adesivos, isolamento de espuma de ureia-formaldeído, vernizes, produtos de limpeza, computadores e fotocopiadoras (WHO, 2010; APA, 2009).

¹ Grupo 1: Carcinogénico para os humanos, Grupo 2A: Provável carcinogénico para os humanos; Grupo 2B: Possível carcinogénico para os humanos; Grupo 3: Não classificável quanto à sua carcinogenicidade para os humanos; Grupo 4: Provável não carcinogénico para os humanos.

Os efeitos do CH_2O na saúde variam entre efeitos crónicos e efeitos agudos. Os efeitos agudos incluem efeitos imunotóxicos e irritação nas mucosas, levando a queixas como conjuntivites, irritações na garganta e vias respiratórias, alergias na pele e asma alérgica. Os efeitos crónicos, que surgem especialmente em contexto ocupacional, podem conduzir a problemas graves na saúde humana, uma vez que o formaldeído pode provocar alterações a nível celular, danos na função respiratória, efeitos teratogénicos e cancerígenos (IARC, 2006; Viegas S. *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2011).

1.3 Monóxido de Carbono (CO)

O CO é dos poluentes do ar interior mais conhecidos por surgir muitas vezes associado a mortes por envenenamento. Em Portugal, entre 2005 e 2011 morreram 111 pessoas devido à inalação de CO (TVI24, 2012). O CO é um gás incolor e inodoro, resultante da combustão incompleta de combustíveis fósseis. A sua maior fonte antropogénica é o tráfego rodoviário (ATSDR, 2012). Em contexto interior, o CO surge através da combustão de madeira ou gás, para aquecimento e confeção de alimentos e pela infiltração do CO exterior (WHO, 2010). Se as admissões de ar num edifício forem mal localizadas ou exista infiltração do ar de locais como garagens ou cozinhas podem verificar-se a presença de elevadas concentrações de CO em zonas onde não se verifica a emissão deste poluente (CCOHS, 2004; APA, 2009).

A afinidade que o CO apresenta com a hemoglobina é cerca de 200 vezes maior do que a afinidade entre oxigénio (O_2) e a hemoglobina (Rodkey *et al.*, 1963; Roughton, 1970; Kao e Nanãgas, 2005). O composto formado designa-se de carboxihemoglobina (COHb) e provoca a diminuição do transporte de O_2 para os tecidos, uma vez que a hemoglobina se encontra combinada com o CO. O CO pode acumular-se no sangue, como resultado de uma exposição prolongada a baixas concentrações entre 11.5-15 mg/m^3 ou a exposições agudas, para concentrações mais elevadas como 115 mg/m^3 (Folinsbee, 1992). Os níveis de toxinas no sangue podem rapidamente atingir níveis perigosos para a saúde humana, como demonstrado em corredores na cidade de Nova Iorque, em que após 30 minutos de exercício junto a estradas movimentadas, os níveis de COHb no sangue aumentaram entre 1.7% a 5.1%, valores semelhantes aos encontrados em fumadores (Sharman *et al.*, 2004). Para os ciclistas que desenvolvam

atividade física junto a estradas com elevado volume de tráfego, foram registadas alterações na função cardíaca nas horas que sucedem o exercício físico (Weichenthal *et al.*, 2011). Para níveis elevados de CO, os sintomas de exposição incluem, dores de cabeça, diminuição do estado de vigília, sintomas análogos aos da gripe, náuseas, fadiga, respiração rápida, dor no peito, confusão e raciocínio diminuído. O grau em que estes sintomas ocorrem depende do estado de saúde e da sensibilidade dos indivíduos, logo as respostas específicas a uma dada concentração variam de pessoa para pessoa (APA, 2009).

1.4 Dióxido de Carbono (CO₂)

O CO₂ é um gás incolor e inodoro que existe na atmosfera e é emitido por várias fontes. Este gás faz parte do metabolismo humano e é excretado durante a expiração. Outras fontes naturais de emissão CO₂ englobam erupções vulcânicas (pequena contribuição) e a decomposição de matéria orgânica. As fontes antropogénicas apresentam uma maior relevância na emissão desde a revolução industrial, no século XVIII até aos dias de hoje, com a queima de combustíveis fósseis (carvão, gás natural e derivados do petróleo). Com este aumento exponencial, os mecanismos naturais de remoção de CO₂ da atmosfera, como a captação de CO₂ para a fotossíntese das plantas e a absorção do gás pelos oceanos, apresentaram-se insuficientes, resultando assim num aumento da concentração de CO₂ na atmosfera de cerca de 35% acima das concentrações existentes antes da revolução industrial, em 2005 (EPA, 2011c). No ar interior, a presença deste gás faz-se através da atividade metabólica dos ocupantes, utilização de fogões e aquecedores que utilizem combustíveis fósseis ou da infiltração de ar exterior poluído (APA, 2009).

A presença de CO₂ no interior tem sido referida como um indicador da QAI, uma vez que existe uma relação entre a concentração de CO₂ e a concentração de outros poluentes interiores (Persily, 1997). O CO₂ tendo também origem no nível de atividade física dos ocupantes, é um indicador da presença de outros poluentes que sejam gerados à mesma taxa, e que assim dependem do nível de ocupação do espaço (Persily, 1997), nomeadamente as partículas em ressuspensão (Braniš *et al.*, 2011). Não é fácil caracterizar adequadamente o CO₂ presente no interior, uma vez que a sua concentração

é função da ocupação do local e das taxas de ventilação, sendo que estes dois parâmetros variam no tempo (Pegas, *et al.*, 2011).

1.5 Matéria Particulada (PM)

O aerossol atmosférico é uma mistura complexa de partículas sólidas e líquidas presentes num gás. As PM (em inglês *particulate matter* – PM) variam no tamanho e na sua composição, dependendo da sua fonte e da sua formação. Geralmente as PM são divididas de acordo com o seu diâmetro aerodinâmico (DA) entre PM₁₀ (DA inferior a 10µm), PM_{2.5} (DA inferior a 2.5µm) e PM₁ (DA inferior a 1µm) (Carrer, *et al.*, 2008). São classificadas granulometricamente de acordo com o seu DA por partículas grosseiras entre 2.5µm-10µm, partículas finas entre 0.1µm-2.5µm e partículas ultrafinas (DA inferior a 0.1µm). As partículas podem ser ainda distinguidas entre partículas primárias (diretamente emitidas para a atmosfera) e partículas secundárias (formadas a partir de compostos gasosos) (Almeida, 2004). No interior dos edifícios, as fontes de matéria particulada têm origem no ar exterior (Ferro *et al.*, 2004), pela formação de partículas secundárias através de poluentes emitidos no interior (como o ozono e alguns COV) (Weschler e Shields, 1999), pela emissão direta de PM através da queima de combustíveis ou pelo fumo do tabaco (Carrer, *et al.*, 2008).

As PM têm vindo a ser alvo de estudo intensivo ao longo dos anos e hoje sabe-se que o tamanho das partículas está diretamente ligado ao potencial de dano na saúde. As PM₁₀ apresentam grandes problemas uma vez que atingem os pulmões e as partículas mais finas podem inclusivé entrar na corrente sanguínea (Oravisjärvi *et al.*, 2011). Vários estudos ligam a exposição a PM a uma variedade de problemas como morte prematura ou doença cardíaca ou pulmonar, agravamento de asma, diminuição da função respiratória, tosse, irritação das vias respiratórias e dificuldade em respirar (EPA, 2012). No entanto estas ligações são difíceis de estabelecer de forma concreta, uma vez que existem outros poluentes como o CO e NO_x que têm a mesma fonte antropogénica de emissão que as PM (queima de combustíveis) e que também podem contribuir para o aparecimento dos efeitos na saúde acima descritos (Fan, *et al.*, 2009).

1.6 Material Biológico

O material biológico do ar interior com relevância para a saúde humana é muito heterogêneo, variando desde pólenes de plantas provenientes principalmente do exterior, até contaminantes microbianos, como as bactérias e os fungos emitidos no exterior ou no interior. A poluição microbiana envolve centenas de espécies de bactérias e fungos que crescem no interior quando existe umidade suficiente disponível. A exposição a contaminantes microbianos está clinicamente associada a sintomas respiratórios, alergias, asma e reações imunológicas (WHO, 2009) dependendo da natureza do agente microbiológico e do estado de saúde do hospedeiro.

Os principais fatores que influenciam o crescimento microbiológico são a umidade, a temperatura e os nutrientes disponíveis num edifício. As taxas de ventilação para a renovação do ar são também um fator crucial para o controle do crescimento microbiano. Em espaços fechados, com grande atividade física e com elevado número de pessoas, como é o caso de escolas e ginásios, o surgimento de microrganismos nas superfícies e no ar é bastante comum (Dacarro *et al.*, 2003). Existem espécies de bactérias e fungos mais preocupantes quando presentes no ar interior por serem patogênicas, produtores de micotoxinas e endotoxinas.

Para além das diferenças taxonômicas existentes entre bactérias e fungos, existem outras características que fazem com que ambos sejam importantes no estudo da QAI. Os fungos são importantes uma vez que atuam como decompositores da matéria orgânica em outras moléculas orgânicas ou inorgânicas, tornando-as viáveis para serem utilizadas por outros organismos. Porém os fungos são também a maior causa de doença em plantas, provocando grandes danos e prejuízos na produção agrícola (Prescott *et al.*, 1999). Os fungos são microrganismos umbíquos que proliferam em mais locais do que as bactérias porque apresentam um A_w ² inferior. As bactérias necessitam de um A_w acima de 0.80, enquanto que os fungos apresentam valores mínimos de A_w que rondam 0.70 (Beuchat *et al.*, 2013). Quanto ao substrato necessário para o crescimento, os

² A_w representa a disponibilidade de água necessária ao crescimento microbiano.

fungos são menos seletivos, crescendo em superfícies diferenciadas (madeira, paredes, papel, etc.); aliado a este crescimento fácil, junta-se o facto da existência de esporos nas suas colónias que são facilmente libertados para o ar pelas hifas aéreas (Figura 1), enquanto que as bactérias, devido à consistência gelatinosa das suas colónias, não promovem tão facilmente este processo (Figura 2).



Figura 1 – Colónia de fungos.

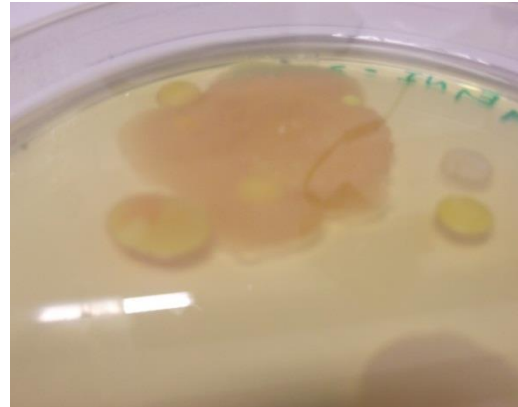


Figura 2 – Colónia de bactérias.

Outra característica dos fungos é a sua capacidade de produção de micotoxinas (por espécies como *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*), que podem penetrar no organismo humano por via dérmica, oral e inalatória, causando assim reações diferentes no organismo hospedeiro (Jarvis e Miller, 2005).

Capítulo 2. Controlo Ambiental

O controlo de parâmetros presentes no ambiente engloba uma série de ações adaptadas ao perigo em causa, podendo estes serem danosos para o ambiente e para a saúde humana. Para o controlo do perigo, para além da monitorização do próprio perigo, poderá ser importante a criação de parâmetros indicadores que lhe dão suporte. Por exemplo, numa sala de operações um dos perigos é a contaminação microbiológica do ar e das superfícies, havendo como parâmetros de controlo a temperatura e a humidade relativa dentro da sala. Em termos práticos pode definir-se o controlo ambiental em cinco etapas fundamentais: i) identificação do perigo a controlar, ii) definição dos limites para o perigo e para os parâmetros indicadores, iii) avaliação do perigo e dos parâmetros indicadores, iv) estabelecimento medidas corretivas e v) monitorização/re-avaliação.

Num espaço interior, e dependendo do tipo de edifício e da atividade desenvolvida, os fatores ambientais a controlar variam. Num edifício, os fatores ambientais a controlar são vários (ruído, iluminação, temperatura, etc.), no entanto aqueles a que é atribuída maior importância e que são controlados com mais frequência, são as taxas de ventilação praticadas pelos sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), a temperatura e a humidade relativa existente, que fazem parte do conforto térmico e atualmente os poluentes do ar interior.

2.1 Ventilação

A ventilação é o processo que promove a entrada e a renovação de ar dos espaços. A ventilação tem dois objetivos primários que são i) remover ou diluir os poluentes e odores no ar interior e ii) promover o conforto térmico em ambientes interiores.

De acordo com Amaral (2008), a estratégia de ventilação, se for concebida de forma deficiente ou implementada incorretamente, pode ser causadora de desconforto, devido, por exemplo, às correntes de ar. Por outro lado, a sua correta conceção e implementação pode contribuir para a remoção da carga térmica no interior dos edifícios, participando na melhoria das condições de conforto térmico. Existem dois tipos de ventilação, a ventilação natural e a ventilação mecânica (Amaral, 2008).

2.1.1 Ventilação Natural

A ventilação natural é a passagem de ar que actua sob diferenças de pressão ou temperatura entre o interior e o exterior, fazendo assim com que o ar circule. Esta passagem do ar ocorre por janelas, portas ou outro tipo de aberturas existentes no edifício. De acordo com Matos (2009), os processos físicos que permitem gerar essa diferença de pressões são de dois tipos, o térmico (devido à diferença de temperaturas) e o eólico (pela conversão da energia cinética do vento em pressão estática sobre a envolvente do edifício). No processo térmico a diferença de temperaturas entre o exterior e o interior, ou entre espaços interiores gera diferentes gradientes de pressão, provocando um desequilíbrio de pressões e promovendo a troca de fluxos de ar; no processo eólico a circulação de ar num espaço interior é originada pela ação do vento que depende da sua incidência, da forma do edifício, e das características locais, nomeadamente da proximidade do edifício a obstáculos e a topografia (Matos, 2009). Em meios urbanos, a estrutura das ruas tipo “*canyon*” reduzem a velocidade do ar, diminuindo assim as taxas de ventilação (Ghiaus *et al.*, 2005)

A renovação do ar interior através da abertura de janelas, permitindo a entrada de ar exterior é um método que permite uma poupança de energia nas estações amenas. No entanto, este método provoca a perda de calor do edifício, ou seja, não existe controlo sobre a temperatura (Chang *et al.*, 2004), levando a uma necessidade de aquecimento e de arrefecimento do ar nas estações extremas (verão e inverno), aumentando assim a necessidade energética. Para além deste facto, a ventilação natural não promove uma barreira ao ruído ambiente vindo do exterior e nem potencia uma filtragem do ar. Afirmar que o ar exterior é “limpo” não é necessariamente verdade do ponto de vista científico, no entanto se nos referirmos a uma zona rural, em muitos locais o ar exterior apresenta-se com um bom índice de qualidade do ar (Monteiro *et al.*, 2007) e como tal poderá ser utilizado para promover uma renovação do ar interior. A Figura 3 mostra o índice de qualidade do ar ambiente em Portugal no ano de 2010. Verifica-se que as zonas com tipo de influência industrial ou de tráfego e localizadas em zona urbana (Setúbal, Aveiro/Ílhavo, Porto Litoral, Estarreja, Coimbra, e Vale do Sousa) apresentam um maior número de dias com índice de qualidade do ar médio, fraco ou mau (APA, 2011). Como tal, nesses locais é essencial haver um pré-tratamento do ar antes deste ser introduzido nos edifícios.

Existem alguns estudos que apontam o ar ambiente como a fonte principal de contaminação do ar interior. As lojas de comércio e outro tipo de espaços que se situem ao nível da rua, com portas e janelas abertas, manifestam uma grande influência de poluentes que têm origem no tráfego apresentando por isso elevadas concentrações de CO₂, dióxido de azoto (NO₂) e benzeno no ar interior (Liao *et al.*, 1991). Em escolas portuguesas, Pegas *et al.* (2010) concluiu que com as janelas fechadas a razão entre as concentrações obtidas no interior e no exterior (I/E) para o NO₂ é inferior a 1 (0.64), percebendo-se assim que este poluente tem origem exterior; no entanto, esta situação fez aumentar a concentração no interior de COV (10.3µg/m³) e de formaldeído (1.03µg/m³), poluentes com origem nos materiais de construção existentes no interior.

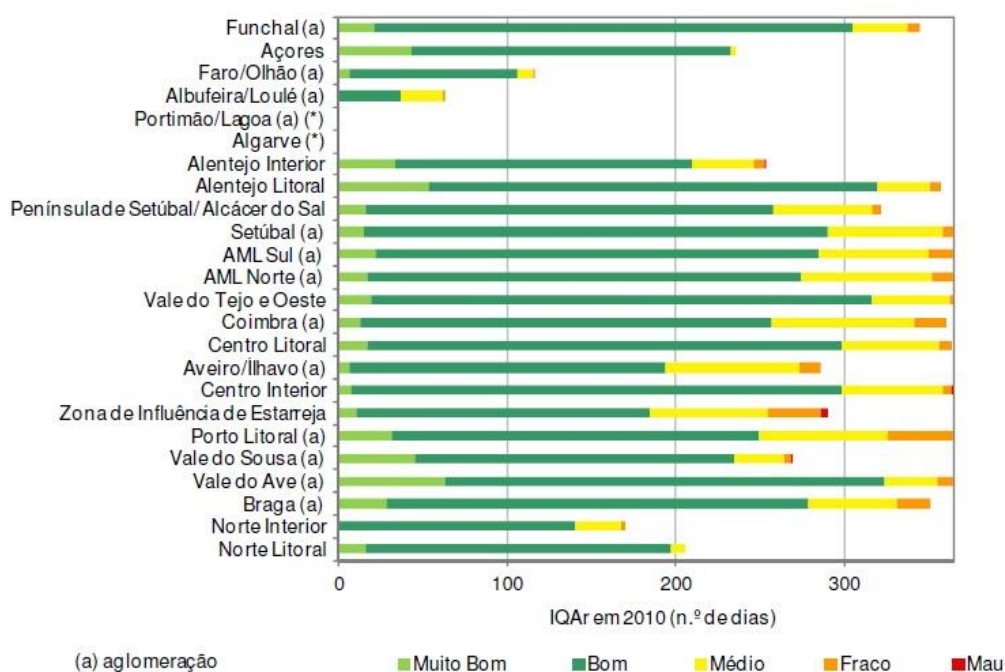


Figura 3 – Índice de Qualidade do Ar Exterior em 2010.

Fonte: APA, 2011

Outros autores chegaram ao mesmo tipo de conclusão: a razão I/E na concentração de poluentes indicou infiltração vinda do exterior para poluentes como NO₂, ozono (O₃) e dióxido de enxofre (SO₂) (López-Aparicio *et al.*, 2011); Wichmann *et al.* (2010) determinou no seu estudo desenvolvido na Suécia uma razão I/E de 0.87 para PM_{2.5}, 0.72 para fuligem e 0.85 para NO₂, em edifícios no centro da cidade.

2.1.2 Ventilação Mecânica

O ar distribuído pelos sistemas de ventilação não deve ser ele próprio uma fonte de contaminação do ar interior, no entanto isso pode acontecer se não forem tomadas as opções corretas na fase de projeto do edifício e durante a sua exploração. A localização das admissões de ar é um ponto muito importante a ter em atenção na fase de projeto do sistema AVAC. As entradas de ar não devem estar localizadas junto a fontes de poluição, tais como junto à exaustão do sistema AVAC, a garagens, ao nível térreo e a torres de arrefecimento. É também importante ter em conta as fontes emissoras da vizinhança em que o edifício se instala e a direção dos ventos predominantes. No interior do edifício, é importante conhecer o tipo de atividade que se vai desenvolver, de modo a caracterizar as possíveis fontes emissoras e o número de ocupantes para que se possa dimensionar o sistema e as taxas de ventilação de forma correta. A manutenção do sistema ao longo do tempo de vida do edifício é crucial para o bom funcionamento do mesmo e para garantir a qualidade do ar insuflado. A substituição dos filtros de partículas, a limpeza das unidades de tratamento de ar, dos controladores de caudal, dos ventilosconvetores e das próprias condutas devem estar claramente definidos no plano de manutenção do sistema. A Figura 4 representa de forma simples a estrutura de um sistema AVAC. Inicialmente o ar novo vindo do exterior, passa por uma série de filtros para que sejam removidas as partículas (poderão existir dois filtros, o primeiro para retenção de partículas grosseiras e o segundo para as mais finas), em seguida o ar necessitará de ser aquecido ou arrefecido, consoante a estação do ano, através de baterias de aquecimento ou de arrefecimento. Após a bateria de arrefecimento existe um tabuleiro de condensados, que recolhe a água condensada na mesma. No final poderá existir ainda um humidificador para adequar a humidade presente no ar a insuflar. Após extração do ar dos espaços interiores, parte deste poderá ser aproveitado (ar de retorno) ser misturado com o ar novo e reintroduzido novamente nos espaços, diminuindo assim gastos energéticos.

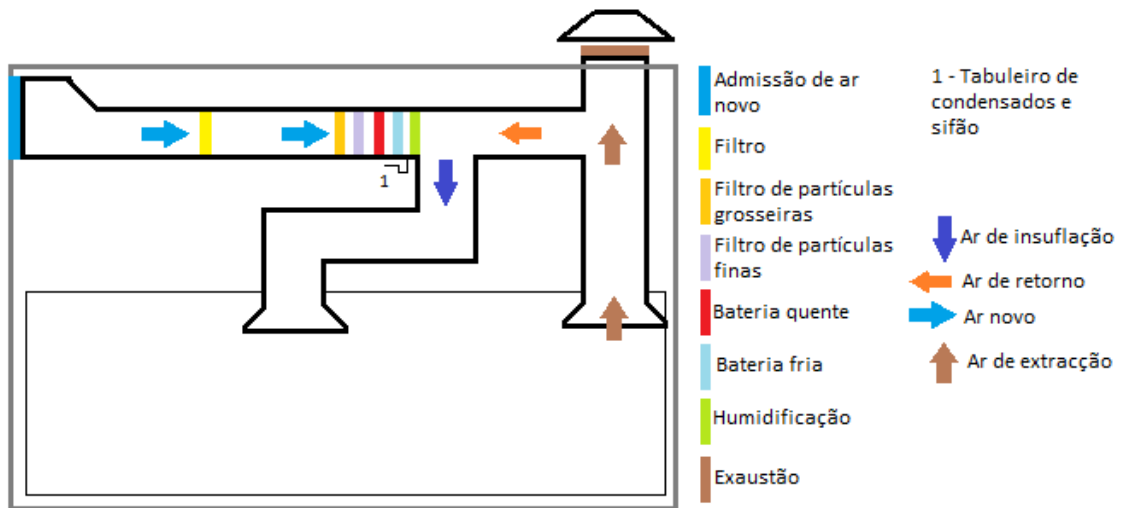


Figura 4 – Esquema do sistema AVAC.

Um dos pontos negativos da ventilação mecânica é o consumo energético que esta acarreta para o seu funcionamento, bem como os custos de manutenção associados. Por vezes os gestores dos edifícios descaram a utilização do sistema para reduzir custos, no entanto esta ação tem efeitos negativos na QAI. Neste contexto surge um novo conceito que é a ventilação híbrida. A ventilação híbrida tem como pressuposto a combinação do melhor da ventilação natural e da mecânica, dependendo dos períodos do dia e da época do ano, conseguindo-se minimizar o consumo de energia e mantendo uma boa QAI (European Commission - IHCP, 2003).

De acordo com o Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de abril, a ventilação híbrida consiste na “renovação do ar interior por ar novo atmosférico exterior recorrendo a ventilação natural, sempre que as condições permitam caudais suficientes de renovação, e a ventilação mecânica, quando a ventilação natural é insuficiente, de forma alternativa ou complementar. É caso comum ter a admissão de ar exterior por meios naturais, estimulada pela extração mecânica de ar (exaustão)”. A estratégia de controlo de um sistema de ventilação híbrida deve incluir pelo menos dois tipos de controlo, nomeadamente pela QAI e pela temperatura no interior do edifício e ser feita em função das necessidades específicas do espaço. Como explica a Figura 9, a ventilação natural e mecânica tem pressupostos diferentes e é com a adaptação destes pressupostos às necessidades do edifício que se chega à ventilação híbrida. Usualmente o controlo pela QAI é a estratégia utilizada no inverno com recurso à ventilação mecânica e o controlo pela temperatura é utilizado no verão usando a ventilação natural.

