

Estudo da Qualidade do Ar Interior num edifício departamental da UC

Cristina Maria Ponte Costa

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente

Júri

Presidente: Professor Doutor António Rui de Almeida Figueiredo
Professor Associado com Agregação da Universidade de Coimbra

Orientador: Professor Doutor José Joaquim da Costa
Professor Associado com Agregação da Universidade de Coimbra

Vogal: Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar
Professor Associado com Agregação da Universidade de Coimbra

Setembro, 2011

Agradecimentos

Ao Professor Doutor José Joaquim da Costa que me orientou ao longo deste trabalho e esteve sempre disponível, quer para discutir os assuntos mais questionáveis, quer para partilhar os seus conhecimentos.

Deixo também uma palavra de agradecimento a todos os docentes e/ou investigadores, funcionários e alunos do Departamento de Engenharia Mecânica da FCTUC que colaboraram neste trabalho. Em particular, agradeço ao Engenheiro Moniz Ramos pela sua disponibilidade para esclarecer dúvidas sobre os locais visitados e à Engenheira Sara Francisco pela ajuda e a companhia nas campanhas de medições.

Por fim, e não menos importante, agradeço à minha família pela compreensão, pela paciência e por estarem sempre disponíveis para me ouvirem. Aos meus amigos de curso que percorreram este mesmo esforço comigo e a todos os meus amigos que me apoiaram incondicionalmente nos momentos mais difíceis. Um muito obrigada a um amigo especial pela revisão deste trabalho e por sempre acreditar em mim, com muita tranquilidade e carinho.

Resumo

Nas últimas décadas, a qualidade do ar interior (QAI) tem sido considerada como uma das principais causas para o desconforto, degradação da saúde e baixo desempenho dos ocupantes de estabelecimentos de ensino. Num local como o Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (DEM-FCTUC), onde estudantes, docentes e funcionários passam grande parte do seu dia, urge a avaliação da QAI. Um dos objectivos do presente trabalho foi auditar a QAI do DEM-FCTUC, para a emissão do seu certificado energético e de QAI. Outros objectivos foram i) a análise da percepção individual das condições de conforto interior associado à QAI e ii) a avaliação dos sintomas derivados à baixa QAI na saúde dos ocupantes. A QAI foi avaliada em 50 espaços de 23 zonas do DEM, através da verificação da higiene e manutenção dos sistemas AVAC e da medição dos parâmetros impostos pela legislação nacional: Partículas suspensas no ar (PM₁₀), Dióxido de Carbono (CO₂), Monóxido de Carbono (CO), Ozono (O₃), Formaldeído (HCHO), Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COV_T), Bactérias, Fungos, Temperatura e Humidade Relativa. A percepção individual e os sintomas foram analisados através da distribuição de questionários juntos dos alunos em quatro salas de aula. As medições estenderam-se em duas campanhas. Os resultados mostram que a concentração de PM₁₀ excedeu o limite legal em 4 espaços. Por outro lado a concentração de CO₂ foi ultrapassada em 46% dos espaços segundo o 1º critério de conformidade do RSECE e em 2 espaços apenas considerando o 2º critério, indicando aí uma ventilação inadequada. As concentrações de CO, O₃, e COV_T não revelaram problemas nos espaços. O formaldeído atingiu um valor superior ao regulamentar em apenas um espaço que foi avaliado com detalhe. As bactérias mais comuns foram os *coccus* Gram (+) e os fungos foram os *Cladosporium* sp e *Penicillium* sp. As condições de conforto térmico (Temperatura e Humidade Relativa) não se revelaram preocupantes. Foram feitas recomendações ao proprietário com vista a uma melhoria das condições mais críticas e a obtenção do certificado energético e de QAI. Da análise dos questionários, constatou-se que os alunos têm uma maior percepção da situação térmica do espaço do que do nível de humidade ou da falta de QAI. Os sintomas mais sentidos foram a garganta seca ou rouca e a tosse. Futuros estudos deverão ser propostos para descobrir uma adequada estratégia de ventilação, essencial para melhorar a QAI neste edifício.

Abstract

In the last few decades, the indoor air quality (IAQ) has been considered as a principal cause of discomfort, health problems and low performance of the scholar buildings occupants. The building of the DEM-FCTUC is occupied by students, teachers and staff, thus it is very important to evaluate the IAQ. The main goal of this study was to analyze its IAQ and to prepare it to get the energy and IAQ certificate according to the national certification system. Other objectives were (i) the assessment of the individual perception to indoor environmental conditions related to IAQ problems and (ii) the study of the relationship between health symptoms and poor IAQ. The IAQ was assessed by checking the hygiene and maintenance of Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) systems and by measuring in 50 spaces distributed by 23 sampling zones the following parameters, as determined by the national law: Airborne Particle Matter (PM₁₀), Carbon Dioxide (CO₂), Carbon Monoxide (CO), Ozone (O₃), Formaldehyde (HCHO), Total Volatile Organic Compounds (VOC_T), Bacteria, Fungi, Temperature and Relative Humidity. The individual perception and the symptoms were analyzed through surveys to students in four classrooms. The measurements were carried out in two campaigns. The results showed excessive values of the PM₁₀ concentration in four spaces. On the other hand, the CO₂ concentration limit was exceeded in 46% of the spaces according to the first criteria of compliance with RSECE and in two spaces the second compliance criteria was not fulfilled, concluding that these spaces have inadequate ventilation. The concentrations of CO, O₃ and VOC_T revealed no significant problem. The formaldehyde concentration rose to an amount higher than the threshold proposed by the law in one space, which was better evaluated in order to find its source. The most common bacteria found were *cocus* Gram (+), while the most common Fungi were the *Cladosporium* sp and *Penicillium* sp. The Temperature and the Relative Humidity proved to be not worrying. Some recommendations were made to the manager of the building with the purpose of achieving the certificate and to improve the critical conditions that were found. After analyzing the surveys, it was concluded that the students can better perceive the thermal situation of the space instead of the humidity levels or the lack of IAQ. The symptoms often felt by the students were dry throat or hoarse and cough. Future works should be done in this building to find adequate ventilation as an essential way to improve its IAQ.

Índice

<i>Agradecimentos</i>	i
<i>Resumo</i>	ii
<i>Abstract</i>	iii
<i>Índice de Figuras</i>	vi
<i>Índice de Quadros</i>	viii
<i>Siglas</i>	ix
Capítulo 1 – Introdução	
1.1. Enquadramento	1
1.2. A QAI nos estabelecimentos de ensino	3
1.3. Objectivos	6
1.4. Enquadramento legal	6
Capítulo 2 – Auditoria à qualidade do ar interior no DEM	
2.1. Metodologia da auditoria à QAI	10
2.2. Descrição Geral do edifício e dos sistemas de AVAC	11
2.3. Visita preliminar	15
2.4. Questionários – Avaliação subjectiva da QAI	18
2.4.1. Análise dos Questionários da 1ª Fase	18
2.5. Planeamento da Auditoria	19
2.6. Medição das concentrações de poluentes	20
2.6.1. Parâmetros Físicos e Partículas	20
2.6.2. Parâmetros Químicos	21
2.6.3. Parâmetros Biológicos	21
Capítulo 3 – Resultados e Discussão	
3.1. Análise de conformidade da QAI no DEM	23

3.1.1. Primeira Campanha	23
3.1.2. Segunda Campanha	29
3.1.3. Caudal de ar novo necessário	35
3.2. Interpretação dos Questionários da 2ª Fase	39
3.3. Recomendações para o PAC-QAI	46
Capítulo 4 – Conclusão e trabalhos futuros	48
<i>Referências Bibliográficas</i>	50
<i>Anexos</i>	
Anexo A – Glossário	56
Anexo B – Questionário da ADAI	60
Anexo C – Fotografias da Visita Preliminar	62
Anexo D – Equipamentos para as medições	65
Anexo E – Tabelas dos resultados das campanhas de medições	67
Anexo F – Distribuição de partículas no Anfiteatro II	74

Índice de Figuras

<i>Figura 2.1</i> – Localização do DEM	11
<i>Figura 2.2</i> – Subdivisões do DEM	12
<i>Figura 2.3</i> – Divisão do DEM por Pisos	12
<i>Figura 3.1</i> – Distribuição de partículas em espaços com grande ocupação humana	25
<i>Figura 3.2</i> – Distribuição de partículas na SA 3.1 – NEEMAAC	25
<i>Figura 3.3</i> – Distribuição de partículas no Anfiteatro I sem e com a UTA ligada	26
<i>Figura 3.4</i> – Distribuição de partículas no Gabinete M	27
<i>Figura 3.5</i> – Evolução temporal da concentração de partículas PM ₁₀ no Anfiteatro I	30
<i>Figura 3.6</i> – Evolução temporal da concentração de partículas PM ₁₀ no Anfiteatro II	31
<i>Figura 3.7</i> – Evolução temporal da concentração de CO ₂ no Bar	32
<i>Figura 3.8</i> – Evolução temporal da concentração de CO ₂ na sala de estudo da Biblioteca	32
<i>Figura 3.9</i> – Evolução temporal da concentração de CO ₂ na Sala de Reuniões Este, durante uma reunião	33
<i>Figura 3.10</i> – Evolução temporal da concentração de CO ₂ na SA 6.4, durante um exame	33
<i>Figura 3.11</i> – Evolução temporal da concentração de CO ₂ na Sala de Pós-Graduação do Laboratório de Robótica	34
<i>Figura 3.12</i> – Estimativa teórica da evolução temporal da concentração de CO ₂ no Anfiteatro I	37
<i>Figura 3.13</i> – Estimativa teórica da evolução temporal da concentração de CO ₂ no Auditório	37
<i>Figura 3.14</i> – Estimativa teórica da evolução temporal da concentração de CO ₂ na Sala de Leitura da Biblioteca	38
<i>Figura 3.15</i> – Percentagem de alunos que consideram a sua produtividade afectada pela QAI e pelo conforto térmico	40
<i>Figura 3.16</i> – Percentagem de alunos que acha aceitável	

a QAI e o conforto térmico	40
<i>Figura 3.17</i> – Percentagem de alunos insatisfeitos quanto aos problemas do ambiente interior das salas	41
<i>Figura 3.18</i> – Estação do ano em que os alunos sentem pior QAI	41
<i>Figura 3.19</i> – Sensação térmica sentida pelos alunos no momento do preenchimento	42
<i>Figura 3.20</i> – Sensação de conforto sentida pelos alunos no momento do preenchimento	43
<i>Figura 3.21</i> – Preferência dos alunos no estado no momento do preenchimento	43
<i>Figura 3.22</i> – Sensação do movimento do ar sentida pelos alunos no momento do preenchimento	44
<i>Figura 3.23</i> – Sensação da humidade sentida pelos alunos no momento do preenchimento	44
<i>Figura 3.24</i> – Sintomas sentidos pelos alunos no último semestre	45
 ANEXOS	
<i>Figura C.1</i> – Presença de bolor à entrada da Sala de Computadores da Biblioteca	62
<i>Figura C.2</i> – Presença de bolor no Lab. de Ecologia Industrial	62
<i>Figura C.3</i> – Presença de bolor no Anfiteatro I	62
<i>Figura C.4</i> – Infiltrações na Sala de Estudo da Biblioteca	62
<i>Figura C.5</i> – Partículas acumuladas nos estores	62
<i>Figura C.6</i> – Grelha de extracção danificada na Sala de Computadores da Biblioteca	62
<i>Figura C.7</i> – Infiltrações nas paredes exteriores	63
<i>Figura C.8</i> – Sujidade do interior da UTA da Biblioteca	63
<i>Figura C.9</i> – Sifão mal dimensionado da UTA da Biblioteca	63
<i>Figura C.10</i> – Sinais de ferrugem no tabuleiro dos condensados das UTAs da Biblioteca e do Auditório	63
<i>Figura C.11</i> – Partículas acumuladas nas grelhas de insuflação da Sala de Leitura da Biblioteca	63
<i>Figura C.12</i> – Registos de infiltrações no tecto à entrada da Sala de Reuniões a Este	63

<i>Figura C.13</i> – Infiltrações junto das grelhas de insuflação de ar novo na Sala e Leitura da Biblioteca	64
<i>Figura C.14</i> – Pavimento degradado do Anfiteatro II	64
<i>Figura D.1</i> – Medidor de CO ₂ , O ₃ , CO e COV _T DirectSense IAQ IQ610 Graywolf	65
<i>Figura D.2</i> – Medidor de partículas LightHouse Handheld 3016 IAQ	65
<i>Figura D.3</i> – Detector de formaldeído Riken Keiki, HCHO Detector FP 30	65
<i>Figura D.4</i> – Medidor da concentração de CO ₂ Sensotron PS32	65
<i>Figura D.5</i> – Amostrador microbiológico de ar SAS SUPER IAQ	65

Índice de Quadros

<i>Quadro 1.1</i> – Fontes típicas dos poluentes do ar interior das escolas	2
<i>Quadro 1.2</i> – Limites das concentrações de referência de poluentes no interior dos edifícios	8
<i>Quadro 2.1</i> – Principais características dos <i>chillers</i> e da caldeira	13
<i>Quadro 2.2</i> – Principais características das UTAs	14
<i>Quadro 3.1</i> – Identificação dos microrganismos nos espaços não-regulamentares	29
<i>Quadro 3.2</i> – Caudal de ar novo actual, Q _a e caudal de ar novo para cumprir o 2º critério de conformidade do CO ₂ , Q _{med, 4h}	38
<i>Quadro 3.3</i> – Resultados dos parâmetros PM ₁₀ , CO ₂ , Bactérias, Fungos, Temperatura e Humidade Relativa nas salas de aulas analisadas pelos questionários.	45

ANEXOS

<i>Quadro D.1</i> – Características dos equipamentos de medição	65
<i>Quadro E.1</i> – 1ª Campanha	66
<i>Quadro E.2</i> – 2ª Campanha	71

Siglas

ADENE – Agência para a Energia

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CE – Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior

COV_T – Compostos Orgânicos Voláteis Totais

DEM – FCTUC – Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade de Coimbra

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia

EPA – Environmental Protection Agency

IGAOT – Inspeção Geral do Ambiente e Ordenamento do Território

IAQ – *Indoor Air Quality*

NT-SCE-02 – Nota Técnica (Outubro 2009)

PAC-QAI – Plano de Acções Correctivas da QAI

PQ – Perito Qualificado

PM₁₀ – Partículas Suspensas no Ar inferiores a um diâmetro de 10 µm

QAI – Qualidade do Ar Interior

RCCTE – Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SBS – Sick Building Syndrome

SCE – Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

SED – Síndrome do Edifício Doente

TRF – Técnico Responsável pelo Funcionamento

UFC – Unidade de Formadoras de Colónias

UTA – Unidade de Tratamento de Ar

Capítulo 1 – Introdução

Neste capítulo é feita uma introdução ao tema. Primeiro, aborda-se o tema da Qualidade do Ar Interior (QAI) num contexto de saúde pública. Segundo, são referidos alguns estudos de QAI em estabelecimentos de ensino e os objectivos do presente trabalho. Em terceiro, procede-se ao enquadramento legislativo referente a esta temática, nomeadamente a nível nacional.

1.1. Enquadramento

Embora os autores da antiguidade clássica já se referissem ao ar poluído, foi com o início da revolução industrial e a crescente preocupação com a higiene dos espaços interiores que se começou a reflectir em melhores condições de trabalho ao nível da qualidade do ambiente interior [1].

A crise petrolífera mundial vivida na década de 1970 revelou não só a importância da poupança energética como também consequências para a QAI, que advieram do esforço para tornar os edifícios mais eficientes energeticamente. Assim, com a preocupação de evitar as perdas energéticas pela envolvente exterior, os edifícios tornaram-se mais estanques, provocando uma redução da ventilação natural e, conseqüentemente, aumentando a acumulação do ar poluído no interior. Para além disso, a grande procura de materiais sintéticos e químicos para construção e decoração incrementou fontes de poluição para o ar interior, já por si pouco renovado [2, 3, 4]. Estes factos associados ao aparecimento de problemas na saúde humana [2] originaram uma sensibilização da comunidade, em geral, para os problemas da QAI, a par com a eficiência energética nos edifícios. Recentemente, a EPA e a Science Advisory Board (SAB) classificaram a poluição do ar interior entre os cinco principais riscos ambientais para a saúde pública [5].

Actualmente, nas escolas trabalham permanentemente não só funcionários e docentes, como também um grande número de alunos. Uma grande parte do seu dia-dia é passado em espaços interiores fechados [1, 6], tornando-se importante manter o conforto dentro destes para atingir uma maior produtividade. Esta produtividade é afectada pelo baixo conforto térmico, pelo ruído, pela fraca iluminação e pela QAI [7, 8,

9]. Assim, a QAI tem sido tomada cada vez mais em consideração na última década no seio dos estabelecimentos de ensino.

O conforto associado à QAI está relacionado com uma complexa combinação de factores, como sejam, as fontes de poluição do ar (interiores ou exteriores; físicas, químicas ou biológicas) e suas interações, as condições ambientais, os materiais e a estrutura do edifício, as actividades, o comportamento e o número dos ocupantes, os sistemas de aquecimento, ventilação e de ar condicionado (AVAC), a taxa de renovação de ar e até mesmo a percepção sensorial de cada indivíduo [3, 6, 10, 11, 12].

As numerosas fontes de contaminação comuns nas escolas encontram-se sumariadas no *Quadro 1.1* [5].

Quadro 1.1 – Fontes típicas dos poluentes do ar interior das escolas.

Fontes Exteriores	Equipamento do Edifício	Componentes/Mobiliário	Outras fontes interiores
<p>Ar exterior poluído</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pólenes, poeiras, partículas de bolor • Emissões industriais • Emissões de engenhos de combustão (carro, autocarros, equipamento de jardinagem, etc) <p>Fontes próximas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cais de carga • Odores de contentores de lixo • Saídas de exaustão perto da entrada de ar novo <p>Fontes subterrâneas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Radão • Pesticidas • Fugas de armazéns subterrâneos 	<p>Equipamentos de AVAC</p> <ul style="list-style-type: none"> • Crescimento de bolor no tabuleiro de condensados, condutas, baterias e humidificadores • Ventilação inadequada de produtos de combustão • Poeiras ou detritos nas condutas <p>Outros Equipamentos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Emissões de equipamentos de escritório • Emissões dos equipamentos dos laboratórios e de limpeza 	<p>Componentes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Crescimento de bolor nos materiais danificados pela água ou contendo água • Sifões dos drenos secos, permitindo a passagem do gás de esgoto • Materiais que contêm COVs, compostos inorgânicos ou fibras de amianto • Materiais que produzem partículas <p>Mobiliário</p> <ul style="list-style-type: none"> • Novo mobiliário e pavimentos • Crescimento de bolor nos pavimentos danificados pela água ou contendo água 	<ul style="list-style-type: none"> • Provisões para os laboratórios • Provisões para arte profissional • Áreas de impressão e fotocópias • Área de preparação de alimentos • Espaços de fumadores • Materiais de limpeza • Emissões do lixo • Odores e COVs de pinturas e adesivos • Ocupantes com doenças transmissíveis (como a gripe) • Bioefluentes dos seres humanos (suores, ar expirado) • Marcadores • Insectos • Produtos de higiene pessoal • Gasolina e relva cortada armazenada

Frequentemente, alguns ocupantes queixam-se com certos sintomas na sua saúde, tais como, dores de cabeça, náuseas, fadiga, sonolência, irritação dos olhos,

nariz, garganta, etc. [11]. Estes sintomas não estão propriamente relacionados com uma causa concreta, mas são aliviados após a saída dos ocupantes do edifício. Isto leva a crer que poderão estar associados à exposição dos ocupantes a determinados poluentes químicos, físicos e/ou biológicos que ocorrem a níveis inadequados à saúde humana, no interior do edifício. O conjunto destes sintomas é reconhecido desde 1983, pela OMS, como síndrome do edifício doente (em inglês: *Sick Building Syndrome* – SBS). O manual nº 13 da REHVA [9] refere que o SBS se manifesta quando todos os sintomas são registados por cerca de 20% das pessoas durante um período de pelo menos duas semanas.

Muitos estudos foram efectuados ao longo da década de 90 na Europa e na América do Norte, para reconhecer o real conjunto de sintomas do SBS associados à QAI [1], mas os métodos para avaliar todas as variáveis da percepção humana não foram rigorosos. Seppanen and Fisk [13] descobriram, pela revisão de estudos em escritórios, que existe uma maior prevalência destes sintomas nos edifícios com sistemas de ar condicionado comparativamente aos edifícios com sistemas de ventilação natural e de ventilação mecânica simples. Assim, torna-se importante projectar um sistema de AVAC bem dimensionado e sobretudo mantido em boas condições de funcionamento e de higiene ao longo da sua vida [32], que seja capaz de impedir a livre circulação de contaminantes entre o exterior e o interior ou entre diferentes espaços interiores do edifício sem colocar em risco a QAI.

No projecto, por vezes, são tomadas decisões que podem causar problemas à QAI, tais como fracos caudais de ar novo, inadequada distribuição do ar, imprópria selecção dos filtros, ausência de hierarquização de pressões e a inexistência de bons acessos para a manutenção. Constata-se, portanto, que a QAI está intimamente dependente de um bom projecto do sistema AVAC e que a sua má elaboração terá grandes custos acrescidos para remediar estes problemas em fase de exploração.

“Os sistemas de AVAC resolvem 80% dos problemas de QAI!”[14]

1.2. A QAI nos estabelecimentos de ensino

Alguns estudos têm sido efectuados ao nível da QAI das escolas por todo o mundo, em especial nos EUA, onde têm sido muito promovidos [5]. A maioria das escolas estudadas são apenas ventiladas naturalmente e, portanto, o problema mais

frequente é a fraca ventilação das salas de aulas devida às concentrações elevadas de poluentes, como o CO₂, com valores normalmente superiores a 1000 ppm [7, 9, 15-19].

Em 2003, Daisey et al. [15] publicaram uma revisão da informação existente sobre a QAI, ventilação e sintomas relacionados, nas escolas. Averiguaram que muitas salas de aulas não se encontravam adequadamente ventiladas e que essa poderia ser uma das principais causas para o aumento dos sintomas nos ocupantes (essencialmente, infecções, asma e sintomas da SBS), assim como os problemas de humidade no edifício. Recomendaram a realização de estudos mais rigorosos para avaliar o verdadeiro impacto das diferentes concentrações dos poluentes na saúde dos alunos e professores.

Lee e Chang [16] também verificaram que as concentrações das partículas no ar (PM₁₀) e do CO₂ eram superiores aos limites legais, devido à sobrelotação e inadequada ventilação das salas de aula. Vários estudos concluem que esta fraca ventilação gera uma maior prevalência de sintomas da SBS entre os estudantes e professores, provocando baixo desempenho e assiduidade dos alunos e professores [7-9, 19-21]. Mostram também que o desempenho diminui quando a taxa de ventilação é inferior a 10 L/s·ocupante, e de forma mais drástica para taxas de ventilação abaixo dos 4L/s·ocupante.

Cheong e Lau [6] desenvolveram uma metodologia para auditar a QAI e aplicaram-na em dois locais de uma escola de ensino superior. A auditoria resumiu-se à medição de parâmetros do conforto térmico, à medição das concentrações de microrganismos, de partículas, de CO, de CO₂, de HCOH e de COVs e à determinação da taxa de renovação de ar e da idade do ar. Para além destas medições objectivas, foram preenchidos questionários pelos ocupantes dos espaços em questão. Demonstraram que a metodologia usada é adequada à avaliação pretendida e que os locais avaliados na escola não apresentam grandes preocupações no âmbito da QAI, exceptuando o nível de formaldeído, a taxa de ventilação e a Humidade Relativa. Os autores propuseram recomendações ao proprietário da escola para que pudesse planear um programa de melhoria da QAI.

Um conjunto de especialistas da Universidade do Porto publicou em 2008 um estudo que avalia a relação entre a QAI em escolas básicas da cidade do Porto e a prevalência de sintomas alérgicos e respiratórios nos adolescentes que as frequentam. Puderam concluir que o aumento dos sintomas alérgicos e respiratórios estava associado a uma baixa QAI e que, portanto, era imperativo melhorá-la [22].

A avaliação da QAI em escolas portuguesas é quase desconhecida. Em 2009, Madureira et. al [20] caracterizaram o ar interior de 11 escolas do Porto e o impacto da sua qualidade na prevalência de sintomas de doenças nos professores. Observaram que as partículas suspensas no ar, a concentração de CO₂, de microrganismos (os fungos mais detectados foram por ordem decrescente: *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. e *Alternaria* sp.), benzeno e tolueno excederam os limites regulamentares portugueses e foram maiores que as medidas no exterior numa grande percentagem das escolas. Foram registadas ainda duas correlações significativas: uma entre lesões neurológicas (falhas na memória, concentração e no cálculo) e os níveis de CO₂ e dos COVs; e outra correlação entre problemas respiratórios e de irritação do nariz com os níveis de COVs e partículas suspensas no ar.

Pegas et al. (2010) [23] avaliaram as concentrações exteriores e interiores de NO₂ e específicos COVs em 14 escolas básicas de Lisboa. Seleccionaram 3 destas escolas para também analisarem a Temperatura, Humidade Relativa, CO₂, CO, COV totais, bactérias e fungos nos seus espaços interiores. A concentração de CO₂ revelou que ventilação é inadequada e uma sobrelotação das salas de aula. As concentrações dos microrganismos verificaram-se acima do limite no interior e no exterior. E os COVs registados no interior foram mais elevados que os observados no exterior.

Uma possível metodologia para auditorias periódicas da QAI em edifícios existentes, definida pela nota técnica (NT-SCE-02), foi aplicada em vários estudos em Portugal de acordo com o estabelecido no RSECE. Um dos estudos auditou a QAI de um hotel em Coimbra [24], enquanto o outro auditou a QAI nas cinco bibliotecas do Pólo II da Universidade de Coimbra [25] e o terceiro auditou a QAI e o conforto térmico em algumas salas de aula do DEM-FCTUC, assim como analisou a subjectividade da percepção da QAI pelos estudantes [26].

No primeiro, verificou-se que a metodologia usada para avaliar a QAI é compreensível, simples e útil para descobrir problemas relacionados com a QAI nestes edifícios. O segundo estudo reconhece a fiabilidade desta metodologia, acrescentado às suas conclusões a importância de uma boa manutenção e higiene dos equipamentos dos sistemas AVAC e o aumento do caudal de ar novo em todas as UTAs das bibliotecas para evitar elevadas concentrações de CO₂ e de PM₁₀. Em algumas das bibliotecas ainda foi possível detectar uma deficiente localização das entradas e saídas de ar do espaço, correndo o risco de curto-circuito do ar insuflado e de baixa eficiência de ventilação.

O terceiro estudo [26] pretendeu avaliar as condições de higiene e manutenção do sistema AVAC do DEM-FCTUC, a percepção individual da QAI dos alunos de uma sala de aula, a conformidade dos parâmetros físico e químicos (PM_{10} e CO_2) com a legislação em vigor e propor uma estratégia de bom funcionamento do sistema de climatização do Anfiteatro I. Os resultados deste trabalho reflectem uma ventilação inadequada e uma sobrelotação das salas de aula do DEM, à semelhança de anteriores já enunciados. Verificou-se, também, que a manutenção e higiene dos sistemas AVAC eram praticamente inexistentes e que alguns dos seus constituintes se encontram danificados. A avaliação subjectiva aos indivíduos revelou que a maioria dos estudantes considera favorável a QAI e o conforto térmico, sem se sentirem afectados frequentemente com os problemas associados à QAI e sem manifestarem sintomas na sua saúde. Em relação ao Anfiteatro I foi proposto um caudal mínimo de ar novo de $32 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{ocupante}$, mantendo uma relação de transmissão entre o motor e o ventilador de 2,4, para se fazer cumprir a legislação.

1.3. Objectivos

É na sequência destes estudos que se pretende neste trabalho avaliar aprofundadamente a QAI do DEM-FCTUC, um género de instituição educacional que ainda não foi abordada quanto à QAI no contexto nacional e que abrange comunidade científica, docente, funcionários e estudantes do ensino superior. Esta avaliação contribuirá para a emissão do certificado energético e de QAI, cumprindo uma das exigências da legislação nacional, em que todos os edifícios de serviços existentes devem estar certificados. Neste estudo, propõem-se ainda a avaliação da percepção individual do conforto térmico e da QAI por parte dos alunos e dos sintomas na sua saúde potencialmente relacionados com a baixa QAI, recorrendo de questionários que serão também relevantes para melhorar a credibilidade da auditoria.

1.4. Enquadramento legal

A poluição do ar é referida na legislação portuguesa desde 1987, com a aplicação da Lei de Bases do Ambiente (Lei n.º 11/87, de 7 de Abril). A QAI começou também a ser considerada em directrizes de segurança e higiene no trabalho ao nível da qualidade dos ambientes de trabalho industrial. Em 2002, o Ministério do Ambiente

tomou a iniciativa de implementar a primeira legislação referente à QAI nos edifícios não-industriais [27], no entanto esta regulamentação permaneceu inactiva até a ser reintegrada em 2006 pela transposição nacional da Directiva n.º 2002/91/CE para o Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril que estabelece o SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios.

A Directiva Comunitária 2002/91/CE obriga aos Estados Membros (EM) da União Europeia a emissão de Certificados Energéticos nas seguintes situações:

1. Para a obtenção da licença de utilização em edifícios novos;
2. Após uma grande reabilitação de edifícios existentes (custo > 25% do valor do edifício sem terreno);
3. Posteriormente à locação ou venda de edifícios de habitação e de serviços existentes (validade do certificado: máx. de 10 anos);
4. Periodicamente (até 6 anos) para todos os edifícios públicos (de serviços) com mais de 1.000 m².

Embora a Directiva Europeia exija apenas a comprovação do cumprimento da regulamentação no final da construção, alguns Estados Membros, incluindo Portugal, adoptaram o princípio de cumprimento da regulamentação aos novos edifícios na fase do projecto e no final da construção. Com efeito, é mais fácil corrigir qualquer erro antes de construir o edifício do que no final da obra, implicando maiores custos iniciais mas com grandes poupanças nas prováveis correcções onerosas que se teriam de aplicar ao longo da vida do edifício. [28]

A 19 de Maio de 2010, esta directiva foi revogada pela Directiva 2010/31/EU que acrescenta à anterior dois grandes objectivos: auxiliar a criação e aceitação de leis e regulamentos nacionais de inspecção, certificação e mercados de testes; e a concepção de soluções comuns e normalizadas, acompanhando a aplicação da legislação e motivando a partilha de experiências, boas práticas e de redes no âmbito deste assunto.

No entanto a abordagem da Directiva 2002/91/CE na legislação portuguesa não é unicamente traduzida pelo Decreto-Lei n.º 78, de 4 de Abril, anteriormente referido, como também inclui os Decretos-Lei n.º 79 e 80/2006, de 4 de Abril. Este conjunto de normas visa a melhoria do conforto térmico, da qualidade do ar interior e, conseqüentemente, da qualidade de vida dos ocupantes dos edifícios e sua produtividade no trabalho.

O Decreto-Lei n.º 78/2006 aprova o SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, enquanto o Decreto-Lei n.º

79/2006 aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização em Edifícios (RSECE), que regula o SCE em edifícios grandes ($> 1000 \text{ m}^2$) com sistemas AVAC e inclui a regulamentação relativa à QAI [13]. Vai mais além do que o previsto na Directiva, pois exige o controlo da QAI nos edifícios de serviços durante a sua ocupação [29].