Deverá ainda existir uma terceira estratégia de controlo que faça a transição entre estes dois períodos extremos (Ferreira, 2006).

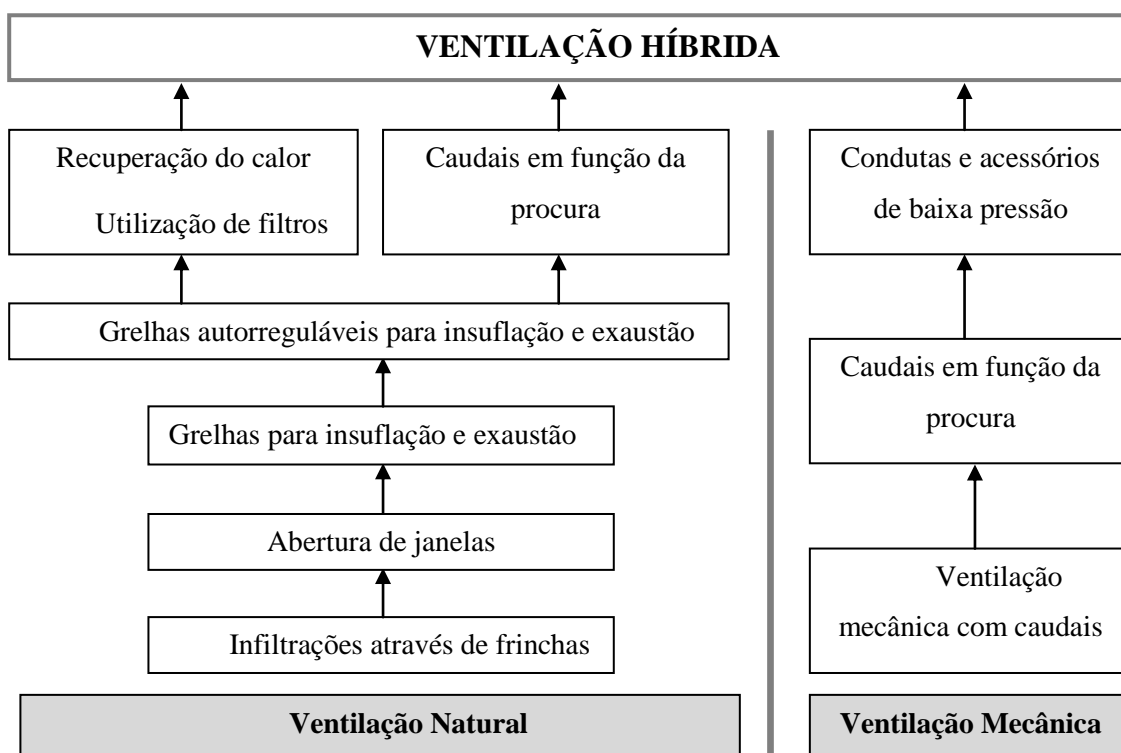


Figura 5 – Desenvolvimento de um sistema de ventilação híbrido.

Fonte: European Commission - IHCP, 2003

Independentemente do tipo de ventilação, esta é essencial ao bem-estar dos ocupantes de qualquer edifício porque, como já foi referido, a ventilação é o método mais eficaz para a remoção ou diluição dos poluentes existentes no ar interior. Este facto está verificado e é descrito em vários estudos que relacionam uma deficiente ventilação com baixo desempenho escolar (Haverinen-Shaughnessy *et al.*, 2011), diminuição da atenção, da concentração e memória em crianças (Bakó-Biró *et al.*, 2012) e com o agravamento dos sintomas da Síndrome do Edifício Doente (SED) (Fisk *et al.*, 2009), tais como inflamação e infeções das vias respiratórias e asma (Sundell, *et al.*, 2012).

2.1.3 Síndrome do Edifício Doente (SED)

No final do século XIX foi estabelecido que as taxas de ventilação deveriam ser de 15L/s por pessoa (Sundell, *et al.*, 2012), porém a crise do petróleo, e consequente crise energética, registada em 1973 fez com que as taxas de ventilação praticadas descessem para cerca de 3L/s por pessoa (EPA, 1991). A Figura 6 representa a variação das taxas de ventilação nos Estados Unidos da América (EUA) desde 1836 até ao ano 2000. Juntamente com o aumento da construção de edifícios em altura, cada vez mais isolados e sem a possibilidade de abrir janelas, levaram a que surgissem queixas dos ocupantes dos edifícios e assim se chegou ao conceito do SED que, posteriormente, levou à ciência da QAI.

O termo SED é usado para descrever situações em que os ocupantes de um edifício experimentam efeitos na sua saúde e desconforto e que aparentam estar relacionados com o tempo despendido nesse edifício, ou seja desaparece quando o indivíduo se ausenta do local, sem manifestar uma doença específica ou com uma causa identificada (EPA, 2010). O fator que mais contribui para a existência de SED é a ventilação inadaquada. Com base na análise de Fisk *et al.*, (2009) realizada através de dados publicados em documentos neste âmbito, quando as taxas de ventilação descem de 10L/s por pessoa para 5L/s por pessoa, a prevalência de sintomas relacionados com SED aumenta cerca de 23% e quando as taxas de ventilação aumentam de 10L/s por pessoa para 25L/s por pessoa, a mesma prevalência diminui perto de 29%.

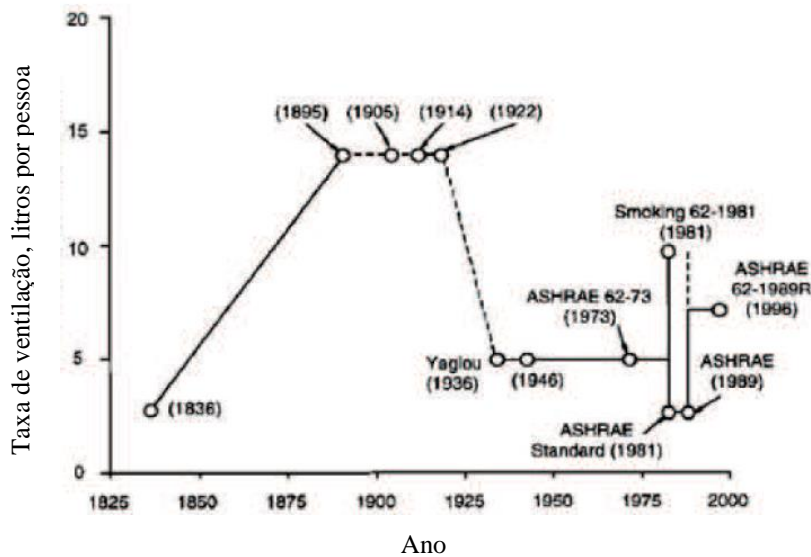


Figura 6 – Evolução das taxas de ventilação nos Estados Unidos da América.

Fonte: Silva, 2012

A ventilação é o motor principal que conduz ao início do SED, porque ao ser inadequada afeta diretamente as concentrações de outros poluentes no interior dos edifícios. Poluentes como o CO₂ estão associados a sintomas como cefaleias, fadiga, irritação ocular, nasal e do trato respiratório (Erdmann *et al.*, 2002). No seu estudo de revisão bibliográfica, Seppänen *et al.* (1999) indica que nove dos dezoito trabalhos analisados sobre edifícios comerciais e institucionais com SED, o aumento de CO₂ estava significativamente associado de forma positiva a um os mais sintomas de SED. Também o bio-aerosol presente no ar, principalmente fungos (*Penicillium* e *Stachybotrys*), está relacionado com o aparecimento de SED (Colley *et al.*, 1998; Assouline-Dayyan *et al.*, 2002).

Apesar deste fenómeno ter começado a surgir em edifícios institucionais, em habitações o SED também pode surgir. Com a emancipação da mulher e o aumento da sua presença no mercado de trabalho, as habitações começaram a ficar fechadas durante o dia, sem haver promoção da ventilação. Durante a noite as janelas não são abertas devido às temperaturas exteriores e aliado a este facto, a maioria das habitações não possui ventilação mecânica que promova trocas de ar em horário noturno adequando o conforto térmico dos ocupantes.

O melhor modo de evitar o surgimento do SED é atuando de forma preventiva. Para edifícios a construir, é necessário dar atenção logo de início à fase de projeto do edifício, valorizando a exposição solar e adequando os sistemas de ventilação à natureza do edifício. Na fase de construção devem ser utilizados materiais com baixo índice de emissão de poluentes, especialmente COV e tintas anti-fúngicas. Em exploração do edifício é fulcral implementar boas práticas, tanto ao nível da manutenção dos sistemas de ventilação (no caso de ventilação mecânica) como no comportamento dos ocupantes. Quando se tratam de edifícios já existentes, para além da substituição de materiais causadores de impacto na QAI, deve ter-se especial atenção à manutenção do edifício em todas as suas vertentes: limpeza de espaços e manutenção de todos os elementos do sistema AVAC. É ainda relevante ouvir as opiniões e queixas dos ocupantes, uma vez que estas podem ser condutoras de eventuais questões para a QAI e possíveis sugestões de melhoria.

2.2 Conforto Térmico

O conforto térmico é um parâmetro muito subjetivo uma vez que depende da avaliação individual de cada um. Os parâmetros que influenciam o conforto dos ocupantes num espaço podem ser agrupados em três categorias: i) parâmetros físicos (temperatura – superfícies, ar e radiante –, humidade relativa e velocidade do ar), ii) parâmetros fisiológicos (idade, sexo ou patologias dos indivíduos) e iii) parâmetros externos (atividade desenvolvida e vestuário). O parâmetro do conforto térmico é avaliado com base em dois indicadores definidos na ISO 7730, o PMV (Predicted Mean Vote) e o PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied).

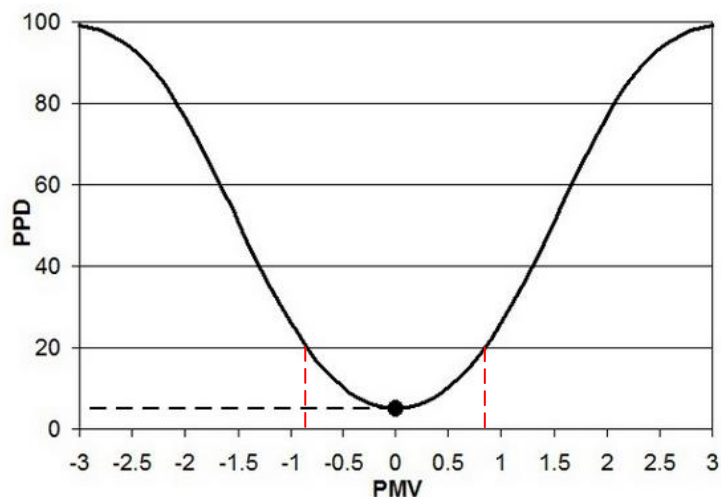


Figura 7 – Relação entre o PPD e o PMV.

Fonte: García, 2010

O PMV é um modelo que estima, com base numa tabela quantitativa³ o conforto térmico de cada ocupante do espaço para calcular o voto médio. O PPD deriva do PMV, partindo do pressuposto que para o intervalo de valores registado do PMV existe um intervalo de 10% para o PPD. Ou seja, se o resultado do PMV for 0 (neutro), para um valor de PMV de -0.8 e de 0.8, correspondem a uma percentagem de insatisfeitos na ordem dos 20%, ou seja, 20% dos sujeitos inquiridos encontram-se com “frio” (≈ -1) ou com “calor” (≈ 1), como mostra a Figura 7.

2.2.1 Temperatura

Como já foi referido, a temperatura é um fator que condiciona principalmente o conforto dos ocupantes num edifício e o crescimento microbiano. Normalmente este é um ponto de discórdia entre os ocupantes quando se está perante um sistema AVAC, uma vez que dependendo da suscetibilidade individual de cada um, a temperatura de conforto para A pode não ser a mesma que para B. Para efeitos de conforto térmico a temperatura é avaliada sob dois parâmetros: a temperatura do ar e a temperatura radiante (temperatura emitida por objetos e equipamentos). O movimento do ar define a

³ -3 (Muito frio), -2 (frio), -1 (algum frio), 0 (neutro), +1 (algum calor), +2 (calor), +3 (muito calor).

transferência de calor e massa por convecção entre o corpo humano e o ambiente. No verão, velocidades do ar elevadas aumentam a taxa de evaporação na pele e, conseqüentemente, a sensação de arrefecimento. Para além deste fator, a adequação do vestuário de cada indivíduo ao clima, permite o controlo da temperatura interna, já que o balanço térmico do corpo humano envolve processos fisiológicos (Ferreira, 2006).

2.2.2 Humidade Relativa (HR)

A par da temperatura, a HR é mais um parâmetro físico que influencia o crescimento microbiano. A HR é expressa em percentagem e representa a quantidade de água presente no ar, em relação ao seu valor máximo (100%). Uma HR considerada ótima, está compreendida entre 30% a 60%. Uma HR fora dos parâmetros considerados como aceitáveis pode causar desconforto nos ocupantes, tal como secura das mucosas (olhos, garganta e nariz) para uma HR baixa e problemas respiratórios e reações alérgicas quando a HR é elevada (devido ao aumento do desenvolvimento da matéria microbiana no ar) (CCOHS, 2004).

Capítulo 3. Suscetibilidade durante o Exercício Físico

Após a abordagem feita aos principais poluentes do ar interior, é pertinente cruzar a informação anterior com a atividade física. A atividade física tem benefícios claramente demonstrados, na redução das doenças cardiovasculares, diabetes, osteoporose, cancro do cólon e da mama (Warburton *et al.*, 2006). Em Portugal, no período de 2004 a 2009, mais de metade dos óbitos resultaram de doenças do aparelho circulatório e de tumores, que representaram, respetivamente, a primeira e a segunda causa de morte em Portugal. Em 2009, estes dois grupos de doenças (aparelho circulatório e tumores) foram responsáveis, respetivamente, por 31.9% e 23.7% dos óbitos de residentes em Portugal. Em terceiro lugar surgiam as doenças do aparelho respiratório (11.7%) (INE, 2012). Perante estes dados, a atividade física apresenta-se como um ponto a incluir no dia a dia dos portugueses.

3.1 Fisiologia do Exercício

Um dos primeiros indicadores de que a exposição a poluentes durante a prática de exercício é majorada, é o aumento e a profundidade a que os poluentes penetram nos pulmões. Um aumento da atividade física resulta numa maior frequência respiratória (inspirações/minuto) e num maior volume inspiratório (L), por forma a dar resposta à necessidade do organismo a maiores concentrações de O₂ em menos tempo.

Em situação de repouso os valores de referência para os parâmetros frequência respiratória, volume inspiratório e ventilação por minuto estão apresentados na Tabela 2 e resultam na compilação de dados de dois autores.

Tabela 2 – Valores dos parâmetros fisiológicos em repouso.

	Volume Inspiratório (L) - V_T	Frequência Respiratória (inspirações/minuto) - f_R	Ventilação por Minuto (L/min) - $V\dot{E}$
Daigle <i>et al.</i> , 2003	0.58 ± 0.13	16 ± 2.8	9 ± 1.3
	0.60 ± 0.11	20 ± 2.4	11.5 ± 2.3
Chalupa <i>et al.</i> , 2004	0.78 ± 0.14	18 ± 2.5	13.3 ± 2.0

A Tabela 3 representa um conjunto de dados onde estão apresentados valores dos três parâmetros fisiológicos anteriores registados durante exercício físico em passeadeira

e num cicloergómetro, em doze indivíduos (seis atletas de competição e 6 atletas recreativos) em diferentes patamares de VO_{2max} . O VO_{2max} é definido como a quantidade máxima de oxigénio captado pelo organismo, que por sua vez será utilizado pelos tecidos musculares. Aplicando este conceito a um teste de exercício progressivo, a captação de O_2 aumenta de forma linear relativamente à carga de trabalho exigida até que o ponto VO_{2max} seja atingido. Quando isto ocorre, um aumento na carga de trabalho não provocará um aumento da captação e transporte de CO_2 (Leite, 2006). Comparando os números para a situação de repouso com os dados para situações de exercício (Tabela 3) verifica-se que se dá um aumento muito acentuado nos três parâmetros apresentados. Este fenómeno acontece tanto em indivíduos treinados (atletas de competição), como em atletas recreativos (que são essencialmente os utilizadores dos ginásios), sem diferenças significativas entre estes dois grupos.

Tabela 3 – Parâmetros fisiológicos para atletas de competição (AC) e atletas recreativos (AR).

Exercício	Indivíduo	VO_{2max}	Volume Inspiratório (L) - V_T		Frequência Respiratória (inspirações/minuo) - f_R		Ventilação por Minuto (L/min) - $V\dot{E}$	
			AC	AR	AC	AR	AC	AR
Cicloergómetro	1	50	1.71	1.72	28.88	26.68	47.68	44.10
	2	60	1.90	1.95	30.29	27.81	53.35	52.00
	3	70	2.08	2.28	32.91	30.69	67.67	67.92
	4	80	2.32	2.48	32.67	34.92	83.36	84.47
	5	90	2.50	2.56	41.96	43.58	104.61	111.89
	6	100	2.50	2.57	58.79	57.89	146.71	146.92
Passadeira	1	50	1.59	1.69	37.78	32.96	58.02	51.66
	2	60	1.73	1.80	39.00	34.38	64.94	59.66
	3	70	1.84	2.11	38.89	34.53	72.64	69.14
	4	80	1.94	2.25	44.18	38.41	85.61	82.83
	5	90	2.13	2.39	50.22	44.44	105.28	103.53
	6	100	2.15	2.43	62.09	58.18	131.26	140.25

Fonte: Power (2008)

Para haver a certeza de que não existem diferenças significativas entre os dois grupos estudados por Power (2008), foi aplicado o teste estatístico Mann-Whitney aos resultados obtidos para a ventilação por minuto. Foi escolhido este parâmetro uma vez

que resulta do produto dos outros parâmetros anteriores sendo mais fidedigno para comparação:

$$V\dot{E} = V_T \times f_R \quad (\text{eq. 1})$$

A aplicação do teste apresentou valor de 0.005 ($p = 0.05$), indicando que os grupos não são estatisticamente diferentes entre si. Como se verifica por esta análise, tanto os AC como os AR são grupos vulneráveis à poluição durante a prática de exercício físico, sendo por isso pertinente estudar a relação existente entre a exposição a poluição atmosférica e o desporto.

3.2 Interação no Aparelho Respiratório

Como justificado no tópico anterior, maiores quantidades de ar poderão trazer consigo uma maior quantidade de poluentes que irão entrar nas vias respiratórias, sendo que algumas delas irão dar entrada pela boca e não pelo nariz, não sofrendo os processos normais de filtração nasal. No caso específico das partículas, depois deste processo segue-se a deposição de partículas no aparelho respiratório que está intimamente ligada à frequência respiratória, ao tipo de respiração, à intensidade do exercício e às propriedades aerodinâmicas das partículas. De acordo com o seu DA, as partículas finas e grosseiras tendem a depositar-se por sedimentação ou impactação, enquanto que as ultrafinas o fazem por difusão. As partículas ultrafinas ($DA < 0.1\mu\text{m}$) têm o potencial de conseguirem entrar na corrente sanguínea e percorrerem o organismo (Oravisjärvi *et al.*, 2011).

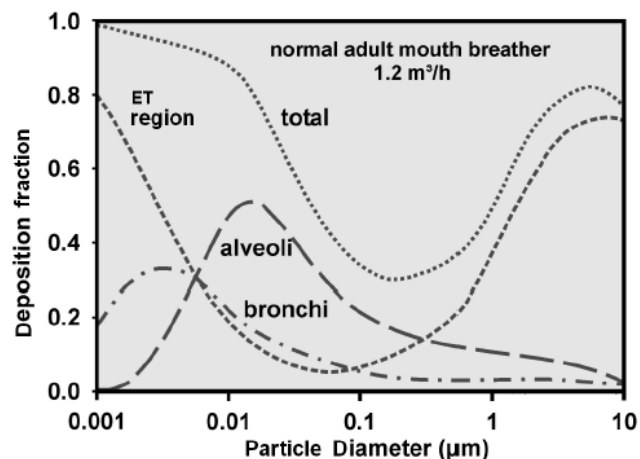


Figura 8 – Média prevista para a deposição total e regional, com base no modelo ICRP⁴, através da respiração pelo nariz, em exercício físico leve.

Fonte: Hussain *et al.*, 2011

Pela figura anterior verifica-se que ao nível das partículas entre 1µm e 10µm, a deposição é maior na região extratorácica (ET), ou seja fossas nasais e faringe, enquanto que para as partículas entre 0.01 e 0.1 a deposição é superior ao nível dos alvéolos e dos brônquios. Porém à medida que o tamanho da partícula diminui, a deposição na região ET aumenta novamente. Este facto acontece devido às bifurcações existentes no aparelho respiratório nas quais se verificou que nessas zonas existe uma grande acumulação do material inalado, bem como às entradas dos ductos alveolares (Hussain *et al.*, 2011).

3.3 Evidências entre a Qualidade do Ar e Exercício Físico

A preocupação relativa a este tema tem sido demonstrada por estudos realizados sobre o impacte que o ar contaminado tem durante a prática de exercício físico. Porém foi durante a realização dos Jogos Olímpicos de verão de 2008 em Pequim que esta problemática sobressaiu de forma mais evidente. Devido ao crescimento económico chinês desde 1980, a poluição atmosférica tornou-se num grave problema ambiental e

⁴ International Commission on Radiological Protection.

de difícil controlo apesar dos esforços do governo chinês. Com a chegada dos Jogos Olímpicos a Pequim, foi estabelecido um compromisso ambiental na redução das emissões por forma a reduzir a poluição atmosférica existente devido aos efeitos que esta iria provocar nos atletas de alta competição (UNEP, 2009). As medidas adotadas apresentaram-se satisfatórias, tendo havido uma redução entre 22% - 43% no tráfego automóvel, que se refletiu numa redução de 28% - 50% nas concentrações de carbono negro, 43% nos níveis de NO₂, 13% nas concentrações de SO₂ e 12% nos níveis de CO, durante o período dos Jogos (Okuda, *et al.*, 2011). Posteriormente Braniš e Větvička (2010) afirmaram que os atletas que participaram nos Jogos Olímpicos em Pequim não se encontravam em risco por exposição a PM₁₀, devido à implementação das medidas de mitigação, após um estudo realizado na Cidade Olímpica.

Os estudos realizados em Pequim foram importantes na relação entre a qualidade do ar ambiente e o exercício físico, mas como já foi referido anteriormente, existem evidências que demonstram que o ar interior afeta a saúde dos seus ocupantes e por esse motivo, os estudos incidentes sobre instalações desportivas intensificaram-se nos últimos anos. Os ringues de gelo, muito comuns nos países do Norte da Europa e no Norte dos Estados Unidos da América e Canadá, são desde a década de 90 alvo de estudos sobre a QAI devido às concentrações de CO, NO₂ e PM com origem nos veículos que suavizam o gelo e que utilizam combustíveis fósseis. As concentrações elevadas de CO e NO₂ chegaram inclusive a provocar envenenamentos a atletas e espectadores (Pelham *et al.*, 2002). Atualmente é recomendado que sejam utilizados equipamentos elétricos ou, nos casos em que estes não existam, sejam aumentadas as taxas de ventilação dos ringues e tomadas medidas preventivas na monitorização dos poluentes (Salonen *et al.*, 2008). Outro local de atenção são os ginásios escolares, principalmente devido à suscetibilidade das crianças à poluição. Nestes espaços foram encontrados problemas relativamente à concentração de CO₂, devido à elevada ocupação dos espaços (Lu *et al.*, 2011). Relativamente às PM₁₀, concentrações elevadas têm sido registadas em ginásios escolares, sendo que a concentração é influenciada pelo número de aluno/horas passadas no ginásio. Esta matéria é de origem natural e a ressuspensão causada pelas atividades provocou um aumento nas concentrações de PM₁₀ (Braniš *et al.*, 2011). Também Buonanno *et al.*, (2012) verificou que a fração grosseira de partículas (PM_{2.5-10}) é a que mais contribui para ressuspensão de partículas

numa amostra de 12 ginásios escolares. Nestes ginásios constatou-se que, sob ventilação natural, a concentração média no interior de $PM_{10-2.5}$ foi 4.8 vezes superior à concentração média registada no exterior (Buonanno *et al.*, 2012). Em termos de contaminação microbiológica do ar, Dacarro *et al.*, (2003) verificou num estudo realizado em 11 ginásios escolares, que apesar dos alunos não se encontrarem expostos a concentrações elevadas de fungos, a contaminação microbiológica no interior foi superior em relação à contaminação no ar exterior, onde foram ainda identificadas espécies alergénicas como *Acremonium sp.*, *Beauveria sp.*, *Candida spp.*, *Cryptococcus sp.*, *Mucor spp.*, *Scopulariopsis sp.*, *Stemphylium spp.* e outras espécies potencialmente perigosas como *Cladosporium spp.* Em Portugal foi conduzido um estudo sobre a prevalência de fungos no ar presente no interior de ginásios, tendo sido encontrados seis géneros com maior prevalência, foram eles o *Cladosporium sp.*, *Penicillium sp.*, *Aspergillus sp.*, *Mucor sp.*, e *Phoma s.p.*, dois deles coincidentes com os géneros do estudo anterior (Viegas C., *et al.*, 2010).

Capítulo 4. Legislação Aplicável à Temática

O surgimento da Diretiva 2002/91/CE, que impôs aos Estados Membros da União Europeia (UE) a promoção da melhoria do desempenho energético dos edifícios, trouxe a oportunidade de colocar Portugal um passo à frente dos outros países da Comunidade. Conjuntamente à obrigação de regular os consumos energéticos em edifícios, Portugal foi o primeiro país a incluir requisitos sobre a QAI para a emissão do certificado energético. O Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de abril, aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e do Ar Interior e o Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de abril apresenta valores para as concentrações máximas de alguns poluentes químicos presentes no ar interior, como PM₁₀, CO₂, CO, O₃, CH₂O e COV e microrganismos.

Para realizar um enquadramento legal à temática é necessário realizar a abordagem ao Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de abril bem como a outros referenciais normativos e recomendações de entidades e organizações externas.

4.1. Regulamento dos Sistemas Energéticos e Climatização de Edifícios

Este regulamento surgiu inicialmente através do Decreto-Lei n.º 156/92 de 29 de Julho com o intuito de *“regulamentar as condições em que se definem as dimensões e se devem processar a instalação e a utilização de equipamentos e sistemas nos edifícios com sistemas energéticos de aquecimento e ou de arrefecimento, sem ou com desumidificação, por forma a assegurar a qualidade das respetivas prestações, com respeito pela utilização racional da energia, pelo ambiente e pela segurança das instalações”*, mas que foi posteriormente alterado em 1998 pelo Decreto-Lei n.º 118/98 de 7 de maio, uma vez que o regulamento anterior *“carecia de revisão, no sentido de serem introduzidas algumas correcções decorrentes da necessidade de compatibilização com o direito comunitário”*. Em 2006 surge então o Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de abril com um dos seus quatro pilares a assentar na *“(…) condição de eficiência energética e da qualidade do ar interior dos edifícios.”*

Este diploma é aplicado a todos os edifícios já existentes com área útil superior a 1000m² e para edifícios novos com potência instalada superior a 25kW.

Este diploma define que as concentrações máximas de referência de poluentes e contaminantes no interior dos edifícios existentes deverão estar de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 - Concentrações máximas de poluentes de acordo com o RSECE.

Parâmetro		Concentração máxima de referência
PM ₁₀		0.15 mg/m ³
CO ₂		1800 mg/m ³
CO		12.5 mg/m ³
O ₃		0.2 mg/m ³
CH ₂ O		0.1 mg/m ³
COV Totais		0.6 mg/m ³
Radão ⁵		400 Bq/m ³
Microrganismos	Fungos	500 UFC/m ³
	Bactérias	
	Legionela	100UFC/L

Neste diploma são também estabelecidos os caudais mínimos de ar novo para ginásios que é de 35m³/h por ocupante, o que equivale a cerca de 583L/h por ocupante. De acordo com o artigo 33.º do mesmo diploma, as auditorias da QAI a espaços desportivos e centros de lazer devem ser realizadas de dois em dois anos. Dados de 2011 indicam que em Portugal tinham sido já realizadas 2534 certificações de QAI a edifícios não habitacionais, sendo que a espaços desportivos tinham sido efetuadas 43 certificações, o que perfaz uma percentagem muito baixa de 1.69% (Almeida *et al.*, 2012).

4.1.1 Nota Técnica – NT-SCE-02

Esta NT-SCE-02 é um documento técnico que foi criado após a publicação do RSECE onde está definida a metodologia de auditoria à QAI que pretendeu uniformizar e tornar reproduzível a forma de atuação dos peritos qualificados na avaliação dos

⁵ Aplicável apenas nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco

requisitos de QAI previstos no RSECE (ADENE, 2013). Neste documento são abordados pontos fundamentais à correta realização de uma auditoria tais como os métodos de amostragem e medição, tratamento de resultados, critérios de conformidade, avaliação das condições higiénicas e da capacidade de filtragem do sistema AVAC, registo de resultados no certificado e a criação do plano de ações corretivas da QAI. No que respeita aos critérios de conformidade, na NT-SCE-02 são especificados criteriosamente os quadros de conformidade legal para situações de não conformidade para vários poluentes. É assim importante ter em consideração esta NT-SCE-02, uma vez que nos oferece uma abordagem mais precisa na interpretação dos resultados encontrados.

4.2 Referenciais Europeus e Internacionais

Apesar de a legislação portuguesa já manifestar referenciais para alguns parâmetros da QAI, é relevante rever informação de outras organizações e instituições fora do contexto português, para que se possa obter uma análise comparativa. Durante a pesquisa foram encontrados vários valores guia para espaços interiores, sendo muitos deles direcionados para o contexto ocupacional. A separação dos dois contextos, ocupacional e não-ocupacional, poderá ser confusa uma vez que nos edifícios onde se estuda a QAI, é o local de trabalho de vários indivíduos. Contudo esses referenciais ocupacionais foram ignorados, já que não são comparáveis com os parâmetros da QAI. No entanto, o estabelecimento de referências para o ar interior ainda não foi claramente definido na UE devido à avaliação sistemática dos riscos para a saúde para estes poluentes ainda não estar disponível. Uma correta gestão da QAI é difícil não só por existir uma grande variação nos espaços interiores, mas também devido às relações complexas entre a QAI e o *design* do edifício, materiais, operações de manutenção, ventilação e o comportamento dos utilizadores do edifício (Koistinen, *et al.*, 2008).

4.2.1 Europa

A Comunidade Europeia apesar ter emitido em 2008 a Diretiva 2008/50/CE, que veio unificar num só documento cinco atos legislativos europeus sobre qualidade do ar (Diretiva Quadro sobre Qualidade do Ar – Diretiva 96/62/EC – e as respetivas Diretivas Filhas – 1999/30/EC, 2000/69/EC, 2002/3/EC e 2004/107/EC), apenas reporta para a

qualidade do ar ambiente não revelando qualquer preocupação sobre a qualidade do ar a nível interior, apesar do conhecimento já existente nesta área sobre os seus efeitos na saúde. Talvez por esta “falta de orientação superior” a nível da CE, que poucos são os países que têm estabelecidos referenciais para a QAI e, aqueles que os têm, não os aplicam de modo obrigatório, mas sim de forma indicativa, como é o caso da Alemanha. Países como a França e o Reino Unido possuem organizações⁶ que reúnem informação sobre a QAI que possa ser apresentada aos órgãos decisores dos seus países de modo a adotar legislação específica sobre este tema.

4.2.2 Regulamentação Internacional

A nível internacional são bastante conhecidas as diretrizes de organizações como a OSHA (Occupational Safety and Health Administration), a NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) e a ACGIH (Industrial Hygiene, Environmental, Occupational Health), contudo estas orientações estão direcionadas para o contexto ocupacional, cujos valores não poderão ser aplicados ao contexto que é abordado neste estudo. Na China existe um sistema de certificação para a QAI semelhante ao que é aplicado em Portugal, com avaliação a doze parâmetros (temperatura, humidade relativa, velocidade do ar, CO, PM₁₀, NO₂, O₃, CH₂O, COV, radão e bactérias) aplicável em escritórios e espaços públicos. A certificação chinesa apresenta algumas características peculiares. Antes da avaliação à QAI é realizada uma visita ao edifício de modo a encontrar-se situações incompatíveis com uma boa QAI, tais como odores desagradáveis, crescimento visível de fungos, sobrelotação do espaço, presença de materiais perigosos, etc. Após a resolução dos problemas encontrados é feita a avaliação quantitativa à QAI e a certificação é atribuída qualitativamente: Excelente ou Bom. A validade do certificado é de 12 meses e a certificação pode ser feita ao edifício todo ou apenas a uma parte (pisos ou departamentos). Salienta-se ainda que esta certificação não tem caráter obrigatório, uma vez que os gestores dos edifícios são “convidados a participar” no esquema de certificação (The Government of Hong Kong, 2003). Os valores a respeitar pela certificação chinesa são os definidos na Tabela 5.

⁶ Observatoire de la Qualité de l'air Intérieur, Indoor Air quality UK.

Tabela 5 – Concentrações máximas de poluentes de acordo com a certificação chinesa.

Parâmetro	Unidade	Valor máximo admissível para a média de 8 horas	
		Excelente	Bom
CO ₂	ppmv	800	1000
CO	mg/m ³	2	10
PM ₁₀	mg/m ³	0.02	0.18
NO ₂	mg/m ³	0.04	0.15
O ₃	mg/m ³	0.05	0.12
H ₂ CO	mg/m ³	0.03	0.1
COV	mg/m ³	0.03	0.1
Radão	Bq/m ³	150	200
Bactérias	UFC/m ³	500	1000

A regulamentação chinesa é mais restritiva do que a portuguesa nas concentrações permitidas de poluentes para a atribuição do grau de excelência. Para o “Bom”, as concentrações máximas permitidas são mais semelhantes com as existentes em Portugal, mas ainda assim inferiores, à exceção das bactérias. Para que seja atribuída a classificação de “Excelente”, todos os parâmetros acima devem estar conformes, bastando apenas que um parâmetro seja classificado como “Bom” para que todo o edifício/piso a certificar seja também ele classificado como “Bom”.

4.2.3 Organização Mundial de Saúde

A Organização Mundial de Saúde (OMS) é tida como uma das entidades mais importantes no que se refere à emissão de relatórios e pareceres sobre os mais diversos temas relacionados com saúde. Em termos da QAI, a OMS tem tido um papel ativo desde 1987 na divulgação de referenciais e informações sobre boas práticas em QAI. As últimas diretrizes sobre esta matéria datam de 2010 e têm por bases evidências científicas e epidemiológicas que suportam os limites definidos. Em 2005 foi produzido um relatório, desta vez com referenciais para matéria particulada (PM₁₀ e PM_{2.5}). Posteriormente, em 2010, no relatório *Selected Pollutants – WHO Guidelines for Indoor Air Quality*, são apresentados valores guia para mais e novos poluentes (benzeno, monóxido de carbono, formaldeído, naftaleno, dióxido de nitrogénio, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, benzo-[a]-pireno, radão, tricloroetileno e tetracloroetileno). A OMS defende que estes poluentes apresentam interesse na QAI mas que deve ser

realizada mais investigação para que existam evidências claras para justificar a sua inclusão nas diretrizes atuais (WHO, 2010). Os poluentes comuns entre a OMS e a legislação portuguesa estão descritos na Tabela 6, bem como outros poluentes importantes. Para além dos limites apresentados existem outras metas definidas pela OMS, cada vez mais restritivas. Com a existência deste padrão, é expectável que ao longo do tempo sejam introduzidos novos valores para concentrações máximas de alguns poluentes, de acordo com a evolução tecnológica e científica da época.

Tabela 6 – Referências da OMS relativas a concentrações máximas admissíveis no ar interior.

Poluente	Concentração máxima	Observações	Fonte
CO	15 min – 100mg/m ³ 1h – 30mg/m ³ 8h – 10mg ³ 24h – 7mg ³	-	(WHO, 2010)
H ₂ CO	0.1mg/m ³ (média 30 minutos)	-	(WHO, 2010)
PM ₁₀	50µg/m ³ (média anual) 100µg/m ³ (média 24h)	Valores correspondentes ao objetivo Intercalar 2 (IT-2); existência de mais um objetivo intercalar (IT-3) e as referências ótimas para a OMS, sendo cada uma delas mais restrita do que a anterior.	(WHO, 2006)
PM _{2,5}	25µg/m ³ (média anual) 50µg/m ³ (média anual)		
O ₃	160µg/m ³	Valor correspondente ao objetivo Intercalar 1 (IT-1); existência ainda de referências ótimas para a OMS.	(WHO, 2006)
Radão	67Bq/m ³ (fumadores) 1670Bq/m ³ (não fumadores)	Existe diferença no valor máximo dependendo se o indivíduo é ou não fumador. Os valores apresentados são para o risco de 1 para 100.	(WHO, 2010)
Benzeno	Não existe um valor limite de exposição recomendável considerado seguro. O risco de desenvolver leucemia por 1 mg/m ³ concentração de ar é de 6 × 10 ⁻⁶ .		
Naftaleno	0.01mg/m ³ (média anual)	-	
NO ₂	200µg/m ³ (média 1h) 40µg/m ³ (média anual)	-	

Capítulo 5. Objetivos da Dissertação

Após a revisão da literatura surgem as seguintes questões que culminam em objetivos da dissertação:

- A QAI dos ginásios respeita os limites legais definidos na legislação em vigor?
- As taxas de ventilação existentes nos ginásios são as mais adequadas?
- Que fontes contribuem para a degradação da QAI nos ginásios?

Deste modo foram equacionados três objetivos que pretendem dar resposta às questões anteriores e um quarto objetivo que pretende ser o culminar de todo o trabalho realizado bem como atribuir um cariz prático e de utilidade à dissertação:

- Avaliar a concentração de poluentes presentes no ar interior destes espaços dedicados à prática de atividade física;
- Identificar as principais fontes emissoras que contribuem para a presença dos poluentes existentes no interior dos ginásios;
- Caracterizar o tipo e taxas de ventilação praticadas nos três ginásios estudados;
- Propor medidas para a mitigação de fontes que contribuem para a degradação da QAI e para a melhoria das condições ambientais essenciais à prática do exercício físico.

A questão fundamental desta investigação, é perceber se a QAI existente nos ginásios estudados é satisfatória, ou se por outro lado pode colocar em causa a saúde dos seus utilizadores.

PARTE II – METODOLOGIA

Na Parte II é descrita a metodologia adotada para a realização deste trabalho através da organização em Capítulos que descrevem o equipamento, o material e as técnicas utilizadas para a obtenção dos resultados.

Capítulo 1. Objeto de Estudo

O objeto de estudo desta dissertação são três ginásios. Por motivos de sigilo profissional e ética em investigação, o nome dos espaços não será divulgado, nem será dada nenhuma indicação que permita inferir qual o local de estudo. Para efeitos de designação, doravante os espaços estudados designar-se-ão de clube A, clube B e clube C.

Todos os clubes em estudo situam-se na cidade de Lisboa. Os clubes A e B são constituídos por dois pisos e encontram-se localizados em zona urbana, próximo de vias com tráfego rodoviário e ferroviário, enquanto que o clube C se situa no nível térreo e não se encontra sob influência direta de nenhuma via com acentuado tráfego rodoviário.

Os clubes A, B e C são constituídos por dois estúdios onde existem aulas de *fitness* e um ginásio (com equipamentos de musculação)⁷. No clube A foram estudados os dois estúdios e o ginásio; nos clubes B e C apenas foi estudado um estúdio, em conjunto com o ginásio. O facto de se ter escolhido um estúdio em detrimento do outro, deveu-se ao facto do tipo de aulas que estavam a decorrer serem incompatíveis com a presença do equipamento necessário para a recolha de dados, sobretudo devido ao ruído causado. Em cada clube a amostragem foi efetuada durante seis dias e cada espaço selecionado dos clubes foi alvo de amostragem à QAI durante dois dias. Nos clubes B e C, onde só foi estudado um estúdio, a amostragem nesse local prolongou-se durante quatro dias, de forma a igualar o tempo de amostragem nos três clubes. A amostragem aos três clubes teve início em outubro de 2012 e fim em dezembro de 2012.

⁷ Apesar de na linguagem corrente se chamar ginásio ao conjunto dos espaços mencionados (sala de musculação e estúdios), o nome “ginásio”, em linguagem técnica desportiva corresponde apenas à zona onde estão localizadas as máquinas de musculação.

A tabela seguinte apresenta algumas características que descrevem os espaços dos três clubes.

Tabela 7 – Características dos espaços dos clubes estudados.

Clube	Ano do Edifício	Envolvência	Espaço	Área (m ²)	Volume (m ³)	Ocupação máxima*	Pavimento	Paredes	Tipo de Ventilação	Materiais no interior
A	2010	Urbano (junto a vias de tráfego rodoviário elevado)	Estúdio 1	149	447	35 pessoas	Madeira flutuante	Alvenaria / Vidro/ Tinta	Mecânica	Equipamento de fitness (tapetes, pesos) de plástico, borracha ou metal.
			Estúdio 2	263	788	35 pessoas				
			Ginásio	650	1948	60 pessoas				
B	2000	Urbano (inserido num parque da cidade)	Estúdio	240	1156	40 pessoas	Madeira flutuante	Alvenaria / Tinta	Mista (Natural e Mecânica)	
			Ginásio	180	540	40 pessoas	Vinil	Alvenaria / Vidro/ Tinta	Mecânica	
C	2005	Urbano (em zona residencial)	Estúdio	252	745	35 pessoas	Madeira flutuante	Alvenaria / Vidro/ Tinta	Mecânica	
			Ginásio	514	1843	100 pessoas	Madeira flutuante	Alvenaria / Vidro/ Tinta		

* Não corresponde ao número de ocupantes presentes no espaço durante a investigação.

1.1 Tipo de Estudo

De acordo com Fortin (1996) existem três tipos de estudos de investigação: o descritivo, o experimental e o correlacional. Neste caso, o tipo de estudo desenvolvido nesta dissertação é do tipo descritivo uma vez que se pretende estudar um fenómeno relativo à QAI em espaços onde se pratique atividade física e descrever a sua importância para a saúde humana.

1.2 Variáveis

As variáveis em estudo são os poluentes e contaminantes presentes no ar interior, nomeadamente *CO₂*, *CO*, *COV*, *PM*, *microrganismos*, *temperatura*, *humidade relativa* e *taxas de ventilação*.

Capítulo 2. Técnicas de Medição, Amostragem e Análise

Para a realização deste trabalho foram utilizados equipamentos específicos para a recolha, medição e análise da qualidade do ar. Estes equipamentos foram colocados no interior e no exterior dos clubes, por forma a permitir a avaliação do impacto dos poluentes exteriores na QAI. A Figura 9 representa a disposição dos equipamentos no interior e no exterior dos clubes.

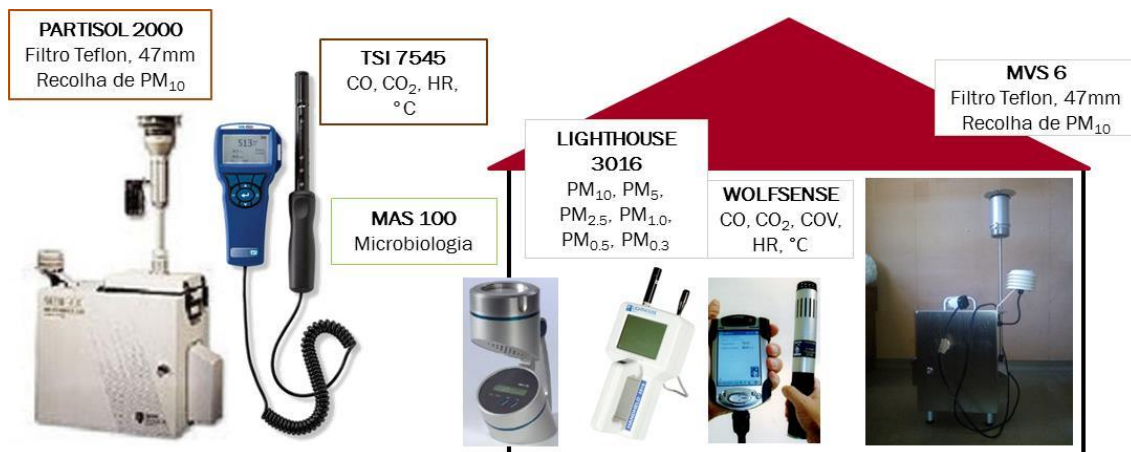


Figura 9 – Esquema ilustrativo da disposição dos equipamentos no clube.

No exterior do clube foram colocados dois equipamentos: Partisol 2000 Air Sampler, para amostragem de PM₁₀ e o TSI 7545, um equipamento de leitura direta de CO₂, CO, temperatura e HR. No interior do clube foram colocados três equipamentos: Lighthouse Handheld 3016, para contagem de partículas PM₁₀, PM₅, PM_{2.5}, PM₁, PM_{0.5}, PM_{0.3}; o WolfSense, para medição de COV, CO, CO₂, temperatura e HR; e o Leckel MVS 6, amostrador de partículas PM₁₀ com filtro de teflon. À parte dos equipamentos descritos anteriormente foi também utilizado o MAS 100 (Microbial Air Sampler) para recolha de amostras de ar em placas de petri, tanto no interior como no exterior dos clubes. Na Tabela 8 apresentam-se algumas características dos equipamentos enunciados.

Tabela 8 – Características dos equipamentos instalados nos clubes.

Equipamento		Características
Exterior	Partisol 2000 Air Sampler	Utiliza uma cabeça específica para recolha de PM ₁₀ em filtros de teflon. Apresenta um fluxo de 16.5 L/min. Tem a particularidade de fazer a troca de filtros de forma automática através da programação prévia dos períodos de amostragem.
	TSI 7545	Funciona através de um leitor de gás para medição da concentração de CO ₂ e um sensor eletroquímico para determinação da concentração de CO. Regista também os valores de HR e temperatura.
Interior	Lighthouse Handheld 3016	É um pequeno equipamento de leitura direta de partículas de seis granulometrias diferentes (PM ₁₀ , PM ₅ , PM _{2.5} , PM ₁ , PM _{0.5} , PM _{0.3}) através de difusão ótica de luz. Tem a possibilidade de apresentar os resultados em número de partículas (<i>counts</i>) ou em concentração (µg/m ³).
	WolfSense	É muito utilizado para avaliações à QAI, por ser de leitura direta e medir vários poluentes em simultâneo (CO, CO ₂ , COV, HR e temperatura). Utiliza uma sonda de foto-ionização para a determinação das concentrações de COV e duas sondas específicas para CO e CO ₂ . Os valores podem ser apresentados em formato mg/m ³ ou ppm.
	Leckel MVS 6	Utiliza uma cabeça para recolha de PM ₁₀ em filtros de teflon. Permite programar até dois intervalos de amostragem de 14 horas cada. Tem um caudal de 58 L/min. Necessita da presença de um operador para a troca de filtros.
Exterior e Interior	MAS 100, Merck	É utilizado para colheitas microbiológicas (bactérias e fungos). Permite escolher o caudal a amostrar e cada colheita e apresenta o modo “Delay” que possibilita que o operador se ausente do espaço a analisar (por exemplo, blocos operatórios).