O Decreto-Lei n.º 80/2006 aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), que se aplica a todos os edifícios de habitação e de serviços com menos de 1000 m^2 ou com uma potência instalada inferior a 25 kW, normalmente sem sistemas AVAC. Os únicos requisitos relativos à QAI que são abrangidos neste Decreto-Lei são os níveis de Temperatura e Humidade Relativa [27]. O presente decreto-lei revoga o antigo Decreto-Lei n.º 40/90 de 6 de Fevereiro.

A perspectiva da QAI feita no âmbito do RSECE-QAI (Decreto-Lei n.º 79/2006) em edifícios novos é distinta dos existentes. Nos edifícios existentes devem ser averiguadas as concentrações máximas dos poluentes, cujos limites legais se encontram estipulados no Anexo VII do RSECE (*Quadro 1.2*). Os poluentes regulamentados para este tipo de estudo são o dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), partículas com tamanho inferior a $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}), compostos orgânicos voláteis totais (COV_T), formaldeído (HCHO), ozono (O_3), radão, bactérias, fungos e *Legionella*. No presente trabalho, não é importante avaliar o radão, pois a região onde se encontra o edifício não pertence a uma zona granítica [RSECE]. Por outro lado, deve-se verificar ainda as condições de higiene, a manutenção e a capacidade de filtragem dos sistemas de AVAC. Nos edifícios novos, também devem ser examinados os caudais mínimos de ar novo estabelecidos no Anexo VI e a velocidade do ar interior, designada com um máximo de 0,2 m/s no ponto 1 do Artigo 4º do RSECE.

Quadro 1.2 – Limites das concentrações de referência de poluentes no interior dos edifícios.

Tipo	Poluente	Limite (RSECE)	
		mg/m^3	ppm
Físicos	Partículas suspensas no ar (PM_{10})	0,15	---
	Dióxido de Carbono (CO_2)	1800	1000
Químicos	Monóxido de Carbono (CO)	12,5	10,9
	Ozono (O_3)	0,2	0,1
	Compostos Orgânicos Voláteis Totais	0,6	0,26

	(COV _T)	(Isobutileno)
		0,16 (Tolueno)
	Formaldeído (HCHO)	0,1 0,08
	Radão	400 Bq/m ³
	Bactérias	500 UFC/m ³
Microbiológicos	Fungos	500 UFC/m ³
	<i>Legionella</i>	100 UFC/L água

No intuito de uniformizar uma metodologia para as auditorias periódicas de QAI em edifícios de serviços existentes, no âmbito do RSECE, foi publicada pela ADENE a Nota Técnica NT-SCE-02, datando a última versão de Outubro de 2009. Na NT-SCE-02 são descritos todos os procedimentos para realização das auditorias efectuadas pelos Peritos Qualificados (PQ).

A Agência para Energia (ADENE) define que os Certificados Energéticos e de QAI (CE) devem apresentar uma validade de 2, 3, 6 ou 10 anos, dependendo se o edifício esta sujeito a auditorias e qual a respectiva periodicidade dessas. Se ao fim de 3 anos o edifício ficar sujeito a uma auditoria da QAI, deverá ser validado um novo certificado.

De acordo com o SCE, a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) é responsável por fiscalizar os requisitos da QAI e a Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG) por verificar os requisitos energéticos. A gestão e inspecção são efectuadas pela agência para a energia (ADENE), enquanto a aplicação das sanções previstas na legislação competem à Inspeção Geral do Ambiente e Ordenamento do Território (IGAOT) e DGEG. Com base no Artigo 12º do RSECE, em cada edifício deve constar um técnico responsável pelo funcionamento dos sistemas energéticos de climatização e da manutenção da QAI, o TRF – Técnico Responsável pelo Funcionamento, o qual também acarretará a responsabilidade da elaboração do Plano de Manutenção da QAI. Este plano inclui as actividades realizadas no edifício, equipamentos e materiais usados e procedimentos de manutenção preventiva aplicados para garantir uma boa QAI [27].

Capítulo 2 – Auditoria à qualidade do ar interior no DEM

No início de uma auditoria deve-se ter presente a sua metodologia, a descrição do edifício e dos seus sistemas AVAC, os pontos de maior relevância e toda a informação útil para o planeamento da auditoria, recolhida na visita preliminar e das queixas que os ocupantes revelaram nos questionários. Este capítulo aborda todas estas informações como também os métodos e equipamentos de medição dos parâmetros para avaliação da QAI.

2.1. Metodologia da auditoria à QAI

Como anteriormente referido, as auditorias periódicas à QAI em edifícios de serviços existentes em Portugal são normalmente efectuadas segundo a nota técnica (NT-SCE-02). A metodologia aí proposta inicia-se pela recolha de informação útil para a auditoria junto dos responsáveis pelo edifício. Esta informação inicial reúne plantas, cortes e desenhos das instalações e dos equipamentos existentes, nomeadamente dos sistemas de AVAC. O segundo passo, o qual será posteriormente descrito com mais clareza, consiste numa visita preliminar para inspeccionar e actualizar a informação anteriormente fornecida, como por exemplo: observar as potenciais fontes de poluição, as actividades dos ocupantes e as suas queixas; verificar sucintamente as concentrações de CO₂ no edifício e avaliar a higiene e a manutenção dos sistemas AVAC. Nesta avaliação das condições de higiene e da capacidade de filtragem do sistema AVAC, o PQ deve, no mínimo, verificar o cumprimento dos requisitos previstos no Anexo VIII da NT-SCE-02. Este passo inicial pode ser previamente planeado através de acções que o Anexo I da NT-SCE-02 propõe ao PQ responsável.

O próximo passo envolve o planeamento da amostragem e da medição dos poluentes especificados no n.º 8 e n.º 9 do artigo 29.º do RSECE e no Anexo II da NT-SCE-02 (ver *Quadro 1.2*). O Anexo III e IV da NT-SCE-02 propõem métodos a adoptar para efectuar as medições dos poluentes da alínea a) e c) do n.º 8 do artigo 29.º do RSECE e dos poluentes da alínea b) do n.º 8 e do n.º 9 do artigo 29.º do RSECE, respectivamente. A fase de planeamento é definida na NT-SCE-02 no Anexo V, no qual são delineadas zonas do edifício, um número mínimo de pontos de medição, a localização, momento e a duração das medições.

Na fase posterior, os resultados das medições são tratados conforme o descrito no Anexo VI da NT-SCE-02 e serão utilizados para verificação das conformidades regulamentares de acordo com o disposto no Anexo VII da NT-SCE-02. Caso se tenha verificado todas as conformidades legais para os requisitos estabelecidos, efectua-se o preenchimento do CE. A emissão deste certificado é sujeita a regras apresentadas no Anexo X da NT-SCE-02. Se um ou mais parâmetros não cumprirem o respectivo critério de conformidade, deve ser elaborado um Plano de Acções Correctivas da QAI (PAC-QAI) pelos proprietários dos edifícios de acordo com as recomendações enunciadas pelo PQ, tendo em conta o disposto no Anexo XI da NT-SCE-02. A APA tem a responsabilidade de aprovar este plano.

Finalmente, o PQ elabora um relatório síntese que contenha as evidências da análise efectuada à QAI e que acompanha o certificado energético e de QAI. No decorrer de toda a auditoria, os registos fotográficos obtidos devem também constar deste relatório.

2.2. Descrição geral do edifício e dos sistemas de AVAC

O Departamento de Engenharia Mecânica (DEM) está localizado no Pinhal de Marrocos, na margem direita de Coimbra Sul perto da ponte da Portela e junto ao rio Mondego (*Figura 2.1*). Encontra-se em funcionamento desde 1994/1995 [26]. O edifício que o abarca é composto por duas fases, a 1ª fase a que se encontra mais a este e a 2ª fase mais a oeste. Cada uma destas fases é ainda subdividida em dois corpos, o corpo Sul e o corpo Norte, como indicado na *Figura 2.2*.



Figura 2.1 – Localização do DEM (obtido em Maio 2011, através do *maps.google.pt*).



Figura 2.2 – Subdivisões do DEM (obtido em Maio 2011, através do *maps.google.pt*).

O corpo Norte da 1ª fase abrange a grande maioria das salas de aulas, o auditório e os anfiteatros, a biblioteca, a sala de estudo, a reprografia, os gabinetes técnicos e administrativos e o bar. O corpo Sul desta fase é apenas representado por dois laboratórios e estacionamento interior. Quanto ao corpo Norte e Sul da 2ª fase é constituído por gabinetes de docentes e vários laboratórios.

Numa perspectiva geral, o edifício revela em altura 5 pisos, incluindo o piso 0, não uniformemente distribuídos, isto é, que em cada fase e em cada corpo não existem todos os pisos, como se pode observar a partir da *Figura 2.3*.



Figura 2.3 – Divisão do DEM por Pisos.

O edifício possui uma área útil de cerca de 9050 m², estando assim sujeito a auditorias periódicas da energia e de QAI, de acordo com o disposto na alínea a) do nº1 do artigo 2º do RSECE. A periodicidade destas auditorias para o caso de estabelecimentos de ensino deve ser de 2 em 2 anos [29].

Sendo este edifício um espaço onde se lecciona cursos do ensino superior, o conjunto dos ocupantes que trabalham e/ou estudam nele pode subdividir-se em quatro parcelas: os funcionários, os docentes, os investigadores e os estudantes. O DEM acolhe, assim, cerca de 20 funcionários, 40 docentes, 12 investigadores e cerca de 700 alunos durante um ano lectivo. Estes números não são fixos ao longo do dia nem ao longo de uma semana, mas são números que poderão corresponder a uma ocupação máxima.

Os sistemas de AVAC do DEM são baseados num sistema centralizado de aquecimento e arrefecimento de água que circula por tubagens para acondicionar os espaços. O aquecimento é feito através de radiadores, existentes em todos os espaços, que recebem água quente. As caldeiras a gás natural do 2º piso, junto ao bar, aquecem a água que posteriormente será distribuída até aos radiadores. O *Quadro 2.1* resume as suas características, assim como as dos dois *chillers* responsáveis pelo arrefecimento de 3 espaços: a Biblioteca, o Auditório e o Anfiteatro I. O arrefecimento destes espaços processa-se segundo uma solução “água-ar” em que a água refrigerada vai absorver calor do ar a ser enviado para o tratamento destes espaços, por intermédio das unidades de tratamento de ar (UTAs). A distribuição da água arrefecida proveniente do *chiller* efectua-se em circuito fechado, que retoma aquecida ao mesmo. Em estações de aquecimento, as UTAs são abastecidas por água quente proveniente da caldeira e responsável por aquecer o ar exterior que é insuflado, através da mesma solução “água-ar”. O *Quadro 2.2* agrupa as características das 3 UTAs.

Quadro 2.1 – Principais características dos *chillers* e da caldeira.

Equipamento	Marca	Modelo	Localização	Serviço	Potência (kW)	P (bar)
<i>Chiller</i>	<i>Carrier</i>	30 GY	1º Piso	UTAs	32,3	14-28
Caldeira a GN	<i>Roca</i>	NTD - 300	2º Piso	Todos os espaços	348,8 (P _{útil})	5

Quadro 2.2 – Principais características das UTAs.

Equipamento	Marca	Modelo	Localização	Serviço	Potência (kW)		Caudal de ar insuflado (m ³ /h)	ΔP (Pa)
					Aquec.	Arref.		
UTA 1	Wolf	KG 160 Standard casing	3º Piso	Biblioteca	38,30	50,23	9770	250
UTA 2	Wolf	KG 160 Standard casing	4º Piso	Auditório	35,26	45,84	8900	200
UTA 3	Wolf	KG 160 Standard casing	2º Piso	Anfiteatro I	32,52	40,67	7090	150

O ar insuflado no espaço é impulsionado por um ventilador e conduzido através de uma rede de condutas até atingir as grelhas de insuflação distribuídas pela parte superior do espaço. As grelhas de extracção espalhadas, normalmente, pela parte inferior do espaço extraem o ar velho conduzindo parte dele para o exterior e outra parte retornando ao espaço. O padrão de circulação do ar no interior do espaço corresponde, desta forma, a uma ventilação por mistura.

Cada uma destas UTAs é constituída por: uma secção de filtragem com um pressostato diferencial regulado para 0,5 milibar; uma secção de mistura de ar novo com o ar de retorno, com registos manuais de controlo de caudal; uma bateria de arrefecimento e uma de aquecimento; uma secção de ventilação que impulsiona o ar, ultrapassando as perdas de carga do sistema; um controlador de temperatura que regula o caudal de água através das baterias em função dos sinais enviados por um sensor instalado na sala.

O começo e o término do funcionamento das UTAs são efectuados manualmente sempre que necessário. A UTA que serve a biblioteca trabalha desde as 9h até às 17h30 ou 20h, dependendo da hora de fecho da biblioteca, durante cerca de 4 meses na estação de aquecimento e cerca de 2 meses na estação de arrefecimento. Mas as restantes UTAs apenas são activadas se as condições de ocupação do Anfiteatro I e o Auditório assim o exigirem. Perante este nível de funcionamento, durante todo o ano apenas se recorre ao funcionamento de um *chiller*, o que poderá reflectir um sobredimensionamento do sistema de arrefecimento através de 2 *chillers*.

Para além dos 3 espaços ventilados mecanicamente, os restantes ficam afectos apenas ao ar novo fornecido por ventilação natural, por infiltração, através dos caixilhos das janelas, das fendas das portas que dão, normalmente, para os corredores e de algumas grelhas de porta existentes.

Nas instalações sanitárias efectua-se apenas extracção mecânica do espaço através de ventiladores de extracção instalados na cobertura do edifício, com o objectivo de manter o espaço em depressão em relação aos contíguos. Deste modo, o ar interior dos sanitários fica “aprisionado” sem afectar os espaços envolventes.

2.3. Visita preliminar

Para melhor preparar uma auditoria periódica a um edifício é conveniente uma visita *a posteriori* para o conhecer presencialmente e detectar situações que não constavam nas primeiras informações fornecidas. Serve esta visita para actualizar e complementar essas informações. Recomenda-se que o PQ se faça acompanhar durante esta visita do técnico responsável pela manutenção dos sistemas do edifício (TRF – Técnico Responsável pelo Funcionamento), caso surja alguma dúvida de como estes funcionam e têm funcionado ao longo do tempo.

A visita preliminar consiste, então, em conhecer melhor o espaço, incluindo a utilização que é feita do espaço, as actividades nele executadas, as potenciais fontes de contaminação, as suas dimensões reais, os elementos constituintes do espaço relevantes ao nível da QAI (impressoras, carpetes, animais, plantas, etc.) entre outros elementos construtivos. Deve-se ainda verificar se existem aparelhos de combustão, instalações especiais e infiltrações na construção [6, 24, 18].

Por outro lado, no decorrer da visita deve-se inspeccionar as condições do sistema AVAC, ou seja, a filtragem dos filtros das UTAs, a higiene de todas as superfícies interiores, incluindo dos tabuleiros de condensados, verificar se todos estes espaços são acessíveis para tornar possível a sua manutenção e avaliar as condições de captação de ar novo destas unidades, particularmente a sua posição e as distâncias relativamente a fontes potenciais de poluição e, ainda, a localização do ar de extraído. Toda esta informação pode ser complementada com registos fotográficos para uma melhor percepção da situação actual ou de alguma não-conformidade [6, 24, 18].

Uma primeira visita decorreu no início deste trabalho, em Março de 2011, como apenas reconhecimento do edifício. A visita preliminar mais aprofundada foi efectuada a 6 de Maio de 2011.