2.1 CO₂, CO, COV, temperatura e HR

Os equipamentos TSI 7545 e WolfSense funcionaram em contínuo sem interrupções durante todos os dias da campanha, durante o período ocupado e não ocupado, em todos os espaços estudados. O tempo de integração escolhido para a recolha de dados foi de 60 segundos. No exterior o TSI 7545 foi colocado junto ao Partisol 2000, de modo a fornecer estabilidade e proteção ao equipamento. No interior o WolfSense foi colocado a cerca de 1.20m e 1.50m afastado, respetivamente, do pavimento e de paredes.

2.2 Partículas

As partículas foram analisadas de dois modos distintos, no interior através de medição em contínuo e no exterior através da amostragem em filtros de teflon.

2.2.1 Medição em Contínuo

Na medição em contínuo utilizou-se o Lighthouse 3016, que funcionou sem interrupções, desde a abertura até ao encerramento dos clubes, ao longo de todos os dias das campanhas. À semelhança dos outros equipamentos em contínuo, foi escolhido para tempo de integração de dados o intervalo de 60 segundos e o equipamento foi colocado a cerca de 1.20m e 1.50m afastado, respetivamente, do pavimento e de paredes.

2.2.2 Amostragem de Partículas

Os equipamentos Partisol 2000 Air Sampler e Leckel MVS 6 funcionaram durante intervalos que correspondem apenas aos períodos de tempo ocupado dos espaços, ou seja, nos estúdios amostraram aerossol durante as aulas de *fitness* e no ginásio durante todo o dia. Os filtros foram transportados até ao local de amostragem no interior de caixas de petri descontaminadas de 50mm de diâmetro. No local de amostragem e com o auxílio de uma pinça, os filtros foram removidos da sua caixa de petri e colocados na cassete portadora de filtros⁸, respetiva de cada equipamento. Os equipamentos foram sincronizados temporalmente e programados para iniciarem a amostragem à mesma

⁸ As cassetes foram descontaminadas com álcool antes da colocação de cada novo filtro.

hora que tiveram início as aulas de *fitness*. No final de cada aula, os equipamentos foram parados e foram registados os dados relativos ao tempo de amostragem, ao caudal e ao volume registado em cada um dos equipamentos.

2.2.3 Determinação da Concentração Mássica

O manuseamento dos filtros foi realizado num laboratório limpo, classe 10 000, equipado com um filtro de ar HEPA, com 99.99% de eficiência para partículas com DA superior a $0.3\mu\text{m}$ (CTN, 2009). Antes da amostragem os filtros foram pesados numa balança Mettler Toledo com $0.1\mu\text{g}$ de precisão (Figura 10). Todas as pesagens foram efetuadas três vezes, com um intervalo inferior a $50\ \mu\text{g}$, sendo o peso final a média das três pesagens.



Figura 10 – Pesagem de um filtro de teflon antes da amostragem.

Após a amostragem, pesaram-se da mesma forma os filtros para se obter a massa recolhida em cada um, tendo sido analisados no total 24 filtros. Em seguida foi efetuado o cálculo para se obter a concentração mássica em cada filtro,

$$\text{Concentração Mássica} = \frac{m_f - m_i}{V} \quad (\text{eq. 2})$$

sendo que m_f e m_i dizem respeito às massas finais e iniciais de cada filtro e V corresponde ao volume total em litros de ar que passaram pelo filtro.

Sabe-se que o caudal de cada equipamento é fundamental para a eficiência da colheita. Esta eficiência é analisada através de uma curva de impactação que indica a separação de partículas que passam através da cabeça do amostrador e que são depositadas no filtro. O equipamento ideal deveria ter uma curva de eficiência

perfeitamente vertical, indicando assim que todas as partículas com DA inferior ao diâmetro de corte seriam coletadas no filtro (Almeida, 2004). Deste modo foi elaborado um controle de qualidade relativo ao caudal de ar de cada equipamento. Foi estabelecido que o desvio de caudal em relação ao valor definido pelo fabricante para cada equipamento seria de 5%. O cálculo do caudal para cada equipamento envolveu a seguinte equação,

$$Caudal = \frac{V}{t} \quad (\text{eq. 3})$$

sendo que V corresponde ao volume total em litros de ar que passaram pelo filtro e t o tempo de amostragem em horas.

Foram elaborados dois gráficos relativos ao controle de qualidade do caudal que cada equipamento recolheu, estando os resultados apresentados na Figura 11 com a respectiva barra de erro aceitável de 5%.

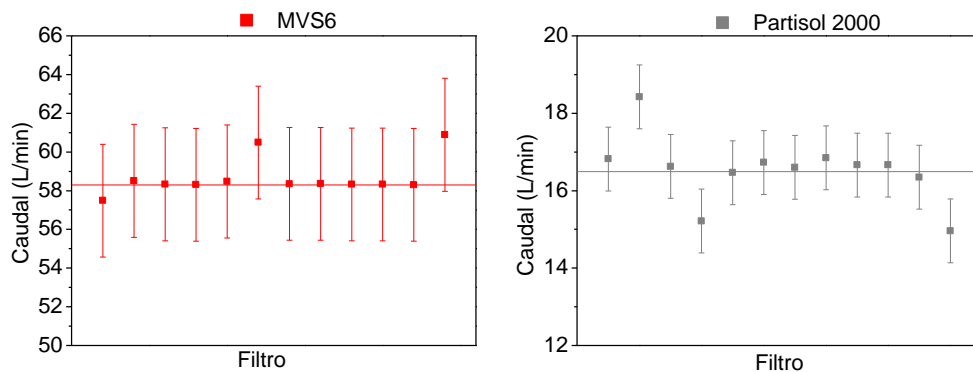


Figura 11 – Controle de qualidade relativo ao caudal dos equipamentos (desvio aceitável de 5%).

Pode verificar-se que a amostragem realizada para o MVS6 se encontrou dentro dos parâmetros definidos *à priori*. O controle de qualidade à amostragem realizada com Partisol 2000 indica a existência de três filtros cujo caudal esteve fora do limite máximo de 5% admissível para o desvio.

2.3 Bactérias e Fungos

A preparação e tratamento das colheitas microbiológicas, de bactérias e fungos, foram realizadas nas instalações do Laboratório de Ensaio Tecnológicos em Áreas Limpas (LETAL) do Campus Tecnológico e Nuclear (CTN). Este laboratório

caracteriza-se por possuir duas unidades de tratamento de ar dedicadas, uma para a área não controlada e outra para a área controlada, sendo que é nesta última área onde se localiza a sala sobrepessurizada onde foram tratadas todas as colheitas efetuadas.

2.3.1 Preparação dos Meios de Cultura

De modo a possibilitar aos microrganismos um meio de cultura adequado e que potencie o seu crescimento foram utilizados dois meios de cultura, um específico para bactérias que é o Trypto-Soic Agar (TSA) e para fungos o Malt Extract Agar (MEA). As placas de petri contendo o meio de cultura MEA foram elaboradas no LETAL através da receita fornecida no rótulo do reagente principal, o *Malt Extract*. As placas com o meio TSA foram fornecidas já preparadas pelo LETAL, não tendo sido realizado nenhum procedimento no decorrer deste trabalho para a sua produção.

2.3.2 Amostragem

As colheitas microbiológicas foram realizadas com o MAS 100 em dois períodos do dia, de manhã (antes da ocupação) e à noite (depois da ocupação e antes das tarefas de limpeza). No clube A a amostragem foi realizada uma vez em cada estúdio e duas vezes no ginásio e nos clubes B e C duas vezes no estúdio e duas vezes no ginásio. Para cada colheita foram recolhidos 250L de ar em cada placa de MEA e de TSA. Entre a colocação de cada placa no equipamento, a cabeça de amostragem do mesmo foi descontaminada com álcool, de modo a evitar contaminações entre placas. Procedeu-se também à colheita de ar no exterior com os mesmos meios de cultura, para posterior comparação de resultados. Foram realizadas colheitas de superfície no pavimento dos espaços através da técnica de zaragatoa com o auxílio de um molde com área de 100cm² (10cm x 10cm). Após a colheita, as placas foram fechadas com parafilme e transportadas até ao laboratório em mala térmica. No laboratório, as colheitas realizadas pelas zaragatoas foram incubadas numa placa com meio de cultura MEA e noutra placa com meio de cultura TSA, através da técnica de riscado. Em seguida, as placas foram colocadas a incubar na estufa a 30 °C entre 5 a 7 dias. No total foram analisadas 72 placas de petri com colónias de bactérias e 72 placas de petri com colónias de fungos, perfazendo um total de 144 placas de petri amostradas.

2.3.3 Contagem e Identificação

A contabilização das colónias de fungos e bactérias foi efetuada agrupando macroscopicamente as colónias que apresentaram as mesmas características (cor, forma e elevação) sendo atribuída a cada colónia uma letra (Figura 12 e Figura 13). Para as bactérias, foi efetuado um registo morfológico para cada colónia existente em cada placa de petri (pigmentação, opacidade, textura, forma e elevação), o seu número e a sua frequência relativa. Para os fungos, após o seu agrupamento em colónias, todas elas foram alvo de identificação até ao género de fungo presente em cada placa.



Figura 12 – Contagem de colónias de fungos.



Figura 13 – Contagem de colónias de bactérias.

Para a identificação fúngica, como representado na Figura 14, foram realizados cortes às colónias e fixadas numa lâmina tendo-se utilizado um corante, o azul de lactofenol, para atribuir coloração às estruturas fúngicas (micélio e esporos). Em seguida foi colocada uma lamela por cima de cada corte e colocado verniz em seu redor, de forma a impedir o movimento da lamela.

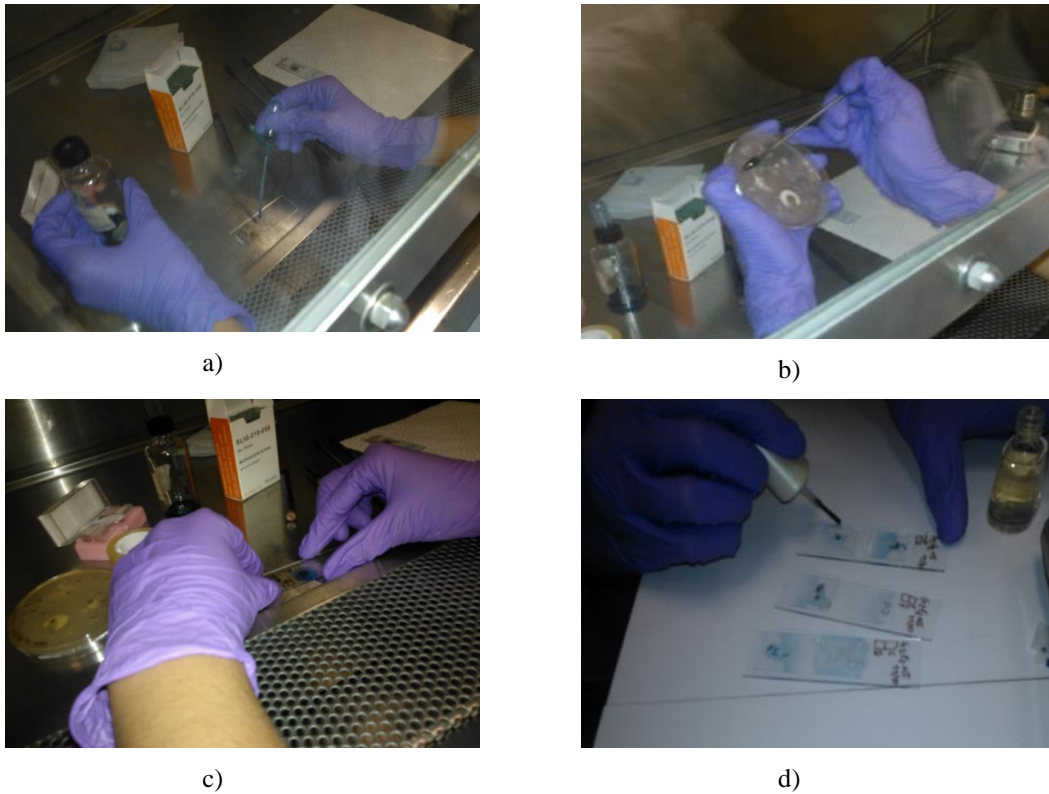


Figura 14 – Preparação dos cortes de fungos: a) aplicação do azul de lactofenol; b) corte da colónia; c) colocação da lamela por cima da preparação; d) aplicação do verniz.

Todas as preparações foram observadas ao microscópio ótico e as colónias foram identificadas por comparação a características morfológicas descritas em literatura ilustrada sobre micologia (Hoog *et al.*, 2000; Larone, 2002).

2.4 Determinação das Taxas de Ventilação

O cálculo das taxas de ventilação pode ser feito através da utilização de um anemómetro junto às grelhas de insuflação de ar de um espaço. No entanto este método é ineficaz quando estamos a falar de um espaço com ventilação natural, onde a taxa de ventilação varia com a abertura de janelas, velocidade e intensidade do vento, entre outros fatores.

Para a determinação das taxas de ventilação foi aplicado o método desenvolvido por Hanninen (2012), que utiliza a concentração de CO₂ nos espaços. A utilização deste gás para o cálculo das taxas de ventilação não é novo, uma vez que é largamente utilizado e apresenta várias formas de aplicação (decaimento da concentração,

percentagem do gás no ar recirculado, análise de equilíbrio e balanço de massa) (Persily, 1997).

A abordagem de Hanninen (2012) baseia-se no ajuste da curva de evolução das concentrações de CO₂ num espaço, utilizando três pontos da curva. Durante a ocupação de um espaço, a concentração de CO₂ apresenta três fases distintas: a fase de “*build-up*”, a fase de “*steady-state*” e a fase de “*decay*”: como representa a Figura 15, assim que um espaço começa a ser ocupado, o CO₂ no interior começa a aumentar. Este aumento continua até que é atingido um ponto de equilíbrio entre a emissão de CO₂ pelos ocupantes e a taxa de ventilação do espaço. Este patamar mantém-se até que a sala seja desocupada e os valores de CO₂ comecem a descer (Canha *et al.*, 2013). Em cada uma destas fases é possível determinar qual a taxa de ventilação praticada e, em teoria, o resultado obtido será idêntico em todas elas. Os *inputs* necessários para esta análise são as concentrações de CO₂ no interior e no exterior, relativos ao espaço que se quer estudar, o número de ocupantes e o volume do espaço. Para este trabalho foram utilizados os resultados obtidos pela curva de crescimento da fase de *bulid-up*, devido às oscilações na concentração de CO₂ existentes nas outras duas fases.

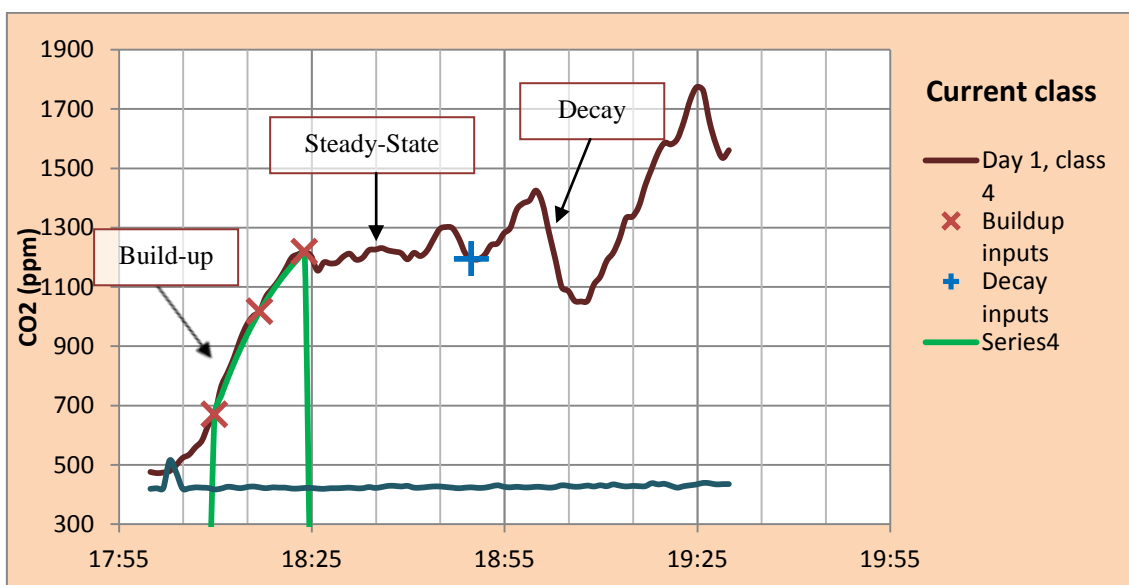


Figura 15 – Representação das três fases da evolução da concentração de CO₂, com a seleção dos pontos na fase de *build-up*.

Salienta-se que este método foi desenvolvido para ser utilizado em escolas primárias havendo aqui algumas diferenças no que toca à atividade desenvolvida.

Enquanto em escolas os alunos estão sentados e não praticam nenhum esforço físico, num clube existe atividade física a ser desenvolvida. De forma a tentar contornar esse viés, foi dado ao modelo um valor superior para a taxa metabólica. A taxa metabólica é um valor adimensional que indica a quantidade energética requerida pelo corpo para realizar determinada tarefa e é expressa em *met*. Para a adequação da taxa metabólica, este parâmetro foi alterado, passando de 1.2 *met* (definido no modelo) para 3.5 *met*, de acordo com a tabela da ASHRAE fornecida por Persily (1997). Este ajustamento permite que o valor da produção de CO₂ (V_{CO_2}) aumente também, de acordo com a equação seguinte:

$$V_{CO_2} = 0.00276A_D M \quad (\text{eq.4})$$

onde M é a taxa metabólica e A_D é a constante de DuBois que indica a área corporal em m², calculada através de

$$A_D = 0.203H^{0.725} W^{0.425} \quad (\text{eq.5})$$

onde H corresponde à altura do indivíduo em metros e W o peso em quilos. Para um adulto de tamanho médio, o valor de A_D é de cerca de 1.8m² (Persily, 1997).

2.5 Tratamento de Dados

Os dados obtidos pelos equipamentos de amostragem foram tratados pelos softwares estatísticos OriginPro 8, da OriginLab Corporation, e o Statistica 11 da StatSoft.

PARTE III – RESULTADOS E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A Parte III apresenta os resultados obtidos e a discussão apresentada aos mesmos. A apresentação dos dados obtidos segue a descrição da metodologia efetuada no Capítulo 2 da Parte II: primeiro serão focados os parâmetros químicos, seguidos dos parâmetros biológicos e por fim, as taxas de ventilação. Com a apresentação dos resultados estes são discutidos com objetivo de obter resposta às questões definidas anteriormente.

Capítulo 1. Parâmetros Químicos e Físicos

Em seguida apresentam-se os gráficos relativos à monitorização em contínuo dos poluentes CO₂, CO, COV, dos parâmetros físicos (temperatura e humidade) e das partículas. Devido à amplitude dos valores registados, em algumas situações, optou-se pelo uso da escala logarítmica, que permite uma melhor visualização de todos os dados em todos os clubes.

1.1 CO₂

Como já foi referido, o CO₂ tem como principal origem no interior a ocupação humana. Este facto refletiu-se claramente nos resultados obtidos e que estão representados na Figura 16.

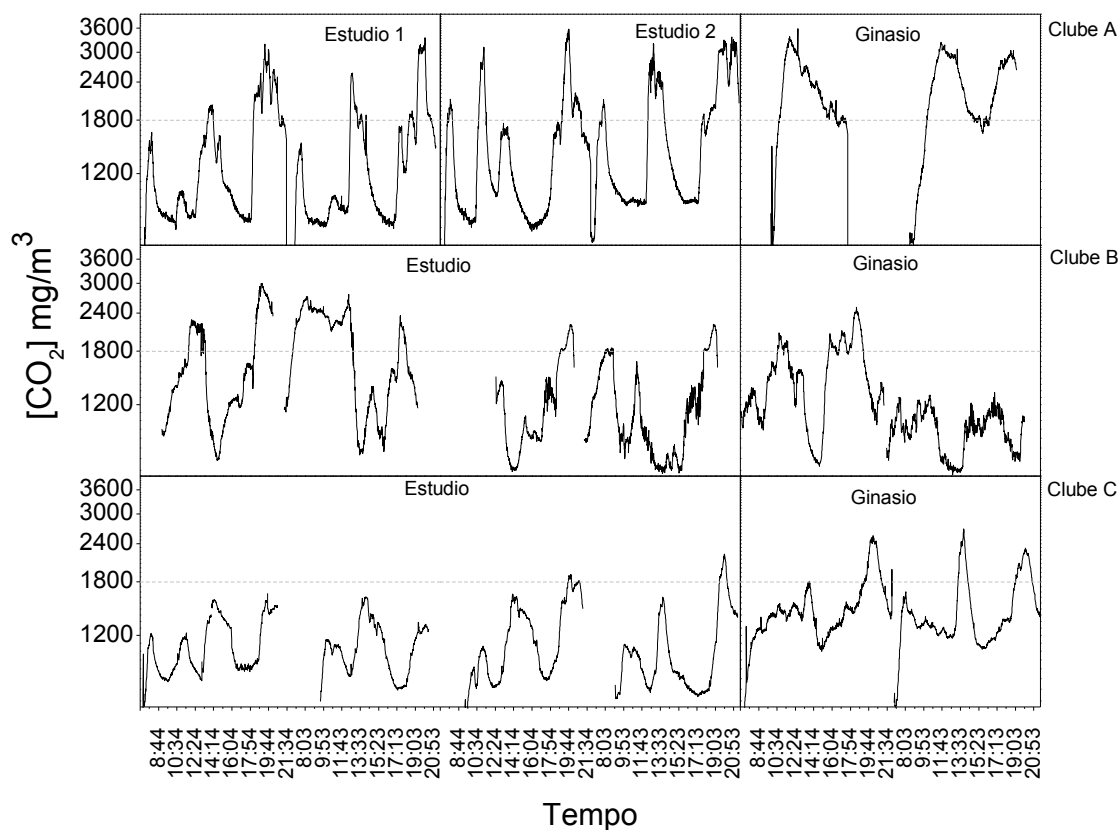


Figura 16 – Variação temporal da concentração de CO₂ nos clubes (valores em mg/m³). A reta horizontal corresponde à legislação portuguesa para CO₂ de 1800mg/m³ (pontado a cinzento).

Em todos os estúdios amostrados é visível a existência de picos que coincidem com a existência de aulas. A Tabela 9 apresenta a estatística descritiva dos dados relativos a CO₂ e mostra que, em média, as maiores concentrações foram registadas no ginásio do clube A com 1882mg/m³.

Tabela 9 - Concentrações de CO₂ medidas nos três clubes (média, desvio-padrão, máximo e mínimo. Valores em mg/m³).

	Clube A			Clube B		Clube C	
	E1	E2	G	E	G	E	G
\bar{x} (média)	1147	1315	1882	1185	1015	1122	1456
σ (desvio-padrão)	502	591	553	587	219	289	355
Max	3350	3584	3590	3005	2510	2195	2685
min	577	613	611	398	709	635	655

E – Estúdio; E1 – Estúdio 1; E2 – Estúdio 2; G – Ginásio

No clube A, o valor limite de 1800mg/m^3 é ultrapassado nas aulas com maior número de ocupantes que decorrem à hora de almoço e no final do dia. No ginásio, no primeiro dia de amostragem as concentrações aumentaram aproximadamente às 13h começando em seguida a diminuir. Este resultado relaciona-se com a ocupação do espaço registado nesse dia, que foi maior de manhã do que no período da tarde pelo facto de ser feriado nacional. No segundo dia de amostragem no ginásio, verificou-se uma maior afluência de utilizadores, não só novamente durante o período da manhã até à hora de almoço mas também no final da tarde até ao encerramento do espaço (pelas 22h). Este padrão de utilização reflectiu-se na evolução diária das concentrações de CO_2 que apresentou um primeiro pico às 13h e um segundo pico às 21h.