Por todo o DEM-FCTUC observaram-se situações de infiltrações nas paredes interiores e exteriores que poderão acarretar consequências futuras de ordem

microbiológica. Ainda assim a presença de bolor foi registada em vários espaços, nomeadamente, no Lab. de Ecologia Industrial, Anfiteatro I e na Sala de Computadores da Biblioteca. Muitos dos estores, caixilhos das janelas e até mesmo grelhas de insuflação de ar novo continham muitas partículas acumuladas (ver fotos no Anexo C).

Verificaram-se também algumas alterações ao projecto, tais como:

- A lotação de algumas salas de aulas não está em concordância com o definido no projecto;
- A instalação de AVAC projectada para a Informática não se encontra em funcionamento;
- A existência de duas torres de arrefecimento no jardim do 2º piso, da 2ª fase do corpo norte que não são referenciadas em projecto. Uma delas é da marca Uniclimate, modelo TLA – 13 e a outra é da marca Zephyr, modelo ZEM 1000s;
- Alguns espaços encontram-se equipados com ar condicionado convencional, para aquecimento e arrefecimento local: Anfiteatro II, Informática, Gab. Professores M, Gab. De Investigação M, Sala de Informática, Lab. Robótica II, Sala de Pós-Graduação_Rob., Lab. Controlo e Gestão;
- Portas de alguns gabinetes com grelhas de porta não identificadas em projecto: Sala de Pós-Graduação, Gab. Professores M, Gab. Investigação M, Raio-X e Análises Térmicas, Sala de Informática, Gab. Investigação 1, Lab. Robótica II, Sala de Pós-Graduação_Rob., Lab. Controlo e Gestão;
- Conduitas de extracção e insuflação de ar em alguns Laboratórios que não se encontram nos registos do projecto, tais como, no Laboratório de Termodinâmica, Climatização e Ambiente, de Materiais e no Laboratório de Tecnologias. Notou-se também que o Laboratório de Termodinâmica possui uma câmara de combustão e a existência de uma câmara limpa no Laboratório de Materiais.

A manutenção e a higiene dos sistemas AVAC foram verificadas por visitas aos locais onde estão estabelecidas as UTAs, verificando-se que:

- Na UTA da biblioteca apesar de existir uma higienização geral do espaço, o tabuleiro de condensados apresentava ferrugem, significando que a drenagem dos condensados pelo sifão não está a ser bem efectuada. A mesma conclusão se deduz pela observação das alturas relativas do sifão. Segundo a norma EN 779:2002, o filtro instalado é da classe G2, o qual é desaconselhado [14]. O filtro embora esteja limpo, não se apresenta etiquetado. Os acessos para manutenção dos elementos da UTA não são adequados, exceptuando o acesso ao ventilador e ao filtro. Algumas grelhas de extracção do ar na Sala dos Computadores encontram-se danificadas (ver *Figura C.6*, Anexo C);
- Na UTA do Auditório, o filtro G2 de dupla manta aparentava estar com baixo teor de partículas. A tomada de ar novo está montada no interior do compartimento onde se encontra a UTA, o qual se encontra em más condições de higiene, com vestígios de partículas (pólenes, pós, etc.) provenientes do exterior. O tabuleiro de condensados também apresenta sinais de ferrugem. Os acessos para manutenção são igualmente bons para o filtro e o ventilador, mas ineficientes para os restantes elementos.
- Na UTA do Anfiteatro I, à semelhança das restantes UTAs os acessos são condicionados e o filtro é de classe G2. O sifão para drenagem dos condensados do tabuleiro encontra-se igualmente mal dimensionado. A envolvente da UTA está em contacto com o exterior, através de um gradeamento, pelo qual atravessam inúmeras partículas que contribuem para a sujidade da envolvente e dos espaços onde se encontram os elementos da UTA, como seja o ventilador. Quanto aos vestígios de animais e a existência de alguns furos na conduta de insuflação, presenciados por Cartaxo (2009), não se verificaram aquando esta visita.
- No presente trabalho não se analisou as condições de higiene e funcionamento das Torres de Arrefecimento, porém tal deverá ser efectuada antes da emissão do CE, incluindo uma análise de pesquisa de *Legionella* nas respectivas tinas.

Toda a informação recolhida no âmbito desta visita, acompanhada de fotografias do Anexo C, é fundamental para melhor planear a auditoria e é complementada com a

informação recolhida dos questionários distribuídos a alguns ocupantes do DEM-FCTUC.

2.4. Questionários – Avaliação subjectiva da QAI

Como a sensibilidade entre os ocupantes de uma escola é variada, os problemas da QAI podem afectar um grupo de pessoas ou apenas um indivíduo. Procedeu-se, então, no âmbito deste trabalho a uma avaliação subjectiva da QAI.

A avaliação subjectiva consistiu na distribuição de questionários com o objectivo de elaborar um diagnóstico do conforto térmico e da QAI no DEM, com base na percepção individual. O questionário é da autoria da ADAI (Anexo B). Divide-se em 3 partes: a primeira referente às características pessoais do ocupante, a segunda às características do local onde normalmente trabalha e a terceira à avaliação individual do seu ambiente interior.

A distribuição dos questionários foi efectuada em 2 fases:

- **1ª Campanha** (final de Fevereiro de 2011/ inícios de Março de 2011), via e-mail a todos os docentes, investigadores e funcionários;
- **2ª Campanha** (meados de Maio de 2011), aos alunos que frequentavam algumas salas de aulas no período simultâneo às medições efectuadas durante a auditoria à QAI.

A 1ª Campanha proporcionará uma pré-avaliação de quais os espaços mais relevantes no âmbito da avaliação da QAI, pois podem revelar queixas que deverão ser investigadas. Esta campanha contribui para colmatar a informação da visita preliminar, com o intuito de melhor planear a auditoria e, conseqüentemente, avaliar a QAI.

A 2ª Campanha permitirá avaliar a percepção individual do conforto térmico e da QAI e os sintomas na saúde consequentes da falta de QAI, à semelhança de estudos já efectuados [2, 6, 17, 26, 30].

2.4.1. Análise dos questionários da 1ª campanha

Na **1ª campanha** de distribuição de questionários obteve-se 19 respostas relativas a diversos espaços: serviços administrativos (Contabilidade e Secretaria); 7 gabinetes de professores no 2º piso do corpo sul; 2 gabinetes de professores no corpo norte; um gabinete de professores no 1º piso do corpo sul, o gabinete técnico e o gabinete de informática no corpo norte e 3 laboratórios no corpo sul.

Ambos os ocupantes da Contabilidade consideram que a sua produtividade é tanto afectada pela QAI como pelo conforto térmico, embora os considerem globalmente aceitáveis. Ao nível da QAI, um dos ocupantes sente com alguma frequência o ar interior seco, pesado, com poeiras e com correntes de ar. O conforto térmico é deteriorado por se fazerem sentir algumas vezes variações de temperatura e o ambiente térmico ser por vezes quente ou frio.

Os dois ocupantes da Secretaria, consideram que a sua produtividade é tanto afectada pela baixa QAI como pelo desconforto térmico, embora considerem globalmente aceitável a QAI e apenas um considera aceitável o conforto térmico. Ao nível da QAI, ambos sentem com alguma frequência o ar pesado e frequentemente correntes de ar. O conforto térmico é frequentemente deteriorado por se fazerem sentir variações de temperatura e o ambiente térmico ser quente.

Apenas dois dos sete inquiridos dos Gabinetes no 2º piso do corpo sul consideram que a sua produtividade é tanto afectada pela baixa QAI como pelo desconforto térmico, embora todos considerem globalmente aceitável a QAI e o conforto térmico. Ao nível da QAI, 43% sentem com alguma frequência o ar seco e 57% sente algumas vezes o ar pesado. 57% dos inquiridos consideram o ambiente térmico quente ou frio.

Os demais questionários são unitários e únicos em cada local e, portanto, no âmbito do planeamento da auditoria foram também auditados para verificar possíveis fontes das queixas.

2.5. Planeamento da Auditoria

Consiste na etapa da auditoria que gere toda a informação até então recolhida: a inicialmente cedida pelo proprietário do edifício, a da visita preliminar e a da análise dos questionários preenchidos por alguns funcionários e docentes, com o objectivo de planear a auditoria. Por outras palavras, define quantos pontos de amostragem e onde os medir.

Para tal procedeu-se à divisão de todo o espaço do DEM em zonas, de acordo com o sistema de ventilação, o tipo de actividade e das fontes de emissão dos espaços. Para cada zona definiu-se um número mínimo de pontos de amostragem, estimado com base na expressão seguinte, proposta pela nota técnica NT-SCE-02 (2009):

$$N_i = 0.15 \times \sqrt{A_i} \quad (1)$$

em que N_i é o número mínimo de pontos de amostragem arredondado à unidade em cada zona i de área A_i em m^2 . Em 23 zonas, o total de pontos amostrados foram 50 pontos, 15 dos quais foram alvo de medições microbiológicas para além das físico-químicas.

Os locais dos pontos de amostragem foram escolhidos consoante as queixas que se registaram dos questionários, a sua ocupação ao longo do dia, a apresentação de indícios de problemas para a QAI e segundo a sua representatividade na zona em questão.

A medição de cada parâmetro foi efectuada de acordo com o disposto nos números 5, 6,7 e 8 do Anexo V da nota técnica NT-SCE-02 (2009). Esta deve ser realizada na zona de ocupação determinada pela EN 13779:2007 [18], ou seja, distanciada de 0,15 a 0,75 m da parede e de 0,5 a 1,5 m das paredes com janelas, a mais de 1 m das fontes de contaminação e ao nível das vias respiratórias. O momento da medição deve ser representativo da ocupação do espaço e com um registo de leitura de pelo menos 5 minutos ou durante um tempo representativo do período de ocupação, isto é, quando a ocupação é máxima. A medição no ar exterior deve ser efectuada num ponto representativo, geralmente próximo da entrada de ar novo.

2.6. Medição dos parâmetros

Os equipamentos utilizados para a presente auditoria basearam-se em métodos predispostos no Anexo III da NT-SCE-02, para o caso dos parâmetros indicados no Anexo VII e na alínea c), do n.º8, do artigo 29.º, do RSECE, e no Anexo IV, da NT-SCE-02, para o caso dos parâmetros indicados na alínea b), do n.º8 e no n.º9, do artigo 29.º, do RSECE.

2.6.1. Parâmetros Físicos e Partículas

A Temperatura e a Humidade Relativa são dois parâmetros físicos importantes na caracterização do conforto térmico, intimamente relacionado com a QAI. Os seus

valores foram medidos recorrendo ao analisador com sensor “DirectSense IAQ IQ610 Graywolf”.

As partículas em suspensão no ar (PM₁₀) foram avaliadas por um contador de partículas “LightHouse Handheld 3016 IAQ”, que procede a 3 ciclos de medições seguidos a cada 2 minutos, resultando a sua média aritmética.

2.6.2. *Parâmetros Químicos*

A medição dos poluentes químicos requerentes pela legislação portuguesa é efectuada por dois equipamentos. O mais generalista é o “DirectSense IAQ IQ610 Graywolf”, cuja composição em várias sondas permite-o medir em simultâneo o CO₂, CO, O₃ e COVs, para além da Temperatura e da Humidade Relativa já enunciadas. Este aparelho demora cerca de 5 minutos a estabilizar os valores, sem contabilizar o tempo que demora na primeira utilização após ligado. O formaldeído é medido pelo detector de gás portátil de alta sensibilidade, o “Riken Keiki, HCHO Detector FP 30”, que mediante a concentração se ajusta a uma dada frequência de medição. Este aparelho é o mais moroso, necessitando de 15 minutos no período de medição.

Para a medição em contínuo da concentração de CO₂ utilizou-se o “Sensotron PS32” e o “DirectSense IAQ IQ610 Graywolf”.

2.6.3. *Parâmetros Biológicos*

O amostrador “SAS SUPER IAQ” serviu para recolher amostras de ar para um meio semi-sólido em placas de Petri, isto é para um agar, a uma taxa constante de ar de 100 L/min, para se determinar a concentração de bactérias e fungos no ar. Cada uma destas medições demora 2.5 min o que significa que no seu total são recolhidos em cada ponto de amostragem e para cada placa Petri 250 L de ar. No caso dos fungos, o meio de cultura semi-líquido foi o “malt extract agar” (MEA), enquanto que para as bactérias foi o “tryptic soy agar” (TSA). Após a recolha do ar, as caixas de Petri que incluem os duplicados de cada ponto de amostragem e o controlo, são incubadas em média durante:

- . 3 a 5 dias para bactérias ambientais e 48 horas para bactérias com origem no ser humano, entre os 25-30°C e os 35-37°C, respectivamente;

- . 3 a 10 dias para os fungos, entre os 25-27°C [32].

O resultado é analisado em unidades formadoras de colónias por cada m^3 de ar (UFC/ m^3), ou seja, uma medida do nº de células isoladas ou agregadas susceptíveis de formarem colónias viáveis em meio de cultura semi-sólido por m^3 de ar recolhido [41].

Os equipamentos são apresentados em fotografias no Anexo D. O quadro D.1, também apresentado no Anexo D, resume a aplicabilidade dos equipamentos de medição utilizados, a sua gama de detecção, precisão, resolução e métodos em que se baseiam para medir.

Capítulo 3 – Resultados e Discussão

De acordo com a ASHRAE (2007), a qualidade do ar interior considera-se aceitável quando no “ar não existem contaminantes conhecidos em concentrações perigosas, de acordo com o determinado pelas autoridades reconhecidas, e onde a maioria (80% ou mais) dos ocupantes expostos não expressem insatisfação.”[9]. É nesta fase que se irá constatar a existência ou não de uma boa qualidade do ar interior, tanto pela avaliação objectiva como subjectiva. No fim deste capítulo, apresentam-se também recomendações ao responsável do DEM para elaborar o PAC-QAI e ao PQ que irá desenvolver a próxima auditoria.






3.1. Análise de conformidade da QAI no DEM

Neste subcapítulo examina-se a conformidade regulamentar dos parâmetros da QAI, para uma primeira e segunda campanha de medições. A segunda campanha de medições complementa a primeira, nos parâmetros que revelaram problemas. Ainda assim são consideradas possíveis fontes de contaminações e propostas algumas sugestões.

3.1.1. Primeira Campanha

A primeira campanha de medições aos espaços do DEM-FCTUC decorreu nos dias 18, 19, 20, 23 e 24 de Maio de 2011. Sendo que no dia 19 de Maio foram efectuadas as medições dos locais seleccionados para avaliar a Microbiologia. De acordo com o Boletim Polínico – Nº 21, 20 a 26 de Maio, disponibilizado no site da Sociedade Portuguesa de Alergologia e Imunologia Clínica (SPAIC), os níveis de pólenes na região de Coimbra foram muito elevados. A meteorologia, analisada junto do átrio principal do edifício, dos dois primeiros dias registaram céu muito nublado e aguaceiros, com o vento a soprar de SW com uma velocidade quase nula no dia 18 e a uma velocidade máxima de 1,1 m/s no dia 19. Nos restantes dias, o céu apresentou-se limpo e manteve-se um vento moderado de SW.

O Quadro E.1, no Anexo E, apresenta os resultados químicos, físicos e microbiológicos recolhidos desta primeira campanha de medições, cuja legenda é:

-  Limite regulamentar, L_{reg} (RSECE 2006)
-  Não conforme com limite regulamentar
-  Próximo do limite regulamentar
-  Amostra de Bactérias não conforme sujeita a identificação
-  Amostra de Fungos não conforme sujeita a identificação

Uma observação geral ao quadro revela vários indícios de não conformidades, ficando a grande parte dos espaços do edifício sujeita a uma discussão mais detalhada, apresentada nos próximos parágrafos. A discussão desenvolver-se-á consoante cada parâmetro analisado.

Assim e seguindo as colunas do quadro, o limite regulamentar da concentração das **partículas suspensas no ar** (PM_{10} , $0,15 \text{ mg/m}^3$) foi excedido ou igualado em 4 espaços: Anfiteatro II, SA 3.1 – NEEMAAC, Anfiteatro I (redondo) e Gabinete M. A relação entre a concentração interior e exterior (I/E) tomou valores médios de 1,55, indicando que as fontes de contaminação por partículas são interiores, para a maioria dos espaços. Lee e Chang [16] verificaram também um elevado nível das PM_{10} nas cinco salas de aulas onde foi auditada a QAI.

No Anfiteatro II, onde decorria uma aula desde das 9h15, as janelas e a porta mantiveram-se fechadas durante toda a medição e, portanto, a renovação do ar era praticamente nula. O espaço encontrava-se com uma ocupação considerável de 27 alunos e pode-se pensar que o acréscimo de partículas é devido a esta presença humana, pois muitos dos espaços do edifício que também registaram elevada ocupação apresentam a mesma distribuição de partículas (*Figura 3.1*). No entanto, estes nunca apresentaram excedências deste parâmetro visto que houve renovação de ar, por ventilação mecânica na Sala de Leitura da Biblioteca ou por ventilação natural nas SA 3.2 e 6.3. Propõem-se que se proceda a uma limpeza do espaço mais frequente e eficiente com um aparelho a vácuo para aspirar e a uma lavagem adequada.

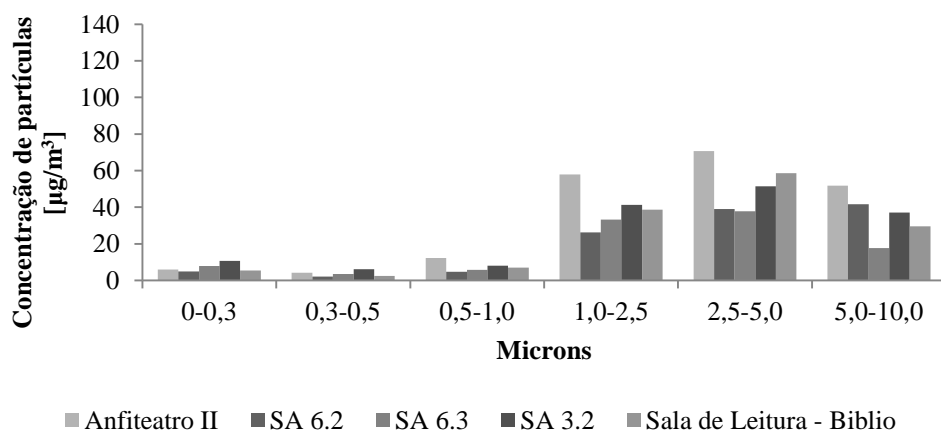


Figura 3.1 – Distribuição de partículas em espaços com grande ocupação humana.

A sala do Núcleo de Estudantes de Engenharia Mecânica da AAC (NEEMAAC) apresenta uma distribuição de partículas (Figura 3.2) em muito semelhante à já observada para os espaços com grande ocupação humana. Esta sala manteve a sua porta aberta e janelas fechadas durante o período da manhã, sempre com afluência de estudantes e no momento da medição encontravam-se 7 estudantes. O vento de SW entra pela porta aberta da sala e transporta consigo tanto os elevados níveis de pólenes como também possíveis partículas do fumo de tabaco do corredor, conhecido como espaço habitual de fumadores, justificando respectivamente os valores nas gamas 1,0 a 10 microns e os valores da gama de 0 a 0,3 microns (fumo de tabaco) [33]. Os valores da gama 1,0 a 10 microns podem ser também consequentes da presença humana e da má higienização do espaço, requerendo, portanto, uma adequada limpeza e com maior frequência.

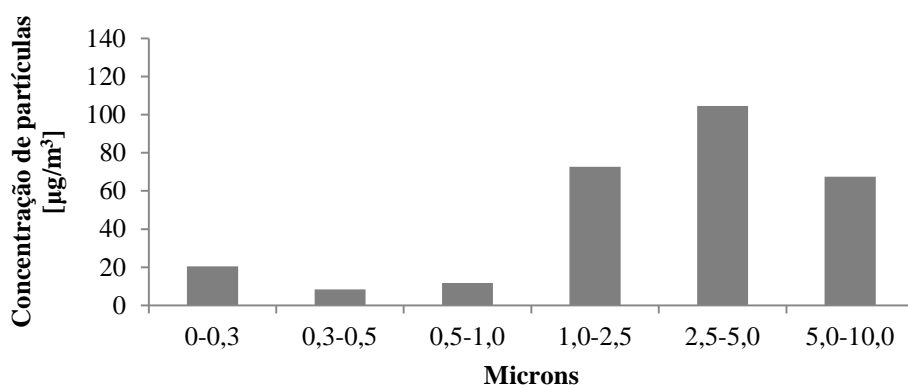


Figura 3.2 – Distribuição de partículas na SA 3.1 – NEEMAAC.

O Anfiteatro I é um espaço climatizado, assim os valores da concentração das PM_{10} apresentados no quadro são respectivos, primeiramente, ao período de não-funcionamento da UTA e o valor seguinte ao período posterior ao início do funcionamento da UTA. Constatando-se que o funcionamento do sistema de ventilação mecânica é capaz de reduzir a concentração de partículas deste espaço, embora se encontre perto do limiar. A distribuição das partículas é apresentada na *Figura 3.3* e observa-se novamente o padrão da ocupação humana. Portanto, é também importante efectuar uma limpeza cuidada.

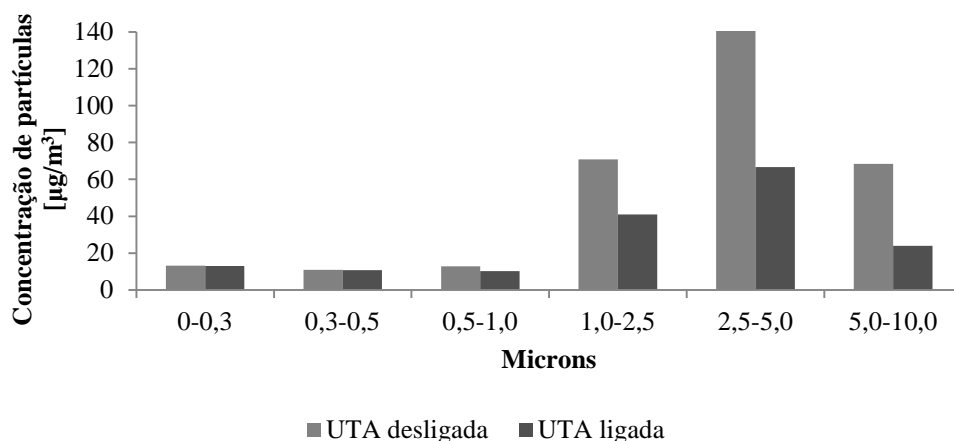


Figura 3.3 – Distribuição de partículas no Anfiteatro I sem e com a UTA ligada.

De maneira a verificar se os elevados níveis de PM_{10} estão associados à ocupação humana ou a partículas existentes no interior e não de partículas provenientes do sistema de ventilação, efectuou-se na segunda campanha de medições um estudo da concentração de PM_{10} ao longo do tempo sem e com a UTA ligada. Este estudo, assim como o estudo da concentração de PM_{10} ao longo do tempo no Anfiteatro II (com o mesmo objectivo) são apresentados no Quadro E.2 no Anexo E.

No Gabinete M, no momento da medição era perceptível o cheiro típico do fumo de tabaco e as janelas e portas encontravam-se fechadas. A distribuição das partículas da *Figura 3.4* denota a possibilidade de o ocupante fumar no seu gabinete [33]. Este facto implicaria evitar fumar dentro do espaço e uma melhor ventilação do espaço.

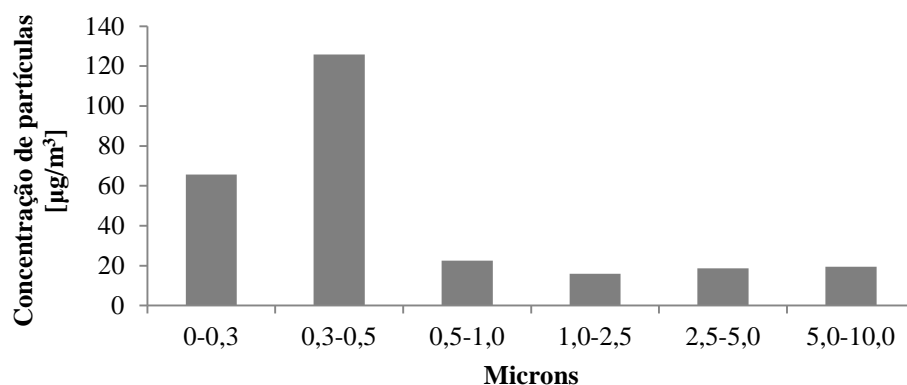


Figura 3.4 – Distribuição de partículas no Gabinete M.

Considerando a coluna relativa à verificação do 1º Critério de Conformidade do CO_2 ($C_{\text{CO}_2} < 1800 \text{ mg/m}^3$), expresso na NT-SCE-02, pode-se constatar que a maioria dos espaços está não conforme com este critério. Assim, esta mesma nota técnica propõe que seja feita uma nova medição, mais prolongada, de forma a eliminar erros associados à primeira. Estas novas medições decorreram na 2ª campanha de medições na maioria dos espaços não-conformes, no entanto, alguns não foram reavaliados por serem semelhantes, como sejam as salas de aulas. Antevê-se que o problema associado a esta elevada concentração esteja associado à inexistente ou ineficiente ventilação natural/mecânica em locais que centralizem muita actividade humana, já como concluiu Daisey et al [15]. Como é referido num estudo incluído em [9], as concentrações de CO_2 tendem a aumentar no Inverno, pois os ocupantes estão menos predispostos a abrir as janelas para fazer circular o ar por ventilação natural.

O **monóxido de carbono (CO)** e o **ozono (O₃)** verificam-se dentro dos limites regulamentares em todos os espaços do DEM.

O caso particular do **formaldeído (HCHO)** registou valores elevados apenas no Anfiteatro II ($> 0,08 \text{ ppm}$). Para validar este resultado foi necessário proceder a novas medições na 2ª campanha.

A concentração dos **Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COV_T)** é excedida nos locais que foram avaliados nos dias 23 e 24 de Maio, nos quais as concentrações exteriores se encontram muito próximas do limite regulamentar ($0,6 \text{ mg/m}^3$). Este facto pode indicar um erro informático de aquisição de dados do aparelho. Para confirmar

estas medições, na 2ª campanha reavaliou-se grande parte dos espaços onde se excedeu esta concentração.

A ocorrência de **bactérias e fungos** fora das condições regulamentares registou-se em cinco e em oito dos 15 espaços avaliados, respectivamente. O rácio I/E das bactérias registado foi em média 12 e dos fungos foi pouco superior a 1, revelando a existência de fontes de contaminação no interior dos espaços. Deste modo, solicitou-se ao laboratório de análise para identificar as espécies contidas nas amostras que excederam os limites e naquelas em que as bactérias excederam em mais de 300 UFC/m³ em relação ao exterior.

Esta identificação é disposta no *Quadro 3.1*. Como se pode observar, a identificação não revela padrões de perigosidade, visto que as bactérias apresentadas nas amostras são maioritariamente cocos Gram (+), de origem humana e inofensivas para os ocupantes [11] e os fungos mais detectados são das estirpes *Cladosporium* sp e *Penicillium* sp, que se consideram comuns [32, 11]. As Gram (+) estão associadas ao tracto respiratório e à pele humana. A estirpe *Cladosporium* sp está relacionada com superfícies húmidas e é normalmente encontrada em plantas vivas ou mortas, têxteis, madeira ou alimentos refrigerados [34]. Assim é perceptível que o Anfiteatro II tenha registado a sua presença, dada à Humidade Relativa elevada apresentada no momento da medição. Na secretaria da ADAI o potencial foco poderá estar associado às duas plantas observadas no local. Já a *Penicillium* sp, para além de aparecer na comida, conhecida como o bolor do pão, é também muitas vezes associada a infiltrações nas paredes (muito frequentes em paredes interiores do DEM, como paredes exteriores envolventes da Sala de Aula 6.4, Gabinete DR, Gabinete de Investigação M, Gabinete BT), colas de parede, tintas e lixo doméstico [35]. Torna-se importante manter o espaço nas melhores condições de limpeza, bem ventilado e resolver os problemas de infiltrações de todas as paredes.

Estudos semelhantes em escolas dos EUA [18] e em escolas portuguesas [20, 23] verificaram também a predominância de bactérias devido à ocupação humana e de fungos nas salas de aulas. Os fungos mais detectados são do género *Cladosporium* sp, seguidos do *Penicillium* sp, *Aspergillus* sp. e *Aternaria* sp, analogamente com o observado no presente estudo.

Quadro 3.1 – Identificação dos microrganismos nos espaços não-regulamentares.

Zona	Fase/Corpo /Piso	Descrição	Bactérias (UFC/m3)	Fungos (UFC/m3)	Obs./ IDENTIFICAÇÃO
Ext	Entrada		---	32	412
A	1ª/N/2	Anfiteatro II	482	> 628	90% das estirpes eram cocos Gram positivas e 10% bacilos Gram positivas; Estirpe mais representativa é a <i>Cladosporium sp</i>
C	1ª/N/3	SA 3.3	416	500	100% das estirpes eram cocos Gram positivas
F	1ª/N/3	Auditório	368	218	100% das estirpes eram cocos Gram positivas
I	1ª/N/4	Sala de Aula 6.4	612	628	100% das estirpes eram cocos Gram positivas; Estirpe mais representativa é a <i>Penicillium sp</i>
N	2ª/S/2	Secretaria ADAI	616	> 628	100% das estirpes eram cocos Gram positivas; Estirpe mais representativa é a <i>Cladosporium sp</i>
P	2ª/N/3	Gabinete DR	Crescimento Confluyente	> 628	Estirpe mais representativa é a <i>Penicillium sp</i>
Q	2ª/N/3	Gabinete de Investigação M	410	> 628	Estirpe mais representativa é a <i>Penicillium sp</i>
R	2ª/N/3	Gabinete de Investigação 1	220	> 628	Registo não efectuado
S	2ª/N/4	Gabinete BT	248	> 628	Estirpe mais representativa é a <i>Penicillium sp</i>

Os valores da **Temperatura** registados durante os dias da campanha excederam em vários locais o valores propostos para o conforto pela ISO 7730:2005 de 23-26°C no Verão [46], devido à excedência das Temperaturas exteriores e, simultaneamente, à inexistência de acondicionamento do ar na maioria dos espaços.

Os resultados relativos à **Humidade Relativa** encontram-se dentro dos valores de referência (30-70%, segundo a ISO 7730:2005 [36]), exceptuando a Humidade Relativa do Anfiteatro II que atinge o valor de 75%. De facto, o revestimento do pavimento deste espaço (em placas de aglomerado de cortiça) encontra-se degradado (ver *Figura C.14*, no Anexo C), indiciando uma possível infiltração sistemática de água no pavimento (e.g., fuga de água em canalização das instalações sanitárias adjacentes ou infiltração da água da chuva pelas janelas).

3.1.2. Segunda Campanha

A segunda campanha de medições aos espaços do DEM decorreu nos dias 8, 9, 13 e 14 Junho de 2011. No primeiro dia, o céu era limpo e o vento de SW soprava a uma velocidade média de 2,7 m/s. Nos restantes dias o céu encontrava-se nublado e o vento fraco de SW a uma velocidade menor que 0,5 m/s.