A relação encontrada no clube A entre o número de ocupantes e a concentração de CO_2 verificou-se também no clube B. No entanto, verificou-se que no segundo dia, entre as 8h (hora que se inicia a primeira aula do dia) e as 14h (final da última aula da tarde) as concentrações não diminuíram entre as aulas, como aconteceu no clube anterior. Como já foi referido, o clube B utiliza ventilação natural, aplicando ventilação mecânica apenas quando existem aulas densamente ocupadas ou quando solicitado pelos utentes. Pelo resultado obtido, e sabendo que a janela esteve aberta durante o período da manhã pode suspeitar-se que a ventilação mecânica não foi accionada e que existiram dois factores que contribuíram para a manutenção destas concentrações: i) a abertura da janela não foi suficiente para remover o CO_2 do espaço e ii) a sala foi utilizada durante o intervalo entre a manhã e a tarde uma vez que existem equipamentos de musculação e de exercício cardiovascular neste espaço que são utilizados fora do período das aulas. Assim, a conjugação destes dois factores consegue explicar a não diminuição do CO_2 no segundo dia de amostragem no clube B. No ginásio as concentrações foram mais elevadas a partir da tarde (17h). No ginásio o valor limite apenas foi ultrapassado no primeiro dia de amostragem o valor estabelecido pela legislação nacional.

Também no clube C a concentração de CO_2 representa a ocupação humana, apresentando aumentos claros quando ocorre uma aula. O ginásio manifesta flutuações na concentração de CO_2 , que podem relacionar-se com aulas de *cycling*.

Estas aulas decorrem numa zona do ginásio sem a existência de separação física (parede de vidro ou alvenaria) para a restante área. No primeiro dia de amostragem neste espaço realizaram-se três aulas de *cycling* às 13:00h, às 18:30h e às 19:30h e no segundo dia às 07:15h, às 13:00h e às 19:00h. Observando-se a Figura 16 verifica-se que a estas horas corresponde um aumento nos valores de CO₂ registados e que são estes picos que ultrapassam o valor limite.

É importante referir que o clube A apresenta uma dinâmica na realização das aulas que decorrem no mesmo período temporal (manhã, tarde e noite): entre cada aula existe um intervalo de 10 a 15 minutos enquanto que as aulas dos clubes B e C são realizadas continuamente. A prática do clube A revela-se ser produtiva na melhoria da QAI uma vez que possibilita a renovação do ar contaminado, quando os ocupantes saem do espaço e o sistema AVAC continua a funcionar. Deste modo as concentrações dos poluentes diminuem em vez de atingirem um patamar estável ou continuarem a aumentar.

Um outro fator que tem influência nos valores de CO₂ é a atividade metabólica durante o exercício. Quanto mais exigente essa tarefa é, maior é o valor da taxa metabólica e conseqüentemente maior a produção de CO₂. A Figura 17 ilustra a curva de crescimento do CO₂ em duas aulas distintas (num mesmo estúdio): a aula de Yoga, que dá enfoque à mente, à estabilização corporal e exige menos esforço físico e a aula de Body Attack, que é uma aula de treino cardio-respiratório de alta intensidade que combina movimentos aeróbios atléticos com exercícios de força e estabilização e dura cerca de 50 minutos, podendo queimar cerca de 735 calorias (Les Mills, 2013). Verifica-se pela figura, que mesmo com um maior número de alunos na aula de Yoga as concentrações de CO₂ são muito inferiores às registadas durante a aula de Body Attack: as médias registadas durante as aulas foram de 959mg/m³ para o Yoga e de 1774mg/m³ para o Body Attack. Salienta-se também a elevada inclinação da reta na fase de “*build-up*” na aula de Body Attack, verificando-se assim um crescimento muito rápido na produção de CO₂ enquanto que na aula de Yoga esta situação não ocorre.

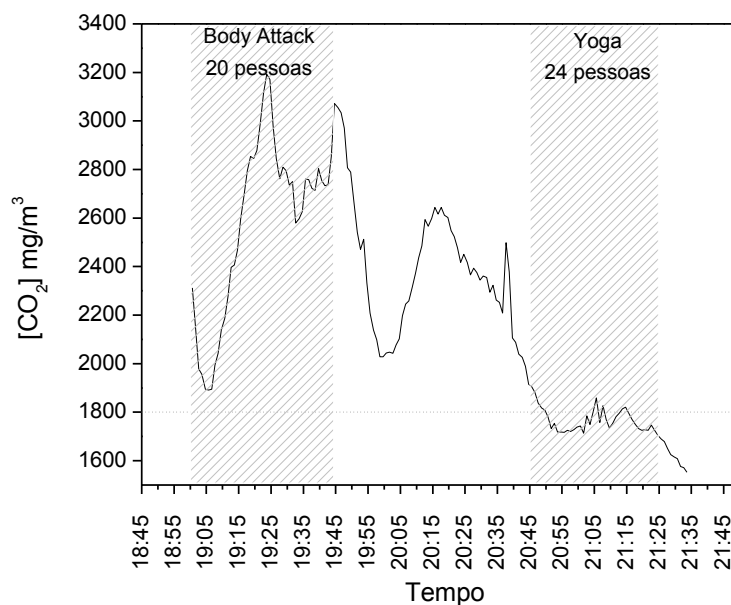


Figura 17 – Curva de crescimento do CO₂ em aulas de *fitness* com diferentes taxas metabólicas (o sombreado representa a duração das aulas). A reta horizontal corresponde à concentração limite definida pela legislação portuguesa para CO₂ de 1800mg/m³ (ponteadado a cinzento).

Na Figura 18 encontra-se esquematizada a relação entre o aumento da produção de CO₂ à medida que se aumenta a atividade física, aumentando assim a taxa metabólica necessária para responder ao trabalho exigido.

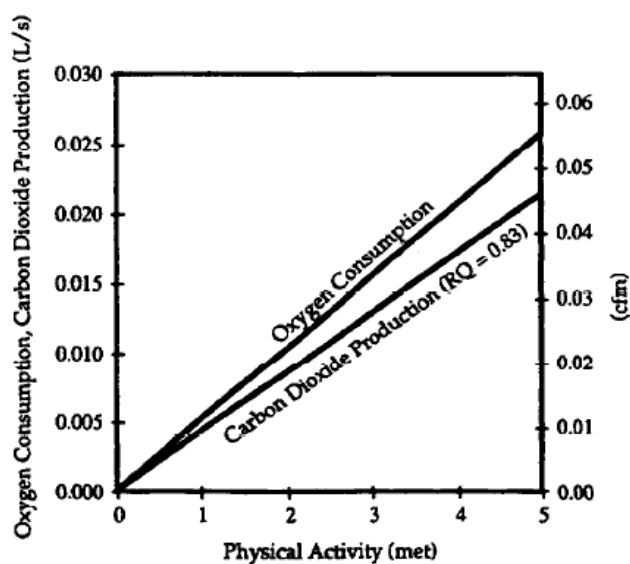


Figura 18 – Produção de CO₂ e consumo de O₂ em função da atividade física.

Fonte: Persily, 1997

1.2 CO e COV

Os resultados respeitantes às concentrações de CO e COV encontram-se representados na Figura 19.

As concentrações de CO apresentam-se baixas, não tendo sido em nenhum dos clubes ultrapassado o valor máximo permitido por lei de $12.5\text{mg}/\text{m}^3$. Como já foi referido, no ar interior o CO tem origem em fontes de aquecimento por queima de combustível (lareira, fogão, esquentador). Como no interior dos espaços estudados não existe nenhuma fonte dessa origem, assume-se que o CO presente no interior tenha origem no ar ambiente exterior.

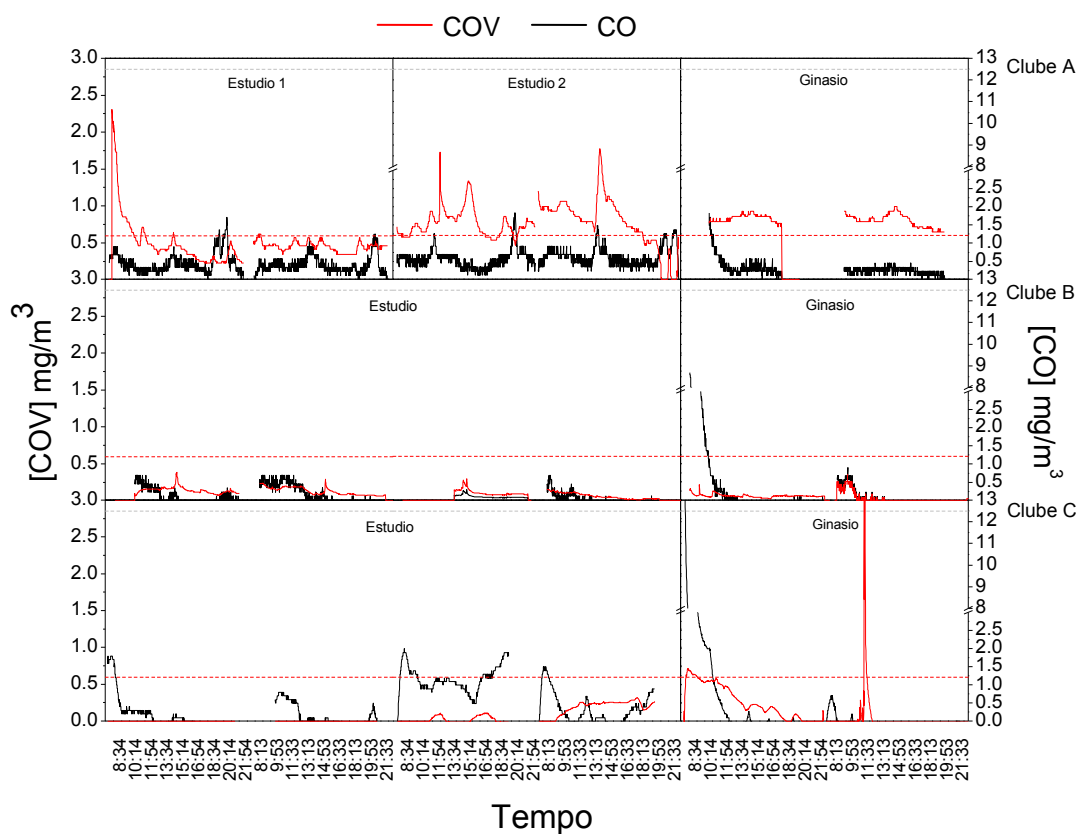


Figura 19 – Distribuição temporal das concentrações de CO e COV nos clubes (valores em mg/m^3). As retas horizontais correspondem aos valores limite definidos pela legislação portuguesa para COV de $0.6\text{mg}/\text{m}^3$ (pontilhado a vermelho) e para CO de $12.5\text{mg}/\text{m}^3$ (pontilhado a preto).

No clube A verifica-se que no final da tarde as concentrações de CO se apresentam mais elevadas em relação ao resto do dia, o que coincide com o período de maior atividade do clube podendo este facto estar relacionado com um período de

maior intensidade de tráfego na entrada e saída da garagem do edifício, uma vez que as admissões de ar novo do clube estão localizadas junto à entrada para a garagem.

No clube B as concentrações registadas apresentam-se mais elevadas no período da manhã do que durante o resto do dia. Este facto pode dever-se à presença de veículos pesados nas imediações do clube que realizam operações de descarga de materiais para um estabelecimento anexo ao clube. Como já foi referido, no clube B as janelas do estúdio permaneceram abertas durante alguns períodos do dia, nomeadamente de manhã e este facto poderá também potenciar a contaminação de CO pelo exterior.

No clube C os picos de CO existentes na amostragem feita ao estúdio surgem nos períodos de existência de aulas, como no início do dia, à hora de almoço e a partir da tarde. No ginásio verifica-se a mesma realidade, com exceção do primeiro dia de amostragem. Este clube apresenta uma particularidade relacionada com a sua localização: o clube encontra-se rodeado de prédios com mais de 8 andares e apesar das entradas de ar novo se encontrarem na cobertura, o facto de o clube estar “cercado” de edifícios faz com que a dispersão de poluentes no exterior não se efetue de forma eficaz havendo assim uma acumulação local de poluentes que mais facilmente penetram no interior. Este fenómeno já se encontra fortemente demonstrado e estudado. Como exemplo, Zhou e Levy (2008) estudaram uma rua do tipo “canyon” onde 30% do CO existente a nível do solo permanece no topo do “canyon”. Na Tabela 10 estão apresentados os valores de estatística descritiva relativos às concentrações de CO verificando-se que a concentração média mais elevada foi registada no estudo do clube C.

Tabela 10 – Concentrações de CO medidas nos três clubes (média, desvio-padrão, máximo e mínimo Valores em mg/m³).

	Clube A			Clube B		Clube C	
	E1	E2	G	E	G	E	G
\bar{x} (média)	0.40	0.59	0.28	0.35	0.99	0.67	1.98
σ (desvio-padrão)	0.24	0.25	0.16	0.19	0.67	0.51	1.44
Max	1.72	1.83	1.83	1.37	1.66	14.65	2
min	0	0	0	0	0	0	0

E – Estúdio; E1 – Estúdio 1; E2 – Estúdio 2; G – Ginásio

Relativamente aos COV, verifica-se que o limite de 0.6mg/m^3 é ultrapassado no clube A e no clube C. Nos estúdios do clube A, verifica-se claramente que os aumentos na concentração de COV seguem os períodos em que existiram aulas nesse espaço. No ginásio verifica-se que a concentração de COV é constante durante os dois dias de amostragem, estando sempre acima do valor limite definido por lei. Esta variação pode estar relacionada com a aplicação de perfumes ou desodorizantes pelos utilizadores antes de cada aula ou ainda pelas atividades de limpeza que decorrem após os períodos de aulas da manhã e da tarde.

No estúdio do clube C, nos dois primeiros dias de amostragem, as concentrações de COV encontraram-se abaixo do limite de detecção e nos dois últimos dias as concentrações não ultrapassaram o valor limite. No ginásio o valor limite foi apenas ultrapassado no segundo dia de amostragem, com um pico evidente durante a manhã.

Os valores relativos à estatística descritiva das concentrações de COV estão apresentados na Tabela 11 verificando-se as maiores concentrações médias foram registadas no clube A.

Tabela 11 – Concentrações de COV medidas nos três clubes (média, desvio-padrão, máximo e mínimo. Valores em mg/m^3).

	Clube A			Clube B		Clube C	
	E1	E2	G	E	G	E	G
\bar{x} (média)	0.39	0.65	0.66	0.16	0.11	0.2	0.35
σ (desvio-padrão)	0.15	0.23	0.16	0.11	0.10	0.1	0.33
Max	2.30	1.77	0.99	0.68	0.8	0.32	6.32
min	0	0	0	0	0	0	0

E – Estúdio; E1 – Estúdio 1; E2 – Estúdio 2; G – Ginásio

1.3 Partículas

Antes da análise dos resultados obtidos, importa referir que foi calculado um fator de correção (β) aos valores de partículas, por cada dia de medição, aplicado aos dados obtidos pelo Lighthouse Handled 3016. Esta ação deve-se ao facto de se saber que este tipo de equipamento de leitura ótica, apesar de calibrado de acordo com a ISO 21501-4:2007 (*Determination of particle size distribution - Single particle light interaction methods - Part 4: Light scattering airborne particle counter for clean*

spaces), pode reportar valores com algum desfasamento em relação ao método gravimétrico considerado como referência. Este fenómeno acontece porque a concentração mássica de partículas, obtida pelo equipamento, depende da densidade da partícula (Gorner *et al.*, 2012), que por sua vez depende das características do aerossol que lhe deu origem. Como os equipamentos estão definidos de fábrica para uma densidade específica, esta pode não se adequar à densidade real das partículas que se estão a amostrar causando assim uma deturpação de valores entre amostragens. Alguns autores que publicaram estudos sobre QAI indicam a aplicação de um fator de correção aos dados obtidos através de equipamentos de leitura óptica, como McNamara *et al.*, (2011), Diapouli *et al.*, (2008), Yanosky e MacIntosh (2002) e Heal *et al.*, (2000). O fator de correção β foi obtido através do cálculo da razão entre a concentração obtida pelo método gravimétrico e a concentração obtida pelo Lighthouse 3016, para os períodos de tempo em que decorreu a amostragem. A Figura 20 representa o ajustamento feito aos dados do Lighthouse 3016 que, apesar de seguirem a mesma tendência daqueles recolhidos pelo MVS6, não seguem a mesma grandeza numérica.

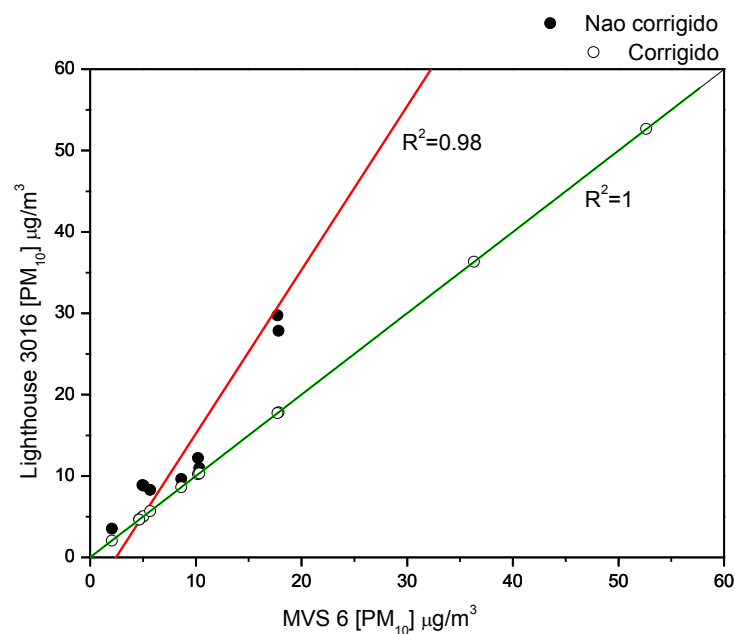


Figura 20 – Correção das concentrações de PM₁₀ medidas através do equipamento Lighthouse 3016 (valores em µg/m³). A linha vermelha representa a correlação entre valores de ambos os equipamentos antes da aplicação do fator de correção e a linha verde representa a mesma correlação após a aplicação do factor de correção.

O fator de correção obtido não foi o mesmo para todos os dias, havendo uma oscilação do valor β entre 0.99 e 0.50, o que demonstra a variação existente entre equipamentos ao longo dos dias de amostragem e consequentemente das características do aerossol.

A Figura 21 representa a distribuição temporal da concentração de partículas, em cinco intervalos granulométricos, nos três clubes e nos espaços estudados. Na Figura 21 apresentam-se os limites de $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} correspondentes à legislação portuguesa (ponteados a cinzento claro), de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} (ponteados a cinzento escuro) e de $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ponteados a preto) para $\text{PM}_{2.5}$, ambas de acordo com os referências da OMS anteriormente apresentados.

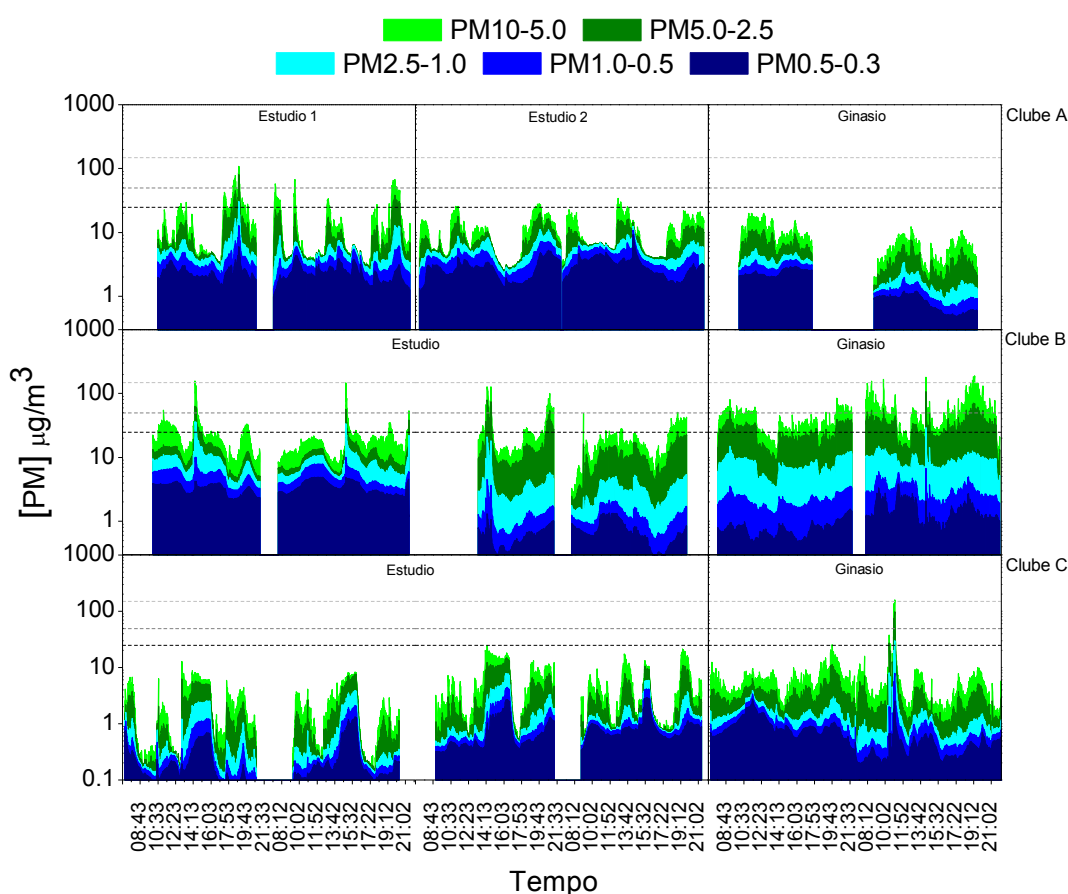


Figura 21 – Distribuição temporal da concentração de partículas nos clubes (valores em mg/m^3). As retas horizontais correspondem aos valores limite definidos pela legislação portuguesa para PM_{10} de $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ponteados a cinzento claro) e aos referências da OMS de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} (ponteados a cinzento escuro) e de $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ para $\text{PM}_{2.5}$ (ponteados a preto).

Como se pode analisar no clube B foi atingido o valor limite de $150\mu\text{g}/\text{m}^3$, tanto no estúdio como no ginásio. Também no ginásio do clube C se apresenta um pico entre as 10h e as 11h do segundo dia. Quanto aos referenciais da OMS, o valor limite para PM_{10} é ultrapassado no estúdio 1 do clube A, em todos os espaços do clube B e no ginásio do clube C; para $\text{PM}_{2.5}$ o clube B ultrapassa pontualmente o limite de $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ em todos os espaços, bem como o ginásio do clube C.

De forma a analisar-se de forma mais direta os valores máximos e as médias obtidas para PM_{10} para cada espaço, foi elaborada a Tabela 12 que reúne essa informação e mostra que o clube B apresenta as concentrações médias e máximas mais elevadas.

Tabela 12 – Concentrações de PM_{10} medidas nos três clubes (média, desvio-padrão, máximo e mínimo. Valores em $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

	Clube A			Clube B		Clube C	
	E1	E2	G	E	G	E	G
\bar{x} (média)	13.62	10.01	7.93	19.68	44.52	3.65	5.36
σ (desvio-padrão)	13.90	6.02	4.90	14.81	24.95	3.62	7.98
Max	109.27	34.08	19.95	156.51	190.29	24.73	160.39
min	0	0	0	0	0	0	0

E – Estúdio; E1 – Estúdio 1; E2 – Estúdio 2; G – Ginásio

Nos clubes A e C verifica-se a existência de picos de concentração nos estúdios em períodos de aulas, concluindo-se assim que a presença humana é uma fonte para o aumento de partículas nestes espaços que provavelmente contribui para a ressuspensão de partículas no espaço.

No estúdio do clube B os dois picos de concentração mais evidentes surgem durante a hora de almoço e no início da tarde. Após as aulas das 14h não se verificou uma diminuição acentuada na concentração de partículas no estúdio. No ginásio verificou-se o aumento da concentração de partículas a partir das 14h, tendo-se verificado no segundo dia de amostragem um pico por volta da mesma hora. Este facto poderá dever-se às operações de limpeza que no clube B são efetuadas em dois

períodos: à tarde, logo após o final das aulas do período entre as 12h e as 14h, e a partir das 22h, após o encerramento do espaço.