O Quadro E.2, no Anexo E, mostra os resultados da segunda campanha de medições, dos quais se pode constatar que:

1. O nível das **partículas suspensas no ar** (PM_{10}) do Anfiteatro I verifica-se não estar relacionado com o sistema de ventilação, mas com a ocupação humana ou com a inadequada limpeza, pois com a ventilação mecânica ligada e sem ocupação humana o seu registo é baixo (ver *Figura 3.5*). No caso do Anfiteatro II também se verificou a redução da sua concentração, aquando a renovação de ar através da porta e janela abertas (*Figura 3.6*).

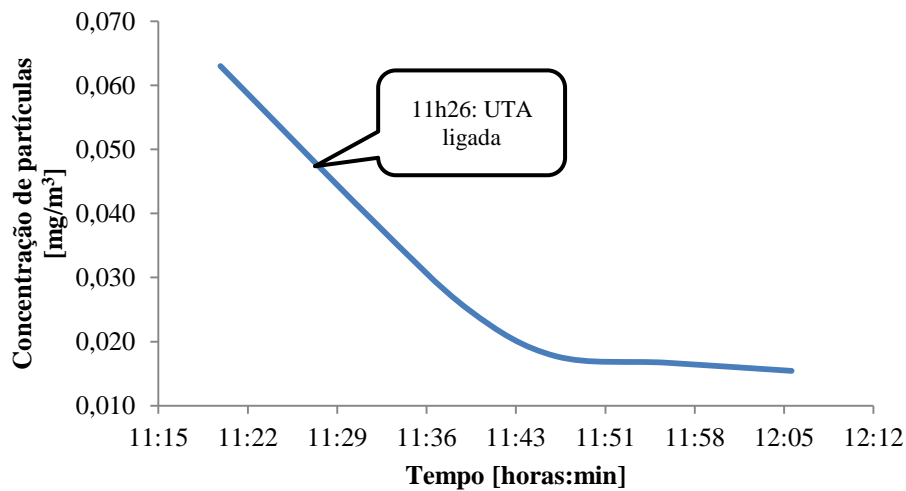


Figura 3.5 – Evolução temporal da concentração de partículas PM_{10} no Anfiteatro I.

A *Figura 3.5* comprova a redução da concentração de partículas pelo funcionamento da UTA, atingindo um equilíbrio ao fim de alguns minutos.

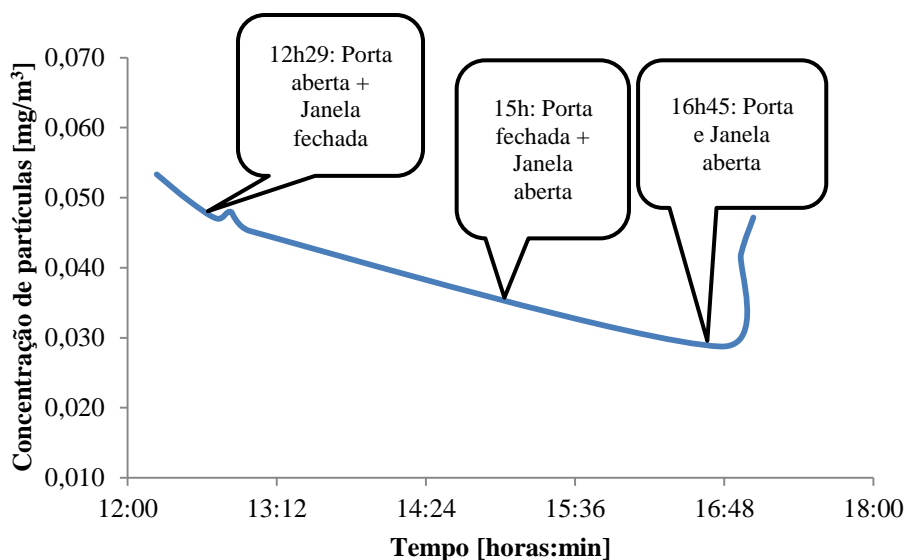


Figura 3.6 – Evolução temporal da concentração de partículas PM₁₀ no Anfiteatro II.

Embora a redução da concentração de partículas no Anfiteatro II não seja tão acentuada quanto no outro, a redução é ainda assim sentida, devido a uma ventilação natural. A ventilação natural registou-se mais intensa quando a janela estava aberta do que quando a porta estava aberta, observável também nos gráficos dispostos no Anexo F, em que ambas as distribuições de partículas se assemelham com o exterior, no entanto menor quando a janela está aberta. Esta porta não está aberta directamente para o exterior, mas para um corredor, o que pode determinar entradas de ar mais concentradas em partículas pela porta do que pela janela. Pela observação dos gráficos dispostos no Anexo F verifica-se que a abertura da porta e da janela provoca correntes de ar que arrastam as partículas depositadas no chão para o ar, pois ocorre um aumento das partículas de dimensão maior (5,0-10,0 microns). Exige-se, assim, uma ventilação natural mais eficiente e um programa de limpeza mais adequado. Ainda neste período de tempo, nota-se que a restante distribuição de partículas também se assemelha ao exterior.

Uma das alternativas à ventilação natural deste espaço poderá ser o recurso a um ventilador de extracção nas janelas que seja possível ligar durante a hora de almoço e nos intervalos das aulas, associado a grelhas de transferência nas janelas. Se se apontasse para uma renovação de ar durante o intervalo de almoço, seria necessário um caudal de ar novo de cerca de 205 m³/h, correspondente ao volume que o ar ocupa na sala.

2. O **dióxido de carbono**, nesta 2ª campanha, encontra-se nos limites do imposto pelo 2º critério de conformidade da NT-SCE-02 ($C_{CO_2} < 2700 \text{ mg/m}^3$) nos espaços em que se registou ocupação, exceptuando a Sala de Computadores da Biblioteca e o Gabinete BT, que exigem mais da ventilação mecânica e natural, respectivamente. Note-se que alguns locais, nomeadamente algumas salas de aulas que anteriormente registaram altos valores de CO_2 , não foram reavaliados por falta de ocupação em época de exames, no entanto realizou-se um estudo para avaliar qual o caudal de ar novo necessário para insuflar mecanicamente no Anfiteatro I, Auditório e Sala de Leitura da Biblioteca, para verificar o 2º critério de conformidade. Note-se que estes gráficos são os valores recolhidos directamente dos equipamentos de medição ao minuto “Sensotron PS32” e “DirectSense IAQ IQ610 Graywolf”.

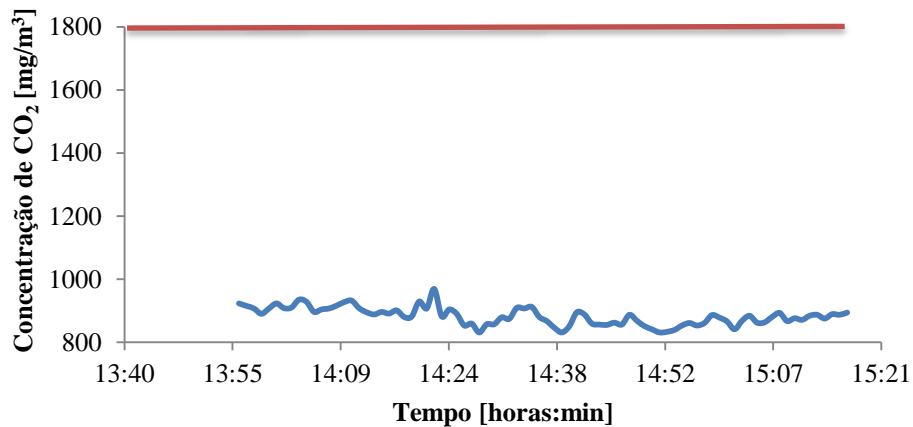


Figura 3.7 – Evolução temporal da concentração de CO_2 no Bar.

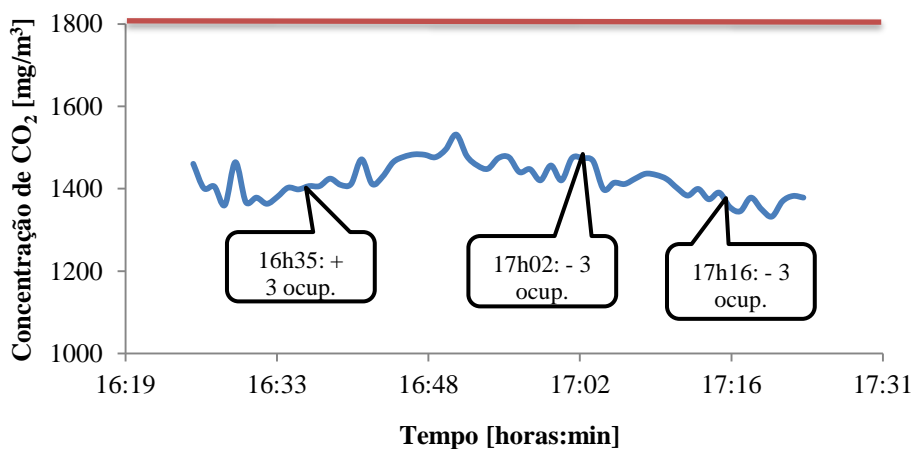


Figura 3.8 – Evolução temporal da concentração de CO_2 na sala de estudo da Biblioteca.

A *Figura 3.7* revela que a constante entrada e saída de clientes do bar não faz variar significativamente a concentração de CO₂, mantendo-se esta na gama dos 800-1000 mg/m³. Já na sala de estudo da biblioteca (*Figura 3.8*), a variação também não é muito significativa, pois desde o início e término da medição que a fonte de renovação de ar (janela aberta) e a ocupação foram praticamente constantes.

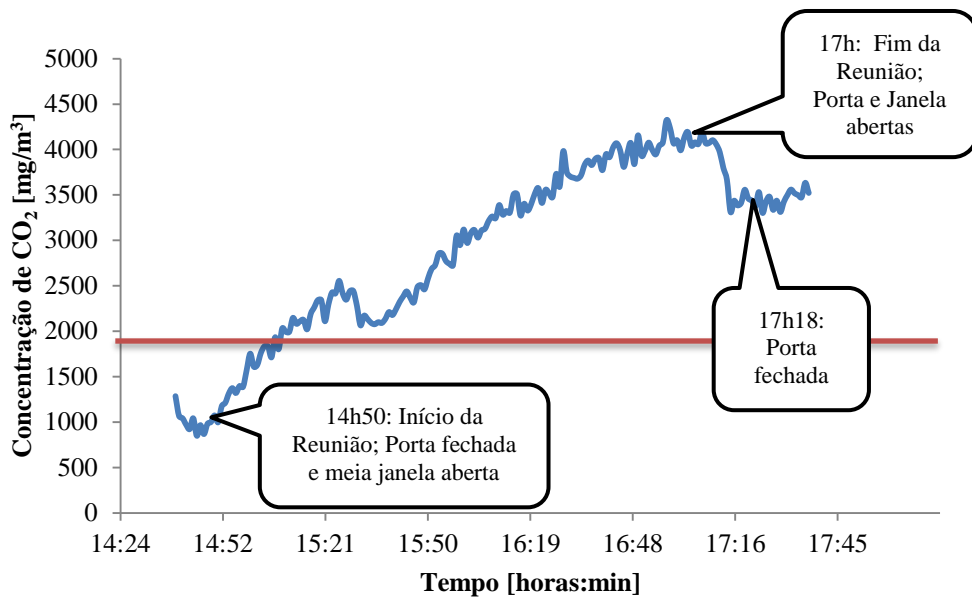


Figura 3.9 – Evolução temporal da concentração de CO₂ na Sala de Reuniões Este, durante uma reunião.

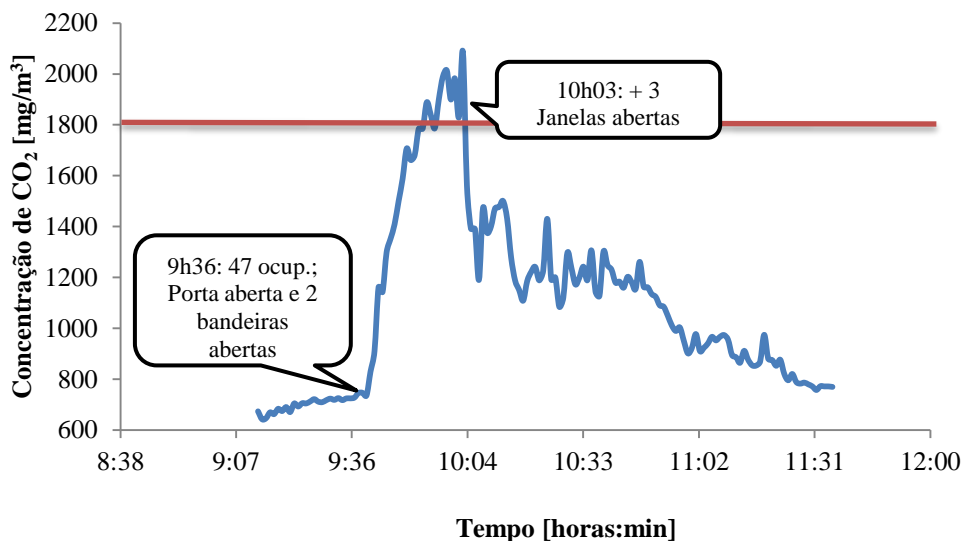


Figura 3.10 – Evolução temporal da concentração de CO₂ na SA 6.4, durante um exame.

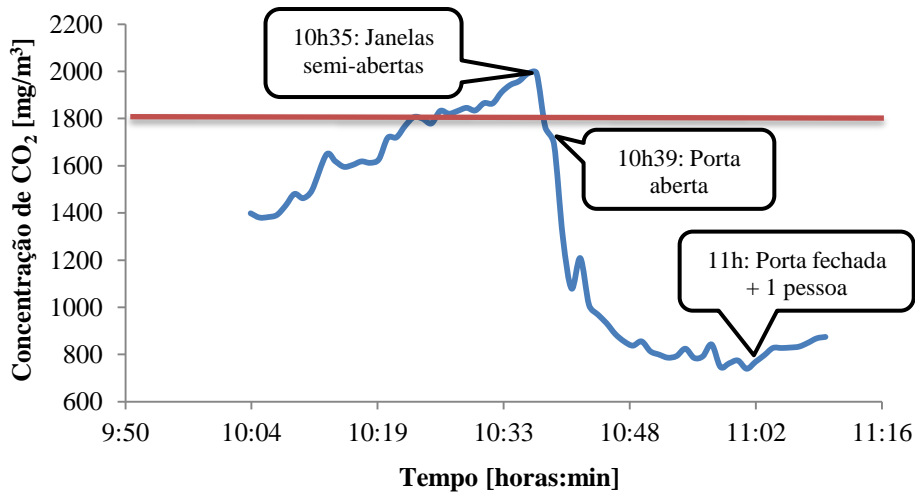


Figura 3.11 – Evolução temporal da concentração de CO₂ na Sala de Pós-Graduação do Laboratório de Robótica.

Da observação destas últimas figuras (*Figuras 3.09, 3.10 e 3.11*) pode-se concluir que quando a ocupação dentro de uma sala começa a ser excessiva, deve-se intervir com ventilação natural para reduzir os valores da concentração de CO₂, sempre que possível. Desta forma, a aplicação de um sensor de CO₂ para alertar quando o CO₂ começa a ser excessivo seria uma boa implementação em cada sala de aula e também nos gabinetes, onde existe uma ocupação permanente e elevada.

3. A elevada concentração de **formaldeído** no Anfiteatro II não se deve a um erro do equipamento, pois os valores foram novamente observados. Estudos que auditaram o formaldeído dentro dos espaços escolares e que registaram concentrações elevadas deviam este facto à existência de mobiliário novo, com menos de 1 ano [6]. No entanto, o Anfiteatro II não apresenta qualquer tipo de mobiliário novo. Neste espaço, como já foi referido, o pavimento apresenta-se em degradação contínua, em que os agregantes e as colas de aplicação deste revestimento podem ser a causa de uma emissão invulgar de formaldeído, explicando-se, assim, a elevada concentração desse composto aí medida. Uma possível solução será remodelar o pavimento com vista a evitar uma semelhante situação no futuro.
4. A **concentração de COV_T** da 1ª campanha relativamente às medições dos dias 23 e 24 de Maio não foi validada, visto que nos locais que foi possível reavaliar

a sua concentração, esta não excedeu o limite regulamentar. Ou seja, na 1ª campanha, a medição foi afectada pelo erro informático do equipamento, propondo-se que em próximas análises se ligue-o cerca de uma hora antes, para o estabilizar. Ao contrário dos resultados, Daisey *et al.* analisaram vários estudos onde a concentração de COV_T foi baixa [15]. Nas escolas dos EUA, Godwin [18] e Shendell [19] observaram também que as concentrações de COV_T foram baixas. Nas escolas avaliadas no Porto (Portugal) por Madureira et al. [20], o registo dos COV_T também nunca excedeu o limite regulamentar nacional de $0,6 \text{ mg/m}^3$.

5. Os valores da **Temperatura** relativamente aos valores da 1ª campanha foram quase todos dentro dos limites de referência, exceptuando 2 locais (Sala de estudo da Biblioteca e o Gabinete RF) onde a Temperatura foi excedida e um local onde a Temperatura de referência para conforto não foi atingida (Laboratório de Controlo e Gestão). Nesta campanha, o Anfiteatro II, que não se encontrava ocupado, não registou excedência do limite superior da **Humidade Relativa**.

3.1.3. Caudal de ar novo necessário

Alguns estudos demonstraram que, em 75% das salas de aulas das escolas analisadas, a concentração de CO_2 ultrapassou largamente o limite regulamentar de 1800 mg/m^3 , revelando a necessidade de serem efectuadas medições com o objectivo de aumentar o caudal de ar novo insuflado [18, 20].

Como já foi verificado, muitos espaços do DEM registam valores de concentração de CO_2 superiores ao limite regulamentar. Serve o presente subcapítulo para propor uma insuflação mecânica de ar novo capaz de adequar a QAI no Anfiteatro I, no Auditório e na Sala de Leitura da Biblioteca relativamente ao 2º critério de conformidade do CO_2 . Para tal considera-se um método analítico que se baseia em expressões derivadas do balanço mássico de um dado poluente num espaço, considerando uma mistura perfeita no seu interior, assim como taxas de emissão e condições de fronteira invariáveis no tempo (ver Manual REHVA nº 13 [9]). Assim, admitindo algumas hipóteses adicionais de simplificação, a evolução temporal da concentração do poluente pode ser representada por

$$C(t) = e^{-\lambda_v t} (C_{ext} - C_{equi}) + C_{equi} \quad (2)$$

onde λ_v é a taxa de renovação igual à razão entre o caudal de ar novo e o volume da sala (Q/V) em h^{-1} , C_{ext} é a concentração do poluente no ar novo (exterior) que é insuflado no espaço (supostamente igual à concentração inicial C_0), t (h) é o tempo decorrido desde o instante inicial $t = 0$ e C_{equi} (mg/m^3) é a chamada *concentração de equilíbrio*, isto é, o valor limite para que $C(t)$ irá tender assintoticamente quando $t \rightarrow +\infty$. Por outras palavras, C_{equi} corresponde às condições de regime permanente ($dC/dt \approx 0$), sendo determinado por:

$$C_{equi} = C_{ext} + \frac{G}{Q} \quad (3)$$

em que Q é o caudal de ar novo insuflado no espaço (m^3/h), G é a taxa de geração do poluente emitido pelos ocupantes do espaço (mg/h), que no caso do CO_2 considera-se uma taxa de emissão por ocupante, com uma actividade moderada de 1,2 met, de 37000 $mg/h \cdot ocup$ [9].

Substituindo (3) em (2), fica:

$$C(t) = e^{-\lambda_v t} \left(-\frac{G}{Q} \right) + C_{ext} + \frac{G}{Q} \quad (3)$$

Usando esta equação iterativamente pode-se procurar o valor do caudal de ar novo $Q_{med,4h}$ que permite satisfazer o 2º critério de conformidade do CO_2 ($C_{CO_2,med} < 2700 \text{ mg/m}^3$) num período de ocupação de 4 horas, habitual nas salas de aulas (desprezando a existência de intervalos entre aulas). Para a concentração de CO_2 no ar exterior C_{ext} toma-se aqui a média das medições realizadas de cerca de 644 mg/m^3 .

Os gráficos das figuras seguintes ilustram o resultado deste método para cada espaço estudado (*Figuras 3.11, 3.12 e 3.13*). Observa-se, portanto, que a linha laranja é a que representa o caudal de ar novo mínimo possível para que ao fim de 4 horas exista uma concentração menor que 2700 mg/m^3 (o Limite Reg.), em todos os casos. No entanto, o caudal de ar novo necessário para evitar que o valor médio da concentração de CO_2 a que os ocupantes estão expostos durante as 4 horas ultrapasse o valor limite de 2700 mg/m^3 (2º critério de conformidade, cf. NT-SCE02) é menor e aconselhável para uma maior poupança energética, como se pode observar pelos resultados do *Quadro 3.2*.

Ainda se analisou o total de caudal de ar novo insuflado actualmente, medido directamente na grelha da tomada de ar novo, Q_a .

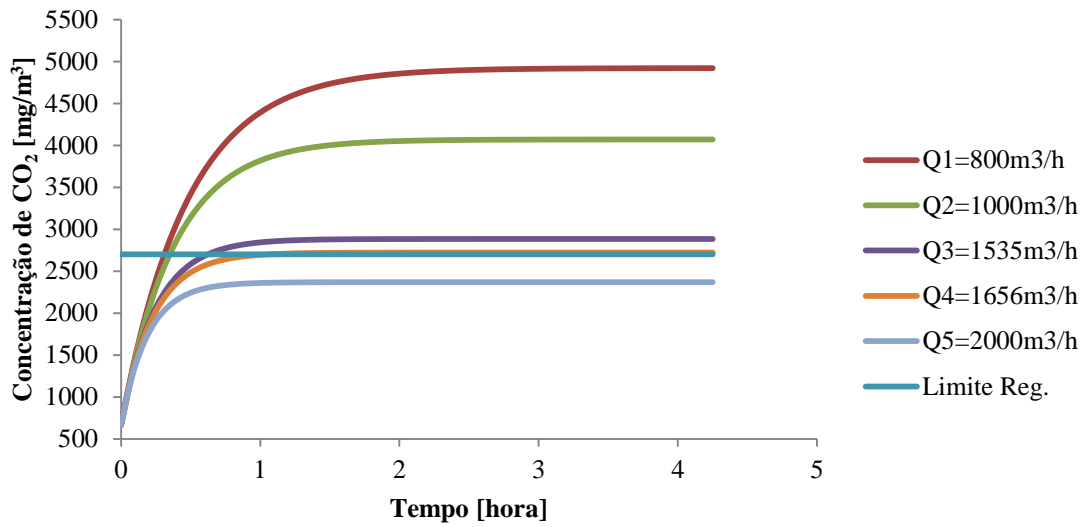


Figura 3.12 – Estimativa teórica da evolução temporal da concentração de CO_2 no Anfiteatro I.

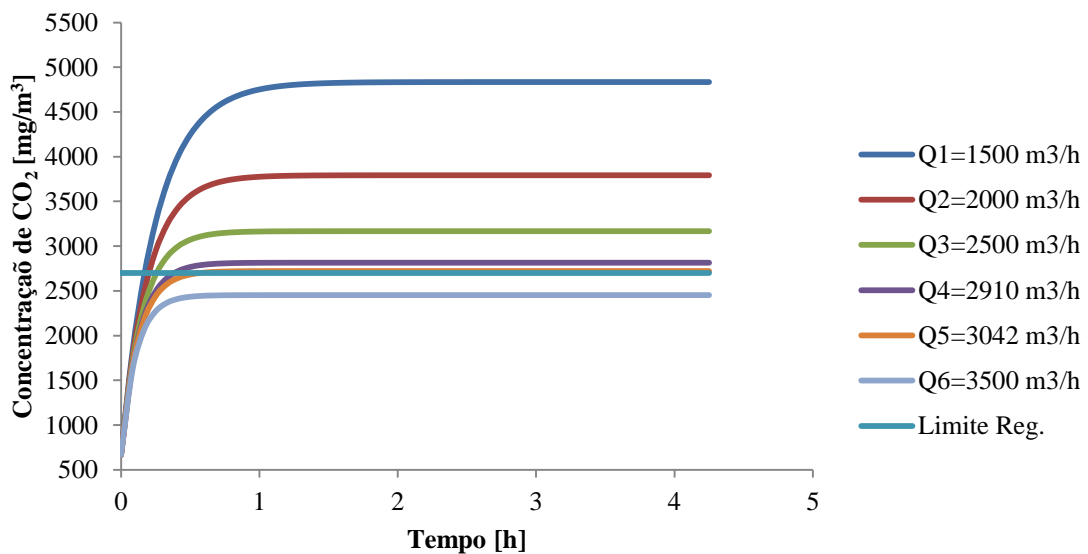


Figura 3.13 – Estimativa teórica da evolução temporal da concentração de CO_2 no Auditório.

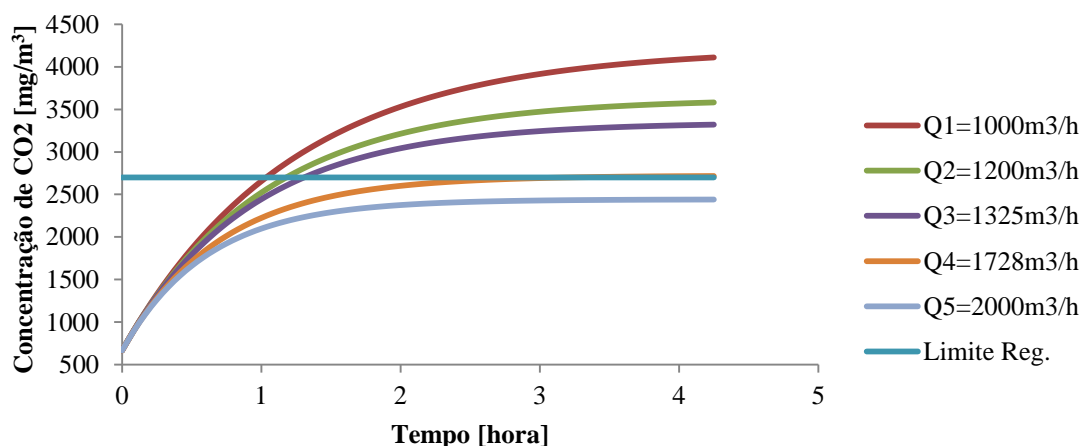


Figura 3.14 – Estimativa teórica da evolução temporal da concentração de CO₂ na Sala de Leitura da Biblioteca.

Quadro 3.2 – Caudal de ar novo actual, Q_a e caudal de ar novo para cumprir o 2º critério de conformidade do CO₂, $Q_{med, 4h}$.

Espaço	Volume	Lotação	Q_a (m ³ /h)	Q_{4h} (m ³ /h)	$Q_{med,4h}$ (m ³ /h)	Redução no caudal (%)
Anfiteatro I	384	92	681	1656	1535	7,3
Auditório	383	169	1397	3042	2910	4,3
Sala de Leitura - Biblioteca	1218	96	3331 ^(*)	1728	1325	23,3

^(*) Caudal de ar que é insuflado para toda a biblioteca e não só para a Sala de Leitura.

Verifica-se, portanto, que o caudal de ar novo mínimo necessário é menor considerando a média da concentração de CO₂ ao longo das 4 horas ($Q_{med,4h}$), de acordo com o 2º critério de conformidade, do que considerando o seu valor instantâneo (Q_{4h}). Com as reduções no caudal de 4,3, 7,3 e 23,3 % (ver *Quadro 3.2*) para os respectivos espaços, ainda se consegue uma poupança energética significativa. O caudal que se devia observar em cada espaço seria o $Q_{med,4h}$; no entanto o caudal actualmente registado Q_a é inferior em qualquer dos espaços. Assim sendo, o responsável pelo DEM deverá tomar medidas de aumento do caudal de ar insuflado no Anfiteatro I e no Auditório e verificar o valor do caudal actual insuflado pela UTA da Biblioteca na Sala de Leitura, que se pensa ser também insuficiente, pois as concentrações de CO₂ neste espaço também foram excedidas.

3.2. Interpretação dos questionários da 2ª Campanha

O objectivo desta segunda campanha de distribuição dos questionários prende-se com a avaliação da percepção individual de cada aluno ao conforto térmico e à QAI e dos sintomas na sua saúde devido à baixa QAI. Desta forma, os questionários foram distribuídos durante a 1ª campanha de medições em quatro salas de aulas: na Sala de Informática II, na SA 3.2, na Sala de Projectos e no Auditório.

Os questionários foram entregues na Sala de Informática II no dia 23 de Maio por volta das 14h30 com um tempo de céu limpo, quente e com um vento moderado. O total de respostas equivaleu ao número de estudantes presentes, isto é, 19 alunos com idades compreendidas entre os 18 e 25 anos.

Na SA 3.2, os questionários foram distribuídos no dia 23 de Maio por volta das 15h30 com um tempo de céu limpo, quente e com um vento moderado. O total de respostas equivaleu ao número de estudantes presentes, isto é, 20 alunos com idades compreendidas entre os 18 e 25 anos.

Os questionários foram entregues na Sala de Projectos no dia 20 de Maio por volta das 11h30 com um tempo de céu limpo, quente e com um vento fraco. O total de respostas equivaleu ao professor e ao número de estudantes presentes, isto é, 9 alunos com idades compreendidas entre os 18 e 25 anos.

No Auditório, os questionários foram distribuídos no dia 19 de Maio por volta das 11h-11h30 com um tempo de céu limpo, quente e com um vento fraco. O total de respostas equivaleu ao número de estudantes presentes, isto é, 26 alunos com idades compreendidas entre os 18 e 25 anos.

A *Figura 3.15* apresenta a percentagem de alunos que sente que a sua produtividade é afectada pela baixa QAI ou pelo baixo conforto térmico, nas quatro salas de aulas avaliadas. De uma forma geral, observa-se que os alunos sentem a sua produtividade mais afectada pelo desconforto térmico do que pela baixa QAI, rondando os 20%-56% e os 17%-44%, respectivamente. Regista-se o maior número de queixas no Auditório, tanto ao nível da QAI como do conforto térmico, e o menor número de queixas na Sala de Informática II relativamente à produtividade afectada pela QAI e na Sala de Projectos relativamente à produtividade afectada pelo baixo conforto térmico. Na SA 3.2 apenas 25 % e 30% dos alunos consideram a sua produtividade afectada pela baixa QAI e pelo baixo conforto térmico, respectivamente. O Auditório, embora esteja

equipado com uma UTA, esta frequentemente não funciona, exceptuando em casos de algumas conferências. Se esta funcionasse mais regularmente, o número de queixas poderia reduzir-se.