Relativamente às concentrações encontradas nos ginásios de todos os clubes verifica-se que as variações na concentração não são tão evidentes como nos estúdios, uma vez que a ocupação do ginásio é mais homogénea do que a ocupação dos estúdios que é caracterizada por picos de ocupação em determinados horários. A ressuspensão de partículas que se verificou neste trabalho foi também demonstrada por outros autores, ainda que em diferentes ambientes. Em ginásios escolares e escolas a ressuspensão de poeiras pela atividade dos alunos é considerada a maior fonte de contribuição para a fração grosseira de partículas (Braniš *et al.*, 2011; Diapouli *et al.*, 2007). De acordo com Ferro *et al.* (2004) as fontes que contribuem para a ressuspensão de partículas são independentes das concentrações do exterior, das taxas de infiltração ou do volume do espaço, mas dependentes da atividade praticada, da quantidade de poeira depositada, do tipo de pavimento e de mobiliário/equipamento existente.

Relativamente à granulometria das partículas encontradas nos espaços, verifica-se uma maior concentração de partículas finas, com tamanho compreendido entre os 0.3-0.5 μm , sendo que esta fracção é a que apresenta uma maior contribuição para a totalidade da concentração registada no clube A. O clube C apresenta concentrações mais reduzidas de partículas, sendo que a contribuição de cada fracção granulométrica nos estúdios é maior nas fracções 0.5-1.0 μm , 1.0-2.5 μm e 2.5-5.0 μm . O clube B distingue-se dos anteriores porque manifesta concentrações na fracção grosseira (entre 2.5-10 μm) superiores às registadas nos clubes anteriores, especialmente nos dias 3 e 4 no estúdio e em ambos os dias no ginásio. Braniš *et al.*, (2005) atesta que, na ausência de outras fontes de partículas no interior, a atividade humana é um fator de peso para valores elevados de partículas na fracção grosseira em ambientes interiores. Porém, as diferenças existentes entre os clubes A+C e B são muito evidentes. Ao contrário dos clubes A e C, o estúdio do clube B não apresentou a ventilação mecânica em funcionamento durante todo o período de amostragem, sendo que de acordo com os registos de campo efetuados, as janelas foram abertas i) à noite no primeiro dia de amostragem e ii) no terceiro e quarto dia, abertas durante a

amostragem, iii) no ginásio a ventilação mecânica manteve-se ligada. Sabendo que a atividade desenvolvida é a mesma nos locais estudados e tendo a variável “*tipo de ventilação*” em conta, pode presumir-se que uma possível causa para o aumento de partículas grosseiras no interior do clube B seja uma contaminação do exterior, potenciada pela falta de funcionamento da ventilação mecânica do clube. A existência de reações secundárias, que contribuem para a formação do aerossol na fração fina, com origem em gases percursores oriundos no tráfego tais como o SO₂ (dióxido de enxofre), NH₃ (amónia), NOx e COV (Hodan e Barnard, 2004) pode também justificar a existência de uma maior concentração mássica nesta granulometria nos clubes que se encontram mais próximos de zonas de tráfego rodoviário.

Importa ainda referir que o conhecimento sobre o estado de limpeza e manutenção do sistema AVAC fornece informação importantes para a avaliação da QAI. Como já foi referido, todos os clubes têm ventilação mecânica. No clube A e C a limpeza dos filtros ocorre mensalmente, enquanto no clube B a mesma operação é realizada quando necessário, não existindo uma rotina definida para este processo. Este facto pode assim também justificar a variação existente nas concentrações encontradas entre cada um dos três clubes. A Figura 22 representa as concentrações obtidas para PM₁₀ no exterior e no interior pelos amostradores de partículas Partisol 2000 e MVS6, respetivamente.

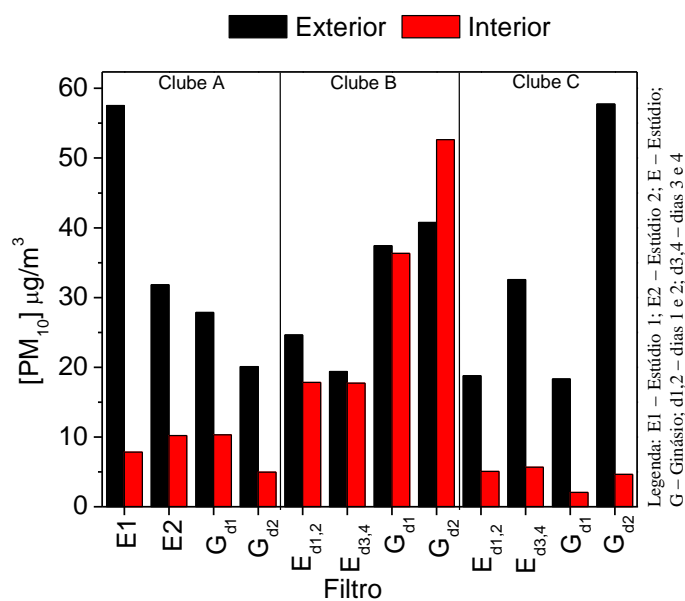


Figura 22 – Concentrações de PM₁₀ recolhidas no interior e no exterior dos clubes (valores em µg/m³).

Pela análise da Figura 22 verificou-se que as concentrações de PM_{10} no exterior do clube B estão muito próximas das medidas no interior, especialmente nos dias 3 e 4 no estúdio e em ambos os dias no ginásio, e neste clube as concentrações no interior são claramente mais elevadas do que nos clubes A e C. A razão I/E para cada um dos filtros foi calculado, obtendo-se a Tabela 13.

Tabela 13 – Razão I/E entre as concentrações de PM_{10} medidas no interior e no exterior dos clubes.

	Clube A				Clube B				Clube C			
Filtro	E1	E2	G _{d1}	G _{d2}	E _{d1,2}	E _{d3,4}	G _{d1}	G _{d2}	E _{d1,2}	E _{d3,4}	G _{d1}	G _{d2}
I/E	0.14	0.32	0.37	0.25	0.72	0.91	0.97	1.29	0.27	0.17	0.11	0.08

Constata-se assim que nos clubes A e C a razão I/E é muito baixa, comparando com os valores obtidos no clube B. Este facto poderá estar associado à existência de insuflação do ar novo previamente filtrado nos clubes A e C enquanto que no clube B a entrada de ar exterior é feita através das janelas sem qualquer tratamento. Por outro lado, também no ginásio do clube B onde há ventilação mecânica se pode verificar a existência de razões I/E muito próximas de 1 apesar de existir ventilação mecânica. A eficiência dos filtros utilizados na unidade de tratamento de ar neste clube poderá também contribuir para as diferenças encontradas. Ainda neste clube, no segundo dia de amostragem no ginásio observou-se um rácio de 1.29, indicando que as concentrações no interior são superiores às concentrações no exterior. Neste dia, poderá ter havido no espaço um número de utentes acima do esperado que terá aumentado a concentração de partículas no interior. Todavia uma vez que a contagem de utentes no ginásio é logisticamente complexa, não existem dados que suportem esta afirmação, sendo apenas uma suposição.

1.4 Temperatura e Humidade

Os valores de humidade e temperatura, apesar de não apresentarem valor definido na legislação sobre a QAI, desempenham um papel muito importante no que respeita aos parâmetros de conforto térmico e de microbiologia, uma vez que ambos influenciam o crescimento microbiano.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 243/86 de 20 de agosto, sobre as condições nos locais de trabalho, este indica que a temperatura deve compreender-se entre os 18 °C e os 22 °C e a humidade relativa entre os 50% a 70%. Por sua vez, a ISO 7730 relativa à avaliação do conforto térmico indica intervalos de temperatura entre os 23°C e os 26 °C e de humidade relativa entre 30% a 70%. As Figuras 23 e 24 representam respetivamente a variação de temperatura e humidade nos espaços dos clubes. Para os clubes B e C, a designação de “estúdio 1” e “estúdio 2” correspondem respectivamente ao primeiro e segundo dia de amostragem e ao terceiro e quarto dia de amostragem.

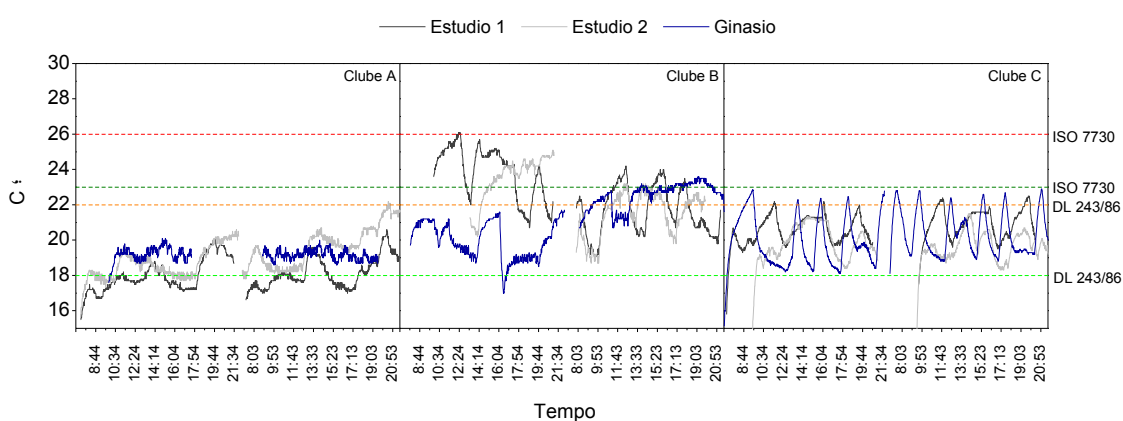


Figura 23 – Variação temporal da temperatura nos espaços dos clubes.

No clube A e C, a variação de temperatura manteve-se regular, oscilando entre os 16°C e os 22°C no clube A e entre os 18°C e 22°C no clube C. No clube B as oscilações de temperatura são mais evidentes. Os valores registados no clube C estão dentro dos parâmetros indicados pelo Decreto-Lei n.º 243/86. O clube A também se enquadra no regime anterior, porém nos estúdios, verificam-se temperaturas inferiores a 18°C, mas apenas nos períodos de não ocupação do espaço. O clube B não se enquadra especificamente em nenhum dos referenciais apresentados.

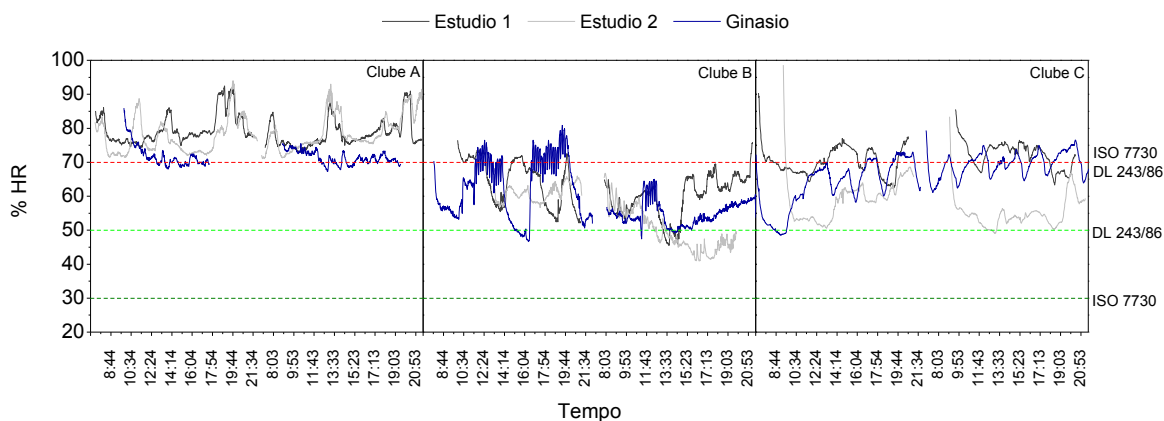


Figura 24 – Variação temporal da umidade relativa nos espaços dos clubes.

De forma clara e evidente, o clube A apresenta valores de HR em todos os espaços acima do máximo recomendado pela ISO 7730 e pelo Decreto-Lei n.º 246/86. O clube B apresenta oscilações fortes, como se verificou também nos valores de temperatura, mas à exceção do ginásio no dia 1, os valores respeitam o referencial da ISO 7730. O clube C apresenta períodos em que o valor máximo é ultrapassado.

A Tabela 14 apresenta o valor médio e outros dados estatísticos referentes aos parâmetros de temperatura e de HR.

Tabela 14 – Estatística descritiva para a temperatura (°C) e umidade relativa (%).

Parâmetro	Dado Estatístico	Clube A			Clube B		Clube C	
		E1	E2	G	E	G	E	G
Temperatura (°C)	\bar{x} (média)	18.05	19.16	19.17	22.51	21.23	20.41	19.70
	σ (desvio-padrão)	0.88	1.01	0.35	1.66	1.34	1.1	1.14
	Max	20.6	22.2	20.1	25.6	23.2	22.7	21.5
	min	15.5	15.6	17.6	18.85	17	15.46	10.4
Umidade Relativa (%)	\bar{x} (média)	79.09	78.33	71.65	58.16	58.84	68.80	57.14
	σ (desvio-padrão)	4.14	5.15	2.58	7.07	7.84	5.21	5.61
	Max	93	94	86	71.65	80.9	84.9	98.6
	min	72.8	71.1	67.3	43.25	46.7	55.5	49.2

E – Estúdio; E1 – Estúdio 1; E2 – Estúdio 2; G – Ginásio

Nos resultados obtidos, verifica-se a existência de um padrão entre os clubes que utilizam ventilação mecânica (clubes A e C) e aquele que utiliza ventilação natural (clube B): nos clubes A e C a oscilação de valores nos dois parâmetros analisados foi

inferior à registada no clube B, devido à utilização de ventilação natural neste último. Nos sistemas mecânicos, a temperatura é controlada e a sua amplitude é minimizada. Por outro lado, a HR que deveria também ser controlada pelos sistemas AVAC dos clubes apresentou uma melhor amplitude de valores no clube B. Nos casos estudados, o clube que apresenta melhores indicadores de HR é aquele cujos valores da temperatura mais oscilam. Nos clubes A e C o sistema AVAC não se mostrou suficiente na manutenção de valores de HR dentro dos limites aceitáveis. Elevadas HR contribuem para a degradação do material (oxidação dos metais) e para a presença de microrganismos nos espaços.

Capítulo 2. Parâmetros Biológicos

Os parâmetros biológicos analisados dizem respeito a fungos e a bactérias. Estes dois tipos de microrganismos são estudados em separado uma vez que apesar de

poderem ser encontrados no ambiente interior são filogeneticamente diferentes, apresentam características de crescimento distintas, bem como efeitos distintos na saúde humana.

2.1 Bactérias

Por forma a avaliar a conformidade legal das bactérias foram criadas a Figura 25 e a Tabela 15. De acordo com o diploma legal, para haver conformidade no critério relativo à microbiologia, a concentração de bactérias no interior do edifício deve ser menor que 500 UFC/m^3 . A Figura 25 apresenta a variação nas concentrações de bactérias no interior e no exterior dos clubes.

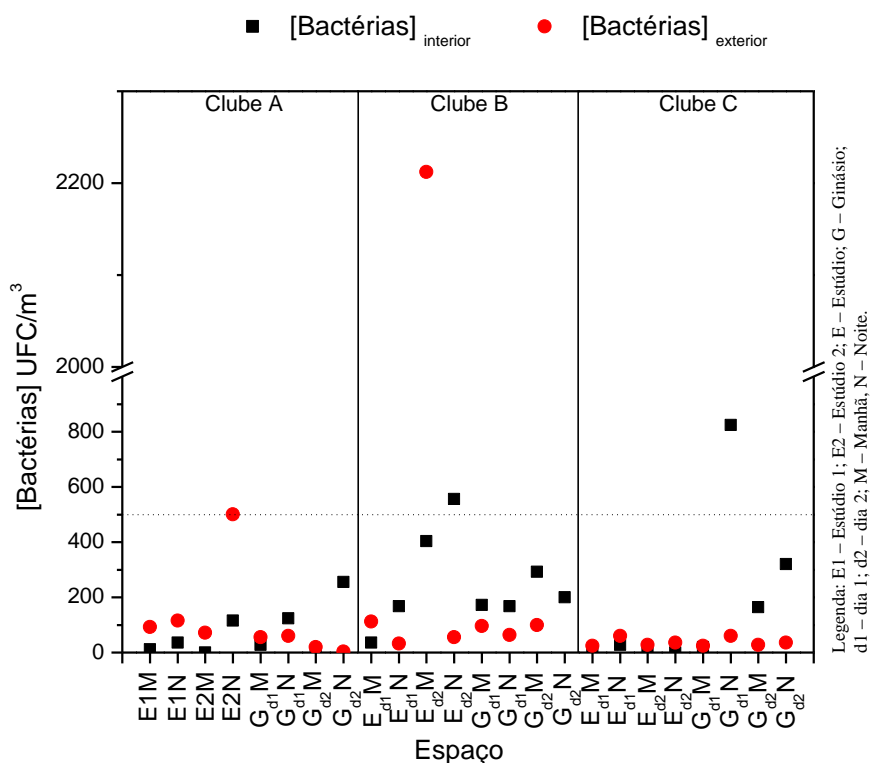


Figura 25 – Concentração de bactérias no interior e no exterior dos clubes (valores em UFC/m^3). A reta horizontal corresponde ao valor limite definido pela legislação portuguesa para microrganismos de 500UFC/m^3 (pontado a preto).

Verifica-se que nos clubes B e C existem duas situações de não conformidade, uma vez que o limite de 500UFC/m^3 foi ultrapassado.

Existe ainda uma condição específica de conformidade (CEC) definida na NT-SCE-02 que é cumulativa com a condição anterior e que indica que a concentração

de bactérias no interior não deverá ser superior à concentração de bactérias no exterior em mais do que 300 UFC/m³. As situações não conformes para ambos os critérios encontram-se assinaladas a vermelho na Tabela 15.

Tabela 15 – Avaliação da conformidade legal da concentração de bactérias (valores em UFC/m³).

Clube	Espaço	Período	[Bactérias] _{int} UFC/m ³	[Bactérias] _{ext} UFC/m ³	1.º Critério de Conformidade (<500 UFC/m ³)	CEC ([interior] - [exterior] < 300)
-------	--------	---------	--	--	---	---

					UFC/m ³)	
A	Estúdio 1	Manhã	12	92	Conforme	Conforme
		Noite	36	116	Conforme	Conforme
	Estúdio 2	Manhã	0	72	Conforme	Conforme
		Noite	116	> 500	Conforme	Conforme
	Ginásio	Manhã	28	56	Conforme	Conforme
		Noite	124	60	Conforme	Conforme
		Manhã	4	20	Conforme	Conforme
		Noite	256	4	Conforme	Conforme
\bar{x}			72	115		
B	Estúdio (dia 1)	Manhã	36	112	Conforme	Conforme
		Noite	168	32	Conforme	Conforme
	Estúdio (dia 2)	Manhã	404	2212	Conforme	Conforme
		Noite	556	56	Não Conforme	Não Conforme
	Ginásio	Manhã	172	96	Conforme	Conforme
		Noite	168	64	Conforme	Conforme
		Manhã	292	100	Conforme	Conforme
		Noite	200	inc.	Conforme	n.a.
\bar{x}			249.5	381.71		
C	Estúdio (dia 1)	Manhã	4	24	Conforme	Conforme
		Noite	28	60	Conforme	Conforme
	Estúdio (dia 2)	Manhã	0	28	Conforme	Conforme
		Noite	0	36	Conforme	Conforme
	Ginásio	Manhã	20	24	Conforme	Conforme
		Noite	824	60	Não Conforme	Não Conforme
		Manhã	164	28	Conforme	Conforme
		Noite	320	36	Conforme	Conforme
\bar{x}			170	37		

n.a. – não aplicável; inc. – placa incontável.

Verifica-se que ambas as não conformidades registadas decorreram no período noturno.

No clube A as concentrações de bactérias no interior foram sempre inferiores às registadas no exterior, em ambos os estúdios. Verifica-se que as concentrações de bactérias medidas de manhã são inferiores às concentrações medidas à noite. Verificou-se um aumento, passando de 12UFC/m³ para 36UFC/m³ no estúdio 1, de

0UFC/m³ para 166UFC/m³ no estúdio 2 e no ginásio de 28UFC/m³ para 124UFC/m³ no primeiro dia e de 4UFC/m³ para 256UFC/m³ no segundo dia de amostragem. Este resultado indica a importância da ocupação para a concentração de bactérias.

No clube B a variação das concentrações de bactérias foi semelhante nos dois dias de amostragem: observa-se um aumento da concentração de bactérias à noite no interior e nas colheitas da manhã verifica-se uma maior concentração no exterior. No ginásio deste clube, as concentrações de bactérias no interior foram superiores às concentrações registadas no exterior em todas as colheitas realizadas. No ginásio existem mais máquinas e equipamentos que são manipulados diariamente e deste modo este espaço oferece uma maior superfície de desenvolvimento destes microrganismos e, conseqüentemente, uma maior possibilidade de passagem para o ar.

No clube C, os estúdios apresentam concentrações de bactérias inferiores às registadas no exterior, nas colheitas da manhã e da noite, ao contrário do que se verificou no ginásio em que as concentrações mais elevadas registaram-se no interior (à exceção da manhã do primeiro dia de colheita).

2.2 Fungos

Na Figura 26 apresenta-se a variação das concentrações de fungos no interior e no exterior dos clubes. Para os fungos existem quatro situações de conformidade que deverão ser respeitadas, nomeadamente:

1. A concentração de fungos no interior do edifício deve ser menor que 500 UFC/m³;
2. A concentração de fungos no interior deve ser inferior às concentrações no exterior;
3. Não deverá existir crescimento visível de fungos nas superfícies;
4. Não deverão ser encontradas situações de perigosidade descritas na tabela seguinte:

Tabela 16 – Situações de perigosidade relativas a fungos.

Presença de espécies pouco	- Misturas de espécies pouco comuns ≥ 150 UFC/m ³
----------------------------	---

comuns(*), desde que:	- Uma só espécie pouco comum $\geq 50 \text{ UFC/m}^3$
Presença confirmada de:	- <i>Aspergillus fumigatus</i> , - <i>Stachybotrys spp.</i> ou outros fungos toxigénicos ou patogénicos(**)

Fonte: NT-SCE-02

(*) Espécies de Fungos Comuns: *Cladosporium spp*, *Alternaria spp*, *Penicillium spp*.

(**) Espécies de fungos toxigénicos e/ou patogénicos: *Stachybotrys chartarum (S. atra)*, *Fusarium sp*, *A. versicolor*, *A. flavus*, *A. fumigatus e A. niger*, *Histoplasma capsulatum*, *Cryptococcus neoformans*.

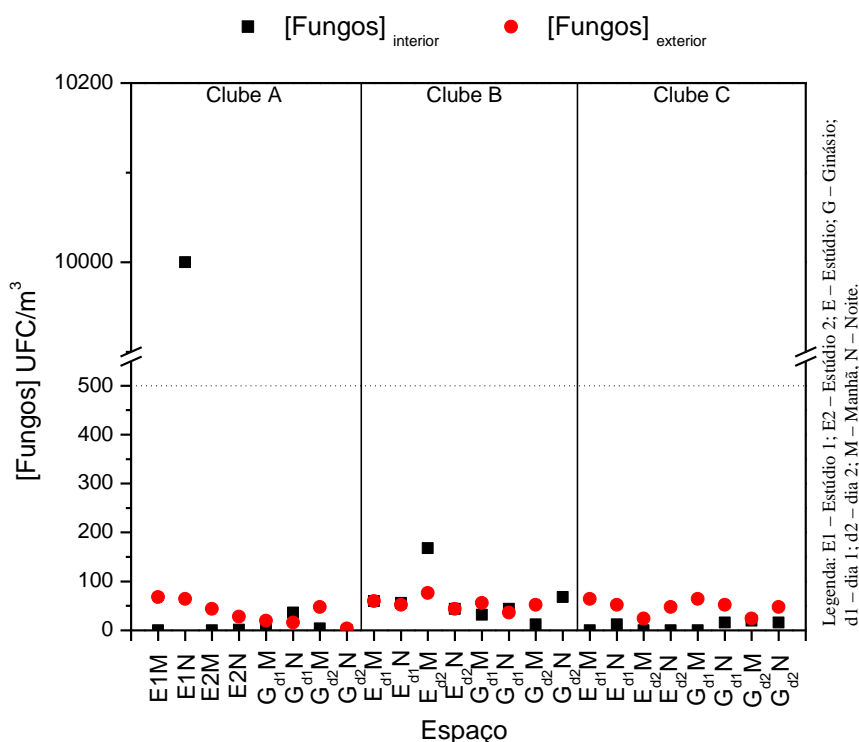


Figura 26 – Concentração de fungos no interior e no exterior dos clubes (valores em UFC/m^3). A reta horizontal corresponde ao valor limite definido pela legislação portuguesa para microrganismos de 500UFC/m^3 (ponteados a preto).

Na Tabela 17 são apresentados os resultados para os quatro critérios de conformidade aplicáveis a fungos segundo o Decreto-Lei n.º 78/2006 e a NT-SCE-02. As situações não conformes encontram-se assinaladas a vermelho.

Tabela 17 – Avaliação da conformidade legal da concentração de fungos (valores em UFC/m^3).

Clube	Espaço	Período	[interior] UFC/m^3	[exterior] UFC/m^3	CRITÉRIOS DE CONFORMIDADE			
					1.º ($<500 \text{ UFC/m}^3$)	2.º ([interior] < [exterior])	3.º (crescimento visível)	4.º (situações de perigosidade)

A	Estúdio 1	Manhã	0	68	Conforme	Conforme	Não	Não
		Noite	10000	64	Não Conforme	Não Conforme	Não	Não
	Estúdio 2	Manhã	0	44	Conforme	Conforme	Não	Não
		Noite	1	28	Conforme	Conforme	Não	Não
	Ginásio	Manhã	4	20	Conforme	Conforme	Não	Não
		Noite	36	16	Conforme	Não Conforme	Não	Não
		Manhã	4	48	Conforme	Conforme	Não	Não
	Noite	0	4	Conforme	Conforme	Não	Não	
\bar{x}			6.42	36.50				
B	Estúdio (dia 1)	Manhã	60	60	Conforme	Não Conforme	Não	Sim
		Noite	56	52	Conforme	Não Conforme	Não	Não
	Estúdio (dia 2)	Manhã	168	76	Conforme	Não Conforme	Não	Sim
		Noite	44	44	Conforme	Não Conforme	Não	Não
	Ginásio	Manhã	32	56	Conforme	Conforme	Não	Não
		Noite	44	36	Conforme	Não Conforme	Não	Não
		Manhã	12	52	Conforme	Conforme	Não	Não
	Noite	68	-	Conforme	Conforme	Não	Não	
\bar{x}			59.42	53.71				
C	Estúdio (dia 1)	Manhã	0	64	Conforme	Conforme	Não	Não
		Noite	12	52	Conforme	Conforme	Não	Não
	Estúdio (dia 2)	Manhã	0	24	Conforme	Conforme	Não	Não
		Noite	0	48	Conforme	Conforme	Não	Não
	Ginásio	Manhã	0	64	Conforme	Conforme	Não	Não
		Noite	16	52	Conforme	Conforme	Não	Não
		Manhã	20	24	Conforme	Conforme	Não	Não
	Noite	16	48	Conforme	Conforme	Não	Não	
\bar{x}			6.86	46.86				

Verifica-se que o clube A apresenta duas situações de não conformidade, uma no período da noite no estúdio 1 e a outra no primeiro dia de amostragem no ginásio. Na primeira não conformidade, apesar de a concentração ser muito elevada, o microrganismo encontrado corresponde a leveduras. As leveduras estão entre o tipo de fungos mais comuns de existirem no interior (Górny, Dutkiewicz e Krysinska-Traczyk, 1999; Kuo e Li, 1994). No clube A também os fungos revelaram estar em maior concentração no exterior no período da manhã. Na colheita da noite do estúdio

1 verificou-se uma concentração de fungos muito elevada comparativamente com as outras colheitas.

O clube B apresenta cinco situações de não conformidade, identificadas pelo segundo critério, sendo quatro delas no estúdio e uma no ginásio. Foram também identificadas duas situações de perigosidade pela presença de espécies fúngicas pouco comuns superiores a 50 UFC/m³:

- Na manhã do dia 1 no estúdio – *Chrysonilia* a 60 UFC/m³;
- Na manhã do dia 2 no estúdio – *Cryosporium* a 148 UFC/m³.

No clube B os fungos apresentam uma dinâmica semelhante no interior e no exterior. No período da manhã as concentrações são superiores ou equivalentes ao exterior, exceto no segundo dia. Esta diferença pode residir no facto de esta colheita ter sido feita às 13h e não à hora de abertura do clube, já tendo havido ocupação do estúdio. À noite as concentrações no interior apresentam-se em concentração superior ou igual às registadas no exterior.

O clube C apresenta-se em conformidade com a legislação em vigor. Neste clube todos os locais apresentam concentrações de fungos são sempre inferiores às concentrações no exterior.

De acordo com Frankel *et al.*, (2012) a origem dos fungos varia consoante a estação do ano, sendo que no verão têm como origem principal o ar exterior e o durante o inverno provêm do ar interior; já para as bactérias a sua origem no interior é independente da estação do ano. Também o tipo de ventilação praticado em cada clube poderá justificar os resultados obtidos. Uma vez que os clubes A e C utilizam ventilação mecânica, a condição de Frankel *et al.*, (2012) não lhes é aplicável, pois possuem controlo sobre variáveis que definem o controlo ambiental, sendo aplicável apenas ao clube B. Cruzando estes dados com as médias obtidas sobre as concentrações fungos, percebe-se que o clube B apresenta a média mais elevada. Existe assim um contributo da ventilação natural para o número de fungos presente, que foi também constatado por Frankel *et al.*, (2012). De uma forma geral, verificou-se um aumento superior na concentração de bactérias à noite facto que não se

observou nos fungos. Isto demonstra que as bactérias estão mais associadas à ocupação humana do que os fungos.

Os resultados obtidos indicam-nos que a concentração de bactérias no interior é, predominantemente, superior ao final do dia. Estes resultados estão de acordo com os resultados de Dacarro *et al.*, (2003) que estudou a carga microbiana em ginásios de universidades e escolas durante as aulas de educação física, em que também verificou os mesmos resultados.

2.3 Superfícies

Para as colheitas de superfície foi elaborada uma tabela semelhante às anteriores. Uma vez que não existe legislação sobre valores limites de UFC em superfícies, os resultados encontrados serão debatidos à luz da literatura que aborda o tema.

Tabela 18 - Avaliação das concentrações de bactérias e fungos em superfícies (valores em UFC/m²).

Clube	Espaço	Período	[Bactérias]	[Fungos]
-------	--------	---------	-------------	----------

			UFC/m ²	UFC/m ²
A	Estúdio 1	Manhã	528	1.4 x 10 ⁴
		Noite	72	1 x 10 ⁴
	Estúdio 2	Manhã	48	11 x 10 ³
		Noite	10512	4 x 10 ⁴
	Ginásio	Manhã	16	6 x 10 ⁴
		Noite	204	4 x 10 ⁴
		Manhã	12	0
		Noite	560	22 x 10 ⁴
\bar{x}			1494	5.64 x 10 ⁴
B	Estúdio (dia 1)	Manhã	340	3.7 x 10 ⁴
		Noite	10512.0	22.1 x 10 ⁴
	Estúdio (dia 2)	Manhã	524.0	0
		Noite	1276.0	23.1 x 10 ⁴
	Ginásio	Manhã	5548	9.1 x 10 ⁴
		Noite	28.0	0
		Manhã	-	60 x 10 ⁴
		Noite	-	0
\bar{x}			3038	14.7 x 10 ⁴
C	Estúdio (dia 1)	Manhã	2212	3 x 10 ⁸
		Noite	2212	3 x 10 ⁸
	Estúdio (dia 2)	Manhã	2212	3 x 10 ⁸
		Noite	2212	3 x 10 ⁸
	Ginásio	Manhã	2212	3 x 10 ⁸
		Noite	2212	3 x 10 ⁸
		Manhã	2380	3 x 10 ⁸
		Noite	2212	3 x 10 ⁸
\bar{x}			2233	3 x 10 ⁸

Os dados anteriores mostram que foram obtidas maiores concentrações de fungos do que de bactérias no pavimento. Este facto poderá estar relacionado com a maior facilidade que os fungos têm em se desenvolver em vários locais devido à sua capacidade de obtenção dos nutrientes necessários à sua sobrevivência em diferentes substratos. Os fungos são conhecidos por conseguirem crescer, mesmo em materiais inertes, tais como telhas de cerâmica e podendo obter nutrientes suficientes das partículas de pó e dos componentes solúveis de água (WHO, 2009). Apesar de terem

sido obtidas concentrações de fungos muito elevadas, o tipo de fungo presente nas placas são leveduras que apresentam baixa patogenicidade ao ser humano. Este estudo apresenta resultados semelhantes aos do estudo micológico de Viegas C. *et al.*, (2011), realizado também em academias e *health clubs*, onde foram verificadas concentrações de leveduras nas superfícies em número superior a fungos filamentosos, explicado pela resistência que estes organismos unicelulares apresentam aos procedimentos de limpeza. A presença de bactérias no pavimento pode ter origem na poeira depositada (Hospodsky, *et al.*, 2012) em escamas de pele e em cabelos (Clark, 1974). Verifica-se que para nenhum dos tipos de microrganismos existe um padrão fiável e distinto para as concentrações nos dois períodos do dia. Por exemplo, no ginásio do clube A, as bactérias apresentam uma concentração superior à noite mas o inverso acontece com os fungos. No clube C o valor apresentado na tabela para bactérias e fungos é o mesmo uma vez que as placas apresentaram um número de colónias superior a 300UFC e considerou-se esse o número a adotar (Figura 27).

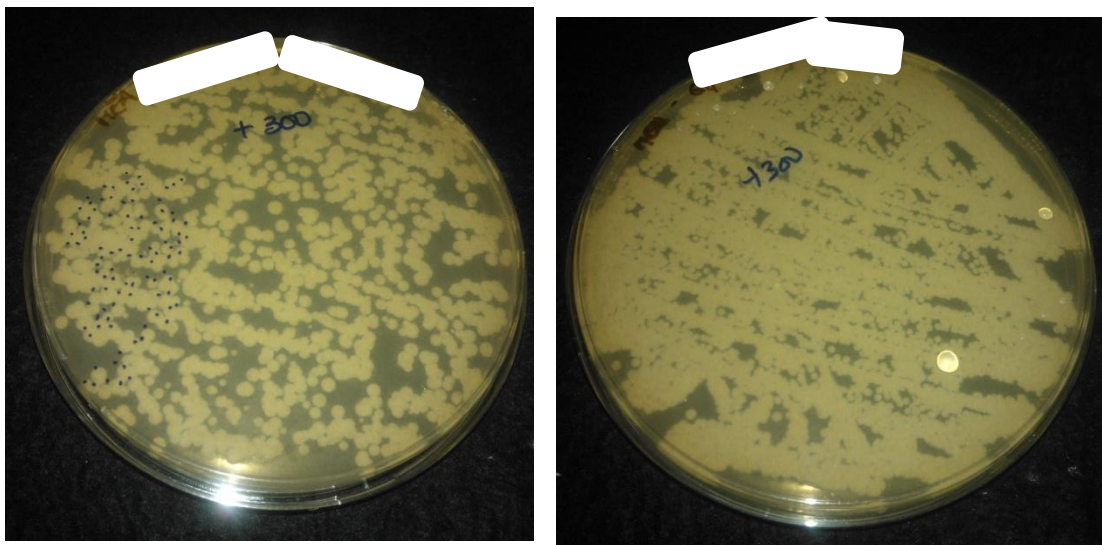


Figura 27 – Duas placas de MEA de colheita de superfície com mais de 300UFC.

Infelizmente não foi encontrada literatura com um valor máximo que possa ser adotado como limite para a presença de microrganismos em superfícies.

Vários estudos suportam o conhecimento de que a concentração de microrganismos se encontra relacionada com a presença humana e com a

concentração de partículas existentes no espaço. De forma passiva, os ocupantes trazem consigo carga microbiana para o interior de um edifício através do cabelo, pele, roupa, sapatos e ainda através dos atos involuntários de tossir, espirrar, falar e respirar, tornando-se uma fonte de contaminação. Na realidade as duas variáveis anteriores estão intimamente ligadas entre si. Hospodsky *et al.*, (2012) estudou a carga microbiana numa sala de aula durante o período ocupado e o período de férias e os seus resultados indicam que a ocupação humana produziu um aumento de 15 vezes na concentração de PM_{10} e que, por sua vez, o aumento em PM_{10} levou a aumento de 66 vezes na carga microbiana do ar comparando o período ocupado com o período de férias. Este autor afirma ainda que a presença humana condiciona positivamente em 20% a poeira assente no pavimento, em 17.5% a carga bacteriana nas condutas de ventilação, em 17% a carga bacteriana no ar interior e em 3% a poeira nos filtros. De acordo com Scheff *et al.*, (2000) a presença humana contribui mais para a presença de bactérias do que para fungos no ar: este autor estimou as taxas de emissão de bactérias e fungos, obtendo valores de 227 UFC/h/p-min e de 191 UFC/h/p-min, respetivamente.

Capítulo 3. Taxas de Ventilação

Os resultados das taxas de ventilação foram obtidos apenas para os clubes A e B, uma vez que não foi possível obter dados sobre as concentrações de CO₂ no exterior durante a campanha de amostragem do clube C. Apenas foram estimadas as taxas de ventilação para os estúdios, uma vez que para a aplicação do modelo é necessário considerar o número de ocupantes no espaço para o *build-up* que se está a estudar. Nos ginásios esse valor é muito variável e difícil de controlar. Para a obtenção desta tabela foram escolhidos os períodos de *build-up* que melhor se ajustavam ao modelo. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 19.

Tabela 19 – Taxas de ventilação e renovações de ar obtidas para o clube A e clube B.

Clube	Clube A				Clube B			
	Estúdio 1		Estúdio 2		Estúdio			
	Dia 1	Dia 2	Dia 1	Dia 2	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4
Número de <i>build-ups</i>	6	5	5	6	2	3	2	5
N.º de renovações de ar (h ⁻¹)	4.3	5.6	2.3	5.3	2.4	1.3	0.8	1.8
\bar{x}	4.3				1.6			
Taxa de ventilação por pessoa (l/s por pessoa)	31.8	29.5	24.7	31.1	54	43	24.8	54.1
\bar{x}	29.3				46.7			

Em termos de número de renovações de ar (h⁻¹), o Clube A apresenta um valor superior ao do clube B. Novamente o tipo de ventilação intervém no controlo das taxas de ventilação, já que a ventilação mecânica em geral promove uma renovação do ar mais elevada do que a ventilação natural. Resultados semelhantes foram encontrados por Canha *et al.*, (2013) e por Walinder *et al.*, (1998).

Passando à taxa de ventilação por pessoa, verifica-se-se que neste caso o maior valor foi encontrado no clube B. Esta inversão de resultados pode ser explicada com base em dois parâmetros que são inseridos no modelo. O primeiro é o número de pessoas existentes em cada espaço. O clube A apresenta uma média de 20 ocupantes por aula enquanto o clube B fica pelos 10 ocupantes em média por aula. O segundo parâmetro é o volume de cada espaço. Conforme descrito na Tabela 7 o volume do estúdio do clube B é de 1156m^3 , ou seja, é respetivamente 2.5 e 1.5 vezes maior do que os estúdios 1 e 2 do clube A. Considerando os dois parâmetros descritos, entende-se que no clube B exista um maior volume de ar disponível, apesar de a taxa de ventilação ser inferior.

Outro fator que poderá ter provocado incerteza nestes resultados é o facto dos períodos utilizados para o cálculo das taxas de ventilação e renovação corresponderem a aulas diferentes nos dois clubes. As aulas de *fitness* que decorreram durante a campanha apresentam objetivos diferentes: umas promovem a força enquanto outras promovem a resistência física. Assim, a correção feita ao valor da taxa metabólica aplicado ao modelo poderá ter sido insuficiente para obter um melhor ajuste dos dados.

Importa comparar os resultados obtidos com os caudais mínimos de ar novo que são exigidos no Decreto-Lei n.º 79/2006. Segundo o Anexo VI deste diploma, o caudal de ar novo a insuflar num clube será de $35\text{m}^3/\text{h}$ por ocupante. Ao converter os valores de L/s por ocupante para m^3/h por ocupante obtém-se o valor de $105\text{m}^3/\text{h}$ por ocupante para o clube A e de $168\text{m}^3/\text{h}$ por ocupante e para o clube B. Estes valores indicam que em termos de cumprimento dos caudais, ambos os clubes estão em conformidade com a legislação em vigor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após apresentação de todos os resultados obtidos e a sua discussão, é possível identificar algumas limitações referentes a todo o processo de investigação realizado.

A colocação dos equipamentos no exterior deveria ser feita idealmente, junto às entradas de ar novo dos clubes, no entanto isso não foi possível devido à localização das mesmas, à segurança do próprio equipamento e à acessibilidade ao equipamento que é preciso assegurar para que o operador possa realizar as tarefas necessárias. Na medida do possível, os equipamentos no exterior foram colocados o mais próximo possível de uma das entradas de ar, nos clubes A e C, e de janelas no clube B.

A localização dos equipamentos no interior do clube poderá ter influenciado o surgimento de picos em alguns clubes. Os equipamentos foram colocados a cerca de $\approx 1.50\text{m}$ do pavimento e próximo da zona de atividade física. A aproximação de indivíduos aos equipamentos resultou em picos indesejáveis, por exemplo, nas concentrações de CO_2 mas que foram identificados e removidos de modo a não influenciar os resultados.

Nesta dissertação não foi possível monitorizar dois poluentes que são contemplados na legislação nacional, são eles o formaldeído e o ozono. Esta limitação deve-se ao facto da indisponibilidade de equipamentos específicos para estes dois poluentes à data da realização da investigação.

O facto de no clube B não se ter conseguido controlar totalmente a abertura e o fecho das janelas constitui também uma limitação ao estudo. Os dados registados sobre a ventilação natural indicam apenas a situação encontrada durante as aulas, sendo que nos períodos em que não estava a decorrer aula, não é certa a situação sobre o tipo de ventilação praticada.

As taxas de ventilação estimadas nesta investigação apresentam um nível de incerteza elevado devido, essencialmente, às variações existentes na curva de crescimento de CO_2 . Como enunciado anteriormente, foram utilizados vários momentos de *build-up* de forma a obter uma melhor aproximação da realidade, no entanto cada *build-up* está associado a uma aula de *fitness* específica, que corresponde a um valor

para a taxa de metabolismo diferente em cada aula. Para além destes condicionalismos, a avaliação das taxas de ventilação com recurso às concentrações de CO₂ apresenta as suas limitações, descritas por Seppänen *et al.*, (1999).

Como perspectivas futuras, é importante que este tipo de avaliação em espaços interiores onde se desenvolve atividade física seja mais estudado em Portugal. Seria também pertinente a aplicação de um questionário aos utilizadores dos clubes, de forma a avaliar a sua perceção sobre a QAI e conforto térmico.

Uma vez que os caudais de ar a insuflar estimados neste trabalho se mostraram bastante elevados em relação ao mínimo definido por lei, seria interessante que nos clubes onde é praticada ventilação mecânica de forma constante, fosse possível utilizar sensores de CO₂ por forma a regular o caudal preconizado e assim se poder otimizar o volume de ar que é insuflado no interior de cada espaço.

No seguimento deste trabalho efectuar-se-á a análise elementar das partículas atmosféricas recolhidas no interior e no exterior dos clubes o que permitirá identificar com maior facilidade as fontes associadas à poluição do ar interior. Também serão estimadas as doses inaladas de cada poluente cruzando os valores de concentração obtidos para cada um deles (mg/m³) e do caudal de ar inalado pelos indivíduos (L/min).

CONCLUSÕES

Este trabalho aborda a QAI em ginásios, no sentido de estudar a exposição a poluentes do ar interior durante a prática de exercício físico. Esta investigação revelou-se importante, não só por ser rara em Portugal, como por ser pouco estudada internacionalmente, não se encontrando assim estudos semelhantes na literatura. Para além disso é indiscutível o seu interesse em termos de saúde humana devido à relevância da exposição a poluentes durante o exercício físico.

Alguns poluentes excederam o valor limite em situações pontuais, como é o caso das partículas e do CO₂. Apesar do CO₂ não apresentar toxicidade para o ser humano nas concentrações registadas (Persily, 1997), este é um bom indicador da qualidade do ar interior e pode influenciar a perceção humana sobre o espaço (desconforto térmico ou sensação de “ar pesado”). No contexto estudado, o CO₂ pode apresentar impacte na resistência física dos utilizadores, uma vez que a produção de CO₂ aumenta de forma diretamente proporcional ao consumo de O₂ pelos ocupantes. Nos clubes A e C, os COV excederam com frequência o valor limite de 0.6mg/m³ e seria importante estudar as espécies de COV que estiveram na origem destas excedências por forma a melhor avaliar a toxicidade absoluta, identificar as suas fontes e propor medidas mitigadoras. Para os microrganismos, a monitorização realizada nos clubes revelou que os fungos manifestaram concentrações consideradas não conformes, especialmente no clube que utiliza ventilação natural. As taxas de ventilação praticadas também se revelaram adequadas.

De modo a que este trabalho fosse também produtivo para os clubes que aceitaram participar na investigação, foram realizados relatórios personalizados sobre cada um dos clubes, evidenciado os pontos fracos e medidas de melhoria para a QAI. As melhorias propostas aos clubes foram as seguintes:

- Para redução do CO₂, aumentar as taxas de ventilação durante os períodos das aulas ou que seja reduzido o número de alunos por aula;

- De modo a não potenciar as concentrações de COV aconselha-se que as fichas técnicas dos produtos de limpeza sejam verificadas de forma a garantir que os mesmos não emitem COV;
- Utilizar equipamentos de limpeza que não promovam a ressuspensão de partículas (evitar vassouras e utilizar a mopa);
- A manutenção dos espaços e do sistema AVAC deverá ser realizada de forma criteriosa;
- Sensibilizar os utentes para a utilização de calçado exclusivo no interior dos clubes.
- Controlar a HR e a temperatura por forma a manter os níveis de microrganismos dentro dos requisitos gerais.

Apesar da amostragem realizada neste trabalho não contemplar todos os poluentes definidos por lei para verificar a conformidade com o Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de abril, ficando por avaliar o CH₂O e o O₃, verifica-se-se que i) para as partículas o valor limite para PM₁₀ foi ultrapassado mais vezes no clube B, com maior expressão para o ginásio; ii) para poluentes como o CO₂ o valor limite só é ultrapassado durante a realização das aulas e nos ginásios; iii) o CO manteve-se sempre muito abaixo do valor limite permitido por lei; e vi) verificou-se que os COV se mantêm acima do permitido por lei, em especial no clube A durante vários períodos do dia.

Entende-se pelos resultados obtidos que existem dois fatores predominantes para a concentração dos poluentes avaliados que são a ocupação humana (condiciona fortemente a concentração de partículas pela ressuspensão de material particulado, as flutuações do CO₂ e a presença de microrganismos) e o tipo de ventilação praticado (a ventilação natural não apresenta nenhuma barreira à contaminação pelo exterior enquanto que a ventilação mecânica, dependendo do estado dos filtros, pode reter a passagem de partículas e de microrganismos). Pode assim concluir-se que as principais fontes de degradação da QAI em ginásios são a ocupação humana e o ar exterior. As fontes interiores de emissão de poluentes poderão ser também as máquinas e os tapetes de exercício (principalmente se for material novo), que podem emitir COV a baixas concentrações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADENE. (2013). *Nota Técnica SCE-02*. Obtido em Junho de 2013, de ADENE: www.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Destaques/Paginas/Notatecnica2.aspx
- Almeida, S.M. (2004). *Caracterização e origem do aerossol atmosférico em zona urbano-industrial*. Universidade de Aveiro: Tese de Doutoramento.
- Almeida, S.M., Almeida-Silva, M., Pinto, M. e Rodrigues, D. (2012). Indoor air quality certification in Portuguese buildings. *Congresso Internacional de Saúde Ambiental*. Lisboa: Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa.
- Amaral, M. (2008). *Sistemas de Ventilação Natural e Mistos em Edifícios de Habitação*. Tese de Doutoramento. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.
- APA. (2009). *Qualidade do Ar em Espaços Interiores - Um Guia Técnico*. Amadora: Agência Portuguesa do Ambiente.
- APA. (2011). *Relatório do Estado do Ambiente 2011*. Amadora: Agência Portuguesa do Ambiente. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território.
- Assouline-Dayana, Y., Leong, A., Shoenfeld, Y. e Gershwin, M. (2002). Studies of Sick Building Syndrome. IV. Mycotoxicosis. *Journal of Asthma*, 39 (3), 191-201.
- ATSDR. (1999). *Formaldehyde*. Obtido em Fevereiro de 2012, de Agency for Toxic Substances and Disease Registry: <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts111.pdf>
- ATSDR. (Junho de 2012). *Public Health Statement for Carbon Monoxide*. Obtido em Abril de 2013, de Agency for Toxic substances & Disease Registration: <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp201-c1-b.pdf>
- Bakó-Biró, Z., Clements-Croome, D., Kochhar, N., Awbi, H. e Williams, M. (2012). Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Building and Environment*, 48, 215-223.
- Beuchat, L., Komitopoulou, E., Beckers, H., Betts, R., Bourdichon, F., Fanning, S., et al. (2013). Low-Water activity foods: increased concern as vehicles of foodborne pathogens. *Journal of Food Protection*, 76 (1), 150-172.
- Braniš, M., Rezacová, P. e Domasová, M. (2005). The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM10, PM2.5, and PM1. *Environmental Research*, 99, 143-149.

- Braniš, M. e Větvička, J. (2010). PM10, ambient temperature and relative humidity during the XXIX summer Olympic Games in Beijing: were athletes at risk? *Aerosol and Air Quality Research*, 10, 102–110.
- Braniš, M., Safranek, J. e Hytychova, A. (2011). 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, 598-609.
- Buonanno, G., Fuoco, F., Marini, S. e Stabile, L. (2012). Particle Resuspension in School Gyms during Physical Activities. *Aerosol and Air Quality Research*, 12, 803–813.
- Canha, N., Almeida, S., Freitas, M., Taubel, M. e Hanninen, O. (2013). Winter ventilation rates at primary schools: comparison between Portugal and Finland. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 76 (6), 400-408.
- Carlisle, A. e Sharp, N. (2001). Exercise and outdoor ambient air pollution. *British Journal of Sports Medicine*, 35, 214-222.
- Carrer, P., Fanetti, A., Forastiere, F., Holcatova, I., Molhave, L., Sundell, J., et al. (2008). *Deliverable 1.1 - WP1 Technical Report: Health Effects*. Relatório de Projecto.
- CCOHS. (2004). *Indoor Air Quality - Health and Safety Guide, 2nd Edition*. Ontario: Canadian Centre for Occupational Health and Safety.
- Chalupa, D., Morrow, P., Oberdörster, G., Utell, M. e M.W., F. (2004). Ultrafine particle deposition in subjects with asthma. *Environmental Health Perspectives*, 112 (8), 879-882.
- Chang, H., Kato, S. e Chikamoto, T. (2004). Effects of outdoor air conditions on hybrid air conditioning based on task/ambient strategy with natural and mechanical ventilation in office buildings. *Building and Environment*, 34, 153-164.
- Clark, R. (1974). Skin scales among airborne particles. *Journal of Hygiene (Cambridge)*, 72, 47-51.
- Colley, J., Wong, W., Jumper, C. e Straus, D. (1998). Correlation between the prevalence of certain fungi and sick building syndrome. *Environmental Medicine*, 55, 579-584.
- Comissão Europeia. (2005). *The INDEX project - Critical appraisal of the setting and implementation of indoor exposure limits in the EU*. Itália: JRC.
- Comissão Europeia. (2006). *Health effects of school environment*. Siena: Comissão Europeia.

- Comissão Europeia. (2010). *Alimentação e actividade física*. Obtido em Abril de 2013, de http://ec.europa.eu/health/nutrition_physical_activity/policy/index_pt.htm
- Comissão Europeia. (2013). *AIRMEX*. Obtido em Abril de 2013, de http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/our_databases/airmex
- Conselho Nacional do Desporto. (2008). *Ginásios - Diploma relativo à construção, instalação e funcionamento*. Presidência do Conselho de Ministros, Secretaria de Estado da Juventude e do Desporto.
- CTN. (2009). *Infrastructures*. Obtido em Maio de 2013, de www.itn.pt/facilities/uk_clean_sample_proces.htm
- Dacarro, C., Picco, A., Grisoli, P. e Rodolfi, M. (2003). Determination of aerial microbiological contamination in scholastic sports environments. *Journal of Applied Microbiology*, 95, 904-912.
- Daigle, C., Chalupa, D., Gibb, F., Morrow, P., Oberdörster, G., Utell, M., et al. (2003). Ultrafine particle deposition in humans during rest and exercise. *Inhalation Toxicology*, 15, 539-552.
- Decreto-Lei n.º 118/98 de 7 de maio, Ministério do Equipamento, do Planeamento e da Administração do Território.
- Decreto-Lei n.º 156/92 de 29 de julho, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações.
- Decreto-Lei n.º 243/86 de 20 de agosto, Ministério do Trabalho e Segurança Social.
- Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de abril, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações.
- Diapouli, E., Chaloulakou, A. e Spyrellis, N. (2008). Indoor and outdoor PM concentrations at a residential environment, in the Athens area. *Global NEST Journal*, 10 (2), 201-208.
- EEA. (2011). *Environment and Health*. Obtido em Janeiro de 2012, de European Environment Agency: <http://www.eea.europa.eu/themes/human/intro>
- EFA. (2001). *Towards healthy air in dwellings in Europe*. Bruxelas: EFA.
- EPA. (1991). *Indoor Air Facts N.4 Sick Building Syndrome*. Obtido em Abril de 2013, de Environmental Protection Agency: www.epa.gov/iaq/pdfs/sick_building_factsheet.pdf
- EPA. (2010). *Indoor Air Facts N.4 (revised) Sick Building Syndrome*. Obtido em Fevereiro de 2012, de Environmental Protection Agency: <http://www.epa.gov/iaq/pubs/sbs.html>

- EPA. (2011a). *Indoor Air*. Obtido em Abril de 2013, de <http://cfpub.epa.gov/eroe/index.cfm?fuseaction=list.listBySubTopic&lv=list.listByChapter&ch=46&s=343>
- EPA. (2011b). *An Introduction to Indoor Air Quality (IAQ) - Volatile Organic Compounds (VOCs)*. Obtido em Fevereiro de 2012, de United States Environmental Protection Agency: <http://www.epa.gov/iaq/voc2.html>
- EPA. (2011c). *Carbon Dioxide*. Obtido em Fevereiro de 2012, de Environmental Protection Agency: <http://www.epa.gov/climatechange/emissions/co2.html>
- EPA. (Abril de 2011). *Publications and Resources - The Inside Story: A Guide to Indoor Air Quality*. Obtido em Janeiro de 2012, de United States Environmental Protection Agency: <http://www.epa.gov/iaq/pubs/insidestory.html#Intro1>
- EPA. (2012). *Health*. Obtido em 2012, de Environmental Protection Agency: <http://www.epa.gov/pm/health.html>
- Erdmann, C., Steiner, K. e Apte, M. (2002). Indoor carbon dioxide concentrations and sick building syndrome symptoms in the base study revisited: analyses of the 100 building dataset. *Indoor Air 2012*, (pp. 443-448). Monterey, CA, EUA.
- Eurobarometer 72.3. (2010). *Sport and Physical Activity*. Belgium: European Comission.
- European Comission - IHCP. (2003). *Report N.º 23 - Ventilation, Good Indoor Air Quality and Rational Use of Energy*. Luxemburg: Official Publications of the European Communities.
- Fan, Z., Meng, Q., Weisel, C., Laumbach, R., Ohman-Strickland, P., Shalat, S., et al. (2009). Acute exposure to elevated PM_{2.5} generated by traffic and cardiopulmonary health effects in healthy older adults. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 19, 525-533.
- Ferreira, P. (2006). *Sistemas de Ventilação Híbridos em Edifícios - Análise Energética Resultante da Implementação de Sistemas de Ventilação Inovativos*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia.
- Ferro, A., Kopperud, R. e Hildemann, L. (2004). Source Strengths for Indoor Human Activities that Resuspend Particulate Matter. *Environmental Science & Technology*, 38, 1759-1764.
- Fisk, W., Mirer, A. e Mendell, M. (2009). Quantitative relationship of sick building syndrome symptoms with ventilation rates. *Indoor Air*, 19, 159-165.
- Folinsbee, L. (1992). Human Health Effects of Air Pollution. *Environmental Health Perspectives*, 100, 45-56.

- Fortin, M. (1996). *O Processo de Investigação* (5ª Edição). Loures: Lusociência.
- Frankel, M., Beko, G., Timm, M., Gustavsen, S., Hansen, E. e Madsen, A. (2012). Seasonal variations of indoor microbial exposures and their relation to temperature, relative humidity and air exchange rate. *Applied and Environmental Microbiology*, 78 (23), 8289-8297.
- García, J. (2010). A review of general and local thermal comfort models for controlling indoor ambiances. In A. Kumar, *Air Quality* (309-326).
- Ghiaus, C., Allard, F., Santamouris, M., Georgakis, C., Roulet, C., Germano, M., et al. (2005). *Natural ventilation in urban areas: results of the European Project URBVENT*. Obtido em February de 2012, de Repositorium UM: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/4966>
- Gorner, P., Simon, X., Bémer, D. e Lidén, G. (2012). Workplace aerosol mass concentration measurement using optical particle counters. *Journal of Environmental Monitoring*, 14, 420-428.
- Górny, R., Dutkiewicz, J. e Kryszynska-Traczyk, E. (1999). Size distribution of bacterial and fungal bioaerosols in indoor air. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 6, 105-113.
- Hanninen, O. (2012). *Combining CO₂ data from ventilation phases improves estimation of air exchange rates*. Obtido em Abril de 2013, de Healthy Buildings 2012 Austrália: <http://www.cpeimages.qut.edu.au/images/HB2012Proceedings/PDF%20Docs%20for%20Proceedings/7A.8.pdf>
- Haverinen-Shaughnessy, U., Moschandreas, D e Shaughnessy, R. (2011). Association between substandard classroom ventilation rates and students' academic achievement. *Indoor Air*, 21, 121-131.
- Heal, M. B., Beverland, I.J., McCabe, M., Hepburn, W. e Agius, R.M. (2000). Intercomparison of five PM₁₀ monitoring devices and the implications for exposure measurement in epidemiological research. *Journal of Environmental Monitoring*, 2, 455-461.
- Hodan, W. M. e Barnard, W. R. (2004). *Evaluating the contribution of PM_{2.5} precursor gases and re-entrained road emissions to mobile source PM_{2.5} particulate matter emissions*. Obtido em Maio de 2013, de 13th International Emission Inventory Conference "Working for Clean Air in Clearwater": www.epa.gov/ttnchie1/conference/ei13/mobile/hodan.pdf
- Hodgson, A., Daisey, J., Mahanama, K. e Ten Brinke, J. (1999). Use of volatile tracers to determine the contribution of environmental tobacco smoke to concentrations

of volatile organic compounds in smoking environments. *Environment International*, 22 (3), 295-307.

Hoog, C., Guarro, J., Gené, G. e Figueiras, M. (2000). *Atlas of Clinical Fungi* (2.^a edição). Utrecht: Centraalbureau voor Schimmelcultures.

Hoskins, J. (2003). Health Effects due to Indoor Air Pollution. *Indoor and Built Environment*, 12,427-433.

Hospodsky, D., Qian, J., Nazaroff, W., Yamamoto, N., Bibby, K., Rismani-Yazdi, H., et al. (2012). Human occupancy as a source of indoor airborne bacteria. *PLoS ONE*, 7 (4), 1-10.

Hussain, M., Madl, P. e Khan, A. (2011). Lung deposition predictions of airborne particles and the emergence of contemporary diseases - Part I. *the Health*, 2 (2), 51-59.

IARC. (1982). *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Some Industrial Chemicals and Dyestuffs - Vol.29*. Lion: International Agency for Research on Cancer.

IARC. (2006). *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans - Vol. 88*. Lion: International Agency for Research on Cancer.

IDMEC. (2009). *EnVIE*. Obtido em Abril de 2013, de www.envie-iaq.eu/

INE. (2012). *Estatísticas Demográficas 2010*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística.

ISO 7730:2005, Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.

Jarvies, B. e Miller, J. (2005). Mycotoxins as harmful indoor air contaminants. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 66, 367-372.

Kao, L. e Nañagas, K. (2005). Carbon monoxide poisoning. *Medical Clinics of North America*, 89, 1161-1194.

Kim, K., Jahan, S. e Lee, J. (2011). Exposure to formaldehyde and its potential human health hazards. *Journal of Environmental Science and Health Part C - Environmental Carcinogenesis & Ecotoxicology Reviews*, 29 (4), 277-299.

Koistinen, K., Kotzias, D., Kephelopoulos, S., Schlitt, C., Carrer, P., Jantunen, M., et al. (2008). The INDEX project: executive summary of a European Union project on indoor air pollutants. *Allergy*, 63, 810-819.

Kuo, Y. e Li, C. (1994). Seasonal fungus prevalence inside and outside of domestic environments in the subtropical climate. *Atmospheric Environment*, 28 (19), 3125-3130.

- Larone, D. (2002). *Medically important fungi: a guide to identification* (4.^a edição). Washington DC: ASM Press.
- Leite, T. (2006). *Análise do dispêndio energético e intensidade de esforço de uma aula de Indoor Cycle: estudo realizado numa aula coreografada de RPM*. Monografia, Universidade do Porto, Faculdade de Desporto.
- Les Mills. (2013). *About Body Attack*. Obtido em Maio de 2013, de www.lesmills.com/global/en/classes/bodyattack/about-bodyattack/
- Liao, S., Bacon-Shone, J. e Kim, Y. (1991). Factors influencing indoor air quality in Hong Kong: measurements in offices and shops. *Environmental Technology*, 12 (9), 737-745.
- López-Aparicio, S., Smolík, J., Masková, L., Soucková, M., Grontoft, M., Ondráckova, L., et al. (2011). Relationship of indoor and outdoor air pollutants in a naturally ventilated historical building envelope. *Building and Environment*, 46, 1460-1468.
- Lu, W., Wei, W. e Feng, X. (2011). Test and Analysis on the Indoor Air Quality of Gymnasium in the University. *2011 International Conference on Human Health and Biomedical Engineering*, (807 - 810). Jilin, China.
- Markttest. (2005). *Consumo/ Utilização/ Bens/ Produtos*. Obtido em Abril de 2013, de www.markttest.com/wap/a/n/id~6e9.aspx
- Markttest. (2007). *Ginásios entram na moda*. Obtido em Maio de 2013, de Correio de Azeméis: http://pdf.clipping.mediamonitor.pt/pdfTemp/etn_3822841_527_0.pdf
- Matos, C. (2009). *O Efeito da Ventilação Natural na Qualidade do Ar Interior e na Eficiência Energética dos Edifícios*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro.
- McNamara, M., Noonan, C. e Ward, T. (2011). Correction factor for continuous monitoring of wood smoke fine particulate matter. *Aerosol and Air quality Research*, 11, 315-322.
- Mendes, D. (2006). Número de ginásios e clubes duplica em seis anos. *Diário de Notícias - Empresas & Negócios*, 8.
- Monteiro, A., Miranda, A., Borrego, C. e Vautard, R. (2007). Air quality assessment for Portugal. *Science of the Total Environment*, 373 (1), 22-31.
- National Institute for Health and Welfare. (2008). *HITEA*. Obtido em Abril de 2013, de <http://www.hitea.eu/>
- Nazaroff, W. W. (2012). ISIAQ and the Academy of Fellows. *Indoor Air*, 22 (2), 353-355.

- Okuda, T., Matsuura, S., Yamaguchi, D., Umemura, T., Hanada, E., Orihara, H., *et al.* (2011). The impact of the pollution control measures for the 2008 Beijing Olympic Games on the chemical composition of aerosols. *Atmospheric Environment*, *45*, 2789-2794.
- Oravisjärvi, K., Pietikäinen, M., Ruuskanen, J., Rautio, A., Voutilainen, A. e Keiski, R. (2011). Effects of physical activity on the deposition of traffic-related particles into the human lungs in silico. *Science of the Total Environment*, *409*, 4511-4518.
- Pegas, P., Evtugina, M., Alves, C., Nunes, T., Cerqueira, M., Franchi, M., *et al.* (2010). Outdoor/indoor air quality in primary schools in Lisbon: a preliminary study. *Química Nova*, *33* (5), 1145-1149.
- Pegas, P., Alves, C., Evtugina, M., Nunes, T., Cerqueira, M., Franchi, M., *et al.* (2011). Seasonal evaluation of outdoor/indoor air quality in primary schools in Lisbon. *Journal of Environmental Monitoring*, *13*, 657-667.
- Pelham, T., Holt, L. e Moss, M. (2002). Exposure to carbon monoxide and nitrogen dioxide in enclosed ice arenas. *Occupational and Environmental Medicine*, *59* (4), 224-233.
- Persily, A. (1997). Evaluating building IAQ and ventilation with indoor carbon dioxide. *ASHRAE Transactions*, *103* (2).
- Power, G. (2008). *Modulation of breathing parameters between treadmill and cycle ergometer tests in endurance trained and recreationally active individuals*. Dissertação de Mestrado, Memorial University of Newfoundland, School of Human Kinetics and Recreational.
- Prescott, L.M., Harley, J. e Klein, D. (1999). *Microbiology* (4.^a edição). McGraw-Hill.
- REC. (2010). *Sinphonie*. Obtido em Abril de 2013, de <http://sinphonie.eu/home>
- Rodkey, F., O'Neal, J. e Collison, H. (1963). Oxygen and Carbon Monoxide Equilibria of Human Adult Hemoglobin at Atmospheric and Elevated Pressure. *Blood*, *33*, 57-65.
- Roughton, F. (1970). The equilibrium of carbon monoxide with human hemoglobin in whole blood. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *174*, 177-188.
- Salonen, R., Pennanen, A., Vahteristo, M., Korkeila, P., Alm, S. e Randell, J. (2008). Health risk assessment of indoor air pollution in Finnish ice arenas. *Environment International*, *34*, 51-57.
- Scheff, P., Paulius, V., Curtis, L. e Conroy, L. (2000). Indoor air quality in a middle school, part II: Development of emission factors for particulate matter and bioaerosols. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, *15* (11), 835-842.

- Seppanen, O., Fisk, W. e Mendell, M. (1999). Association of ventilation rates and CO₂ concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. *Indoor Air*, 9, 226-252.
- Sharman, J., Cockcroft, J. e Coombes, J. (2004). Cardiovascular implications of exposure to traffic air pollution during exercise. *QJM*, 97, 1-7.
- Silva, J. (2012). *A ventilação natural como melhoria do desempenho energético de edifícios residenciais*. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa.
- Stranger, M., Potgieter-Vermaak, S. e Van Grieken, R. (2008). Characterization of indoor air quality in primary schools in Antwerp, Belgium. *Indoor Air*, 18, 454-463.
- Sundell, J., Levin, H., Nazaroff, W., Cain, W., Fisk, W., Grimsrud, D., et al. (2012). Ventilation rates and health: multidisciplinary review of the scientific literature. *Indoor Air*, 21, 191-204.
- The Government of Hong Kong. (2003). *A Guide on Indoor Air quality Certification Scheme for Offices and Public Spaces*. Hong Kong: Indoor Air Quality Management Group .
- TVI24. (Janeiro de 2012). *Intoxicação por monóxido de carbono mata cem portugueses*. Obtido em Fevereiro de 2012, de TVI24: [http://www.sabado.pt/Multimedia/FOTOS/Mundo/Fotogaleria-\(413\).aspx](http://www.sabado.pt/Multimedia/FOTOS/Mundo/Fotogaleria-(413).aspx)
- UNEP. (2009). *Independent Environmental Assessment - Beijing 2008 Olympic Games*. United Nations Environmental Program.
- Universidade de Aveiro. (2004). *Projecto SaudAR*. Obtido em Maio de 2013, de Universidade de Aveiro - GEMAC: www.ua.pt/gemac/PageText.aspx?id=11349
- UOWM. (2006). *Prioritization of BUilding MAterials as indoor pollution sources*. Obtido em Abril de 2013, de <http://www.uowm.gr/bumaproject/>
- Vainiotalo, S., Vaananen, V. e Vaaranrita, V. (2008). Measurement of 16 volatile organic compounds in restaurant air contaminated with environmental tobacco smoke. *Environmental Research*, 108 (3), 280-288.
- Viegas, C., Alves, C., Carolino, E., Rosado, L. e Silva Santos, C. (2010). Prevalence of fungi in indoor air with reference to gymnasiums with swimming pool. *Indoor and Built Environment*, 19 (555).
- Viegas, C., Alves, C., Carolino, E., Pinheiro, C., Rosado, L. e Silva Santos, C. (2011). Assessment of fungal contamination in a group of Lisbon Gymnasiums' with a swimming pool. *Italian Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2 (1), 15-20.

- Viegas, S., Ladeira, C., Nunes, C., Malta-Vacas, J., Gomes, M., Brito, M., *et al.* (2010). Genotoxic effects in occupational exposure to formaldehyde: A study in anatomy and pathology laboratories and formaldehyde-resins production. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 5 (1).
- Walinder, R., Norback, D., Wieslander, G., Smedje, G., Erwall, C. e Venge, P. (1998). Nasal patency and biomarkers in nasal lavage - the significance of air exchange rate and type of ventilation in schools. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 71, 479-486.
- Warburton, D., Nicol, C. e Bredin, S. (2006). Health benefits of physical activity: the evidence. *CMAJ*, 174 (6), 801-809.
- Weichenthal, S., Kulka, R., Dubeau, A., Martin, C., Wang, D., e Dales, R. (2011). Traffic-Related Air Pollution and Acute Changes in Heart Rate Variability and Respiratory Function in Urban Cyclists. *Environmental Health Perspectives*, 119 (10), 1373 - 1378.
- Weschler, C., e Shields, H. (1999). Indoor ozone/terpene reactions as a source of indoor particles. *Atmospheric Environment*, 33 (15), 2301-2312.
- WHO. (2006). *Air Quality Guidelines - Global update 2005*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- WHO. (2009). *WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness and Mould*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- WHO. (2010). *Selected Pollutants - WHO Guidelines for Indoor Air Quality*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- WHO. (2012). *Physical Inactivity: A Global Public Health Problem*. Obtido em Janeiro de 2012, de World Health Organization: http://www.who.int/topics/physical_activity/en/
- Wichmann, J., Lind, T., Nilsson, M.-M. e Bellander, T. (2010). PM_{2.5}, soot and NO₂ indoor-outdoor relationships at homes, pre-schools and schools in Stockholm, Sweden. *Atmospheric Environment*, 44, 4536-4544.
- Yanosky, J. W. e MacIntosh, D. (2002). A Comparison of two direct-reading aerosol monitors with the federal reference method for PM_{2.5} in indoor air. *Atmospheric Environment*, 36, 107-113.
- Zhang, Z., Guo, B., e Zhang, J. (2003). Determination of volatile organic compounds in residential buildings. *International Conference on Indoor Air Quality Problems and Engineering Solutions*, (pp. 21-23). EUA.
- Zhou, Y., e Levy, J. (2008). The impact of urban street canyons on population exposure to traffic-related primary pollutants. *Atmospheric Environment*, 42, 3087-3098.