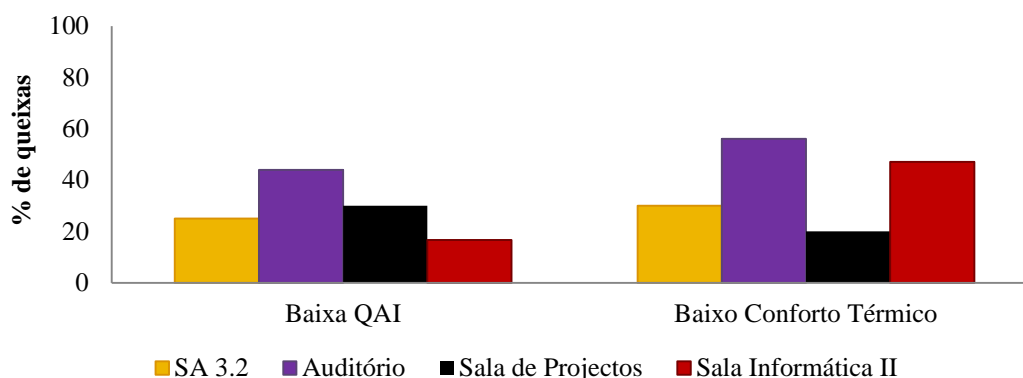


Figura 3.15 – Percentagem de alunos que consideram a sua produtividade afectada pela QAI e pelo conforto térmico.

A Figura 3.16 apresenta a percentagem de alunos que considera globalmente aceitável a QAI e o conforto térmico nas quatro salas de aulas avaliadas. A QAI é globalmente aceitável para mais de 90% dos alunos presentes nas quatro salas e o conforto térmico é aceitável para mais de 80% dos alunos inquiridos, sendo a Sala de Projectos onde os alunos consideram menos aceitável o conforto térmico. Portanto, nota-se que os ocupantes aceitam bem as condições de trabalho habitual.

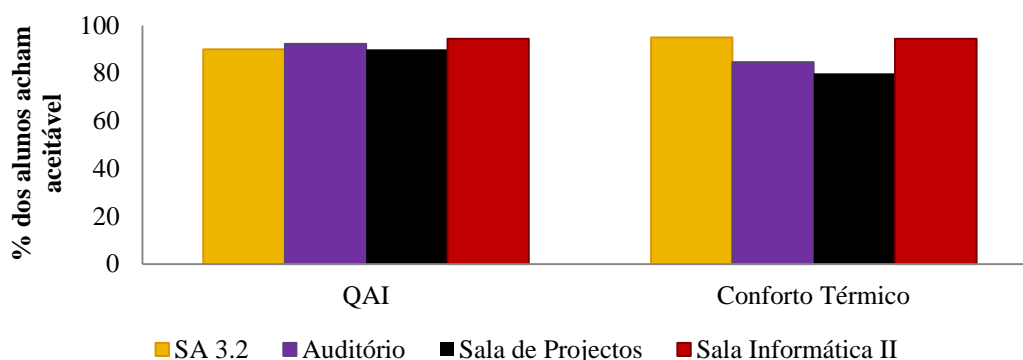


Figura 3.16 – Percentagem de alunos que acha aceitável a QAI e o conforto térmico.

A Figura 3.17 lista o número de queixas dos estudantes relativamente a problemas relacionados com ambiente interior e que se fizeram sentir nas quatro salas de aula durante o último semestre. Numa visão superficial, distingue-se o ruído como o problema que suscita mais queixas em duas salas de aula (Sala de Projectos e

Auditório). Na SA 3.2 a maior queixa foi o ambiente térmico quente e na Sala de Informática foi o ar seco. A concentração de poeiras no ar interior é o problema menos percebido em todas as salas à excepção do Auditório que considera o ar seco pouco frequente.

Não se pode afirmar que a Sala de Projectos é a que apresenta mais queixas, muito embora seja o que se observe na *Figura 3.7*, pois os questionários foram apenas preenchidos por 10 pessoas não sendo suficientemente representativos para fomentar esta afirmação.

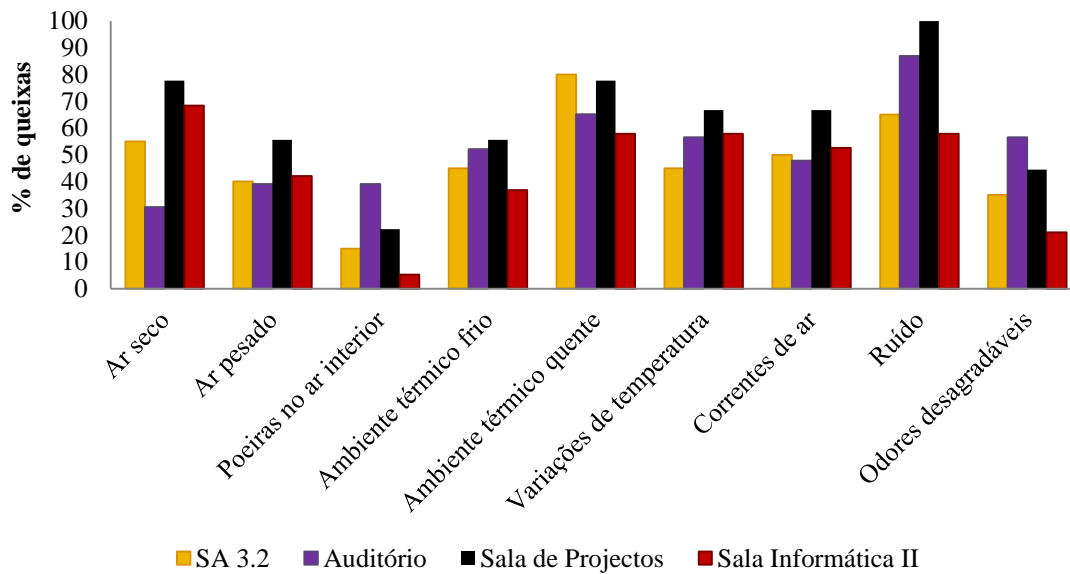


Figura 3.17 – Percentagem de alunos insatisfeitos quanto aos problemas do ambiente interior das salas.

A seguinte *Figura 3.18* mostra qual é a estação do ano em que os alunos das quatro salas sentem pior QAI.

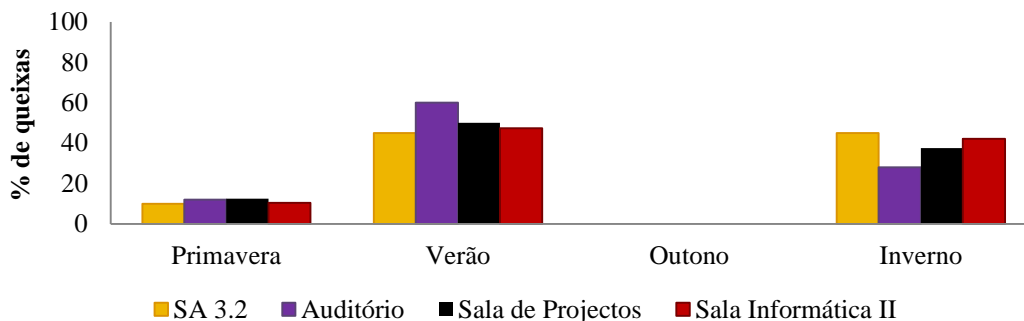


Figura 3.18 – Estação do ano em que os alunos sentem pior QAI.

Na SA 3.2, 45% dos alunos consideram ser o Inverno e 45% consideram ser o Verão. No Auditório existe pior QAI no Verão, segundo 60% dos inquiridos. Na Sala de Projectos, o Verão é mais prejudicial para 50%. Na Sala de Informática II também 47% dos alunos considera ser o Verão a estação com pior QAI.

O Verão é a estação onde se verifica maiores queixas para pior QAI, o Inverno é a segunda e a Primavera a terceira estação que é tida com pior QAI. Nenhum estudante considera o outono como tendo pior QAI. É, então, no Verão que as condições da QAI devem ser melhoradas e regulamentadas.

No momento do preenchimento do questionário, os estudantes foram questionados sobre a sensação que sentiam, como se pode constatar pela *Figura 3.19*.

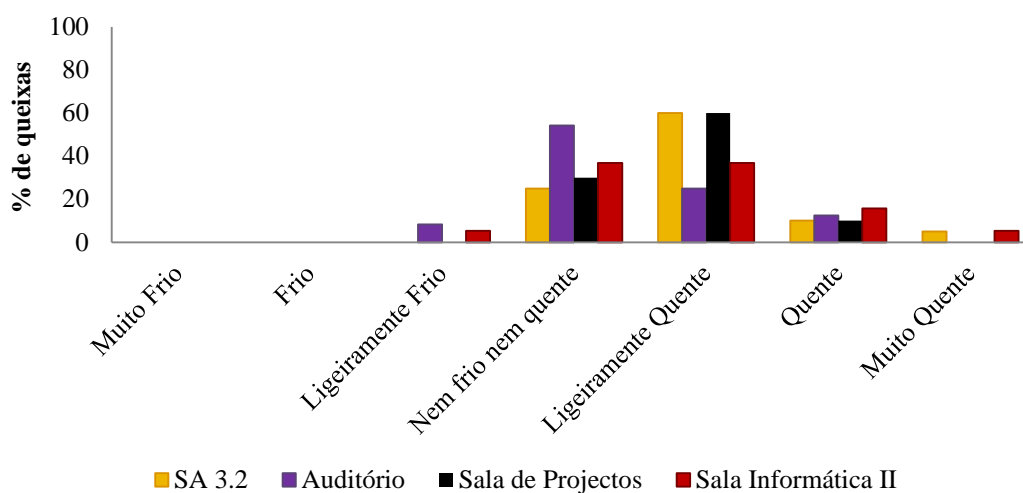


Figura 3.19 – Sensação térmica sentida pelos alunos no momento do preenchimento.

Na Sala de Projecto e na SA 3.2, a maioria dos alunos não sentem frio nem quente ou sentem o ar ligeiramente quente. Na SA 3.2, 60% sentem ligeiramente quente e 25% não sentem frio nem quente. No Auditório, 54% não sentem frio nem quente e 25% sentem ligeiramente quente. Na Sala de Projectos, 60% sentem ligeiramente quente e 30% nem frio nem quente. Na Sala de Informática II, 37% sentem ligeiramente quente e outros 37% não sentem frio nem quente. Parte dos alunos sentem-se ligeiramente quente, o que poderá estar associado com os valores registados de Temperatura na altura do preenchimento.

No entanto, mais de 50% dos alunos de todas as salas sentiram-se confortáveis com estas sensações do momento. E apenas 20% a 42% se sentiram ligeiramente desconfortáveis (ver *Figura 3.20*).

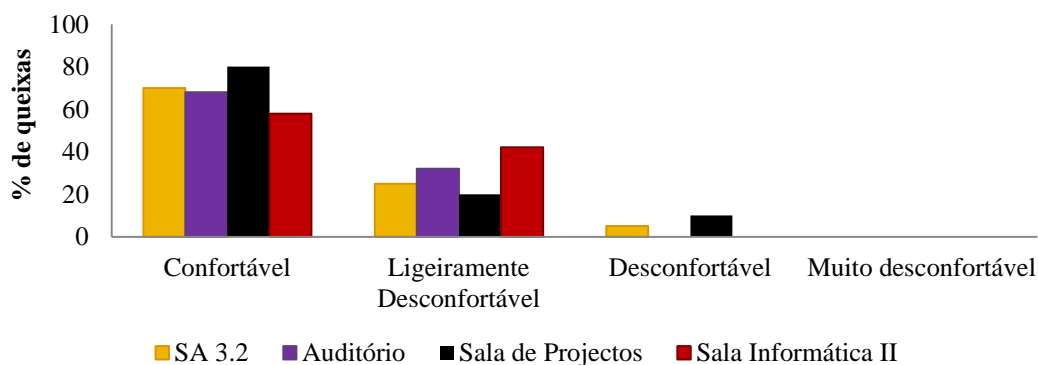


Figura 3.20– Sensação de conforto sentida pelos alunos no momento do preenchimento.

Portanto, como seria espectável, ao momento do preenchimento do questionário, mais de 50% dos alunos preferiam um estado nem mais frio nem mais quente e 30% a 40% preferem um pouco mais frio, exceptuando o caso da SA 3.2, em que 60% se sentiriam confortáveis se estivesse um pouco mais frio, como se observa da *Figura 3.21*.

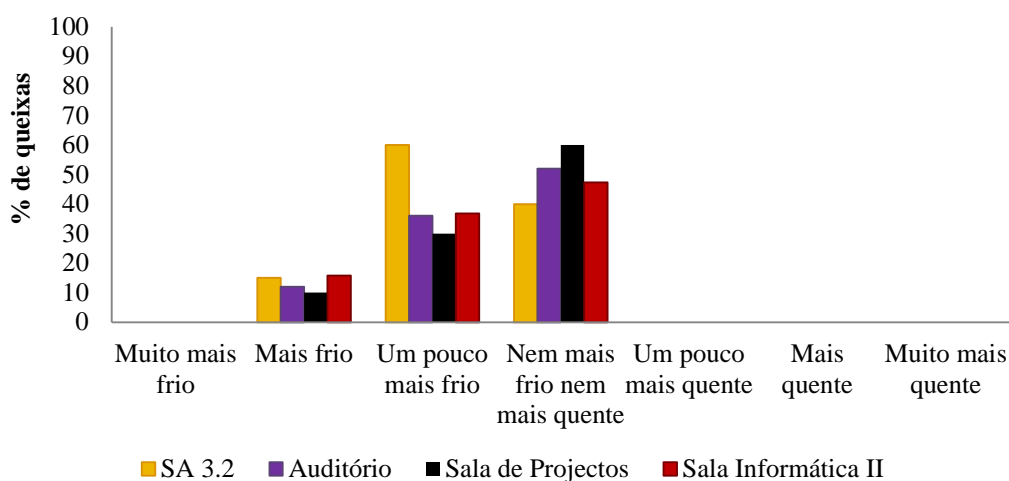


Figura 3.21 – Preferência dos alunos no momento do preenchimento.

Na *Figura 3.22* está representada a sensação que os alunos das salas avaliadas sentiram em relação ao movimento do ar no momento do questionário. Em três das salas avaliadas 50 a 68% dos alunos consideram o movimento do ar aceitável. No entanto, na SA 3.2, apenas 35% dos alunos o acharam aceitável e 45% acharam fraco. Verifica-se que a percepção do movimento do ar, embora na sua maioria seja aceitável, tem tendência a tornar-se fraco.

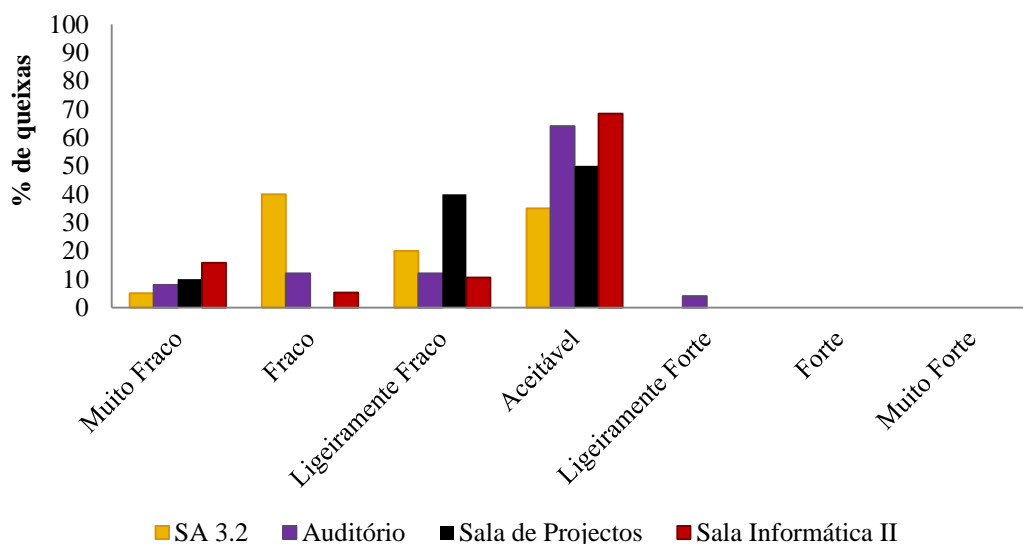


Figura 3.22 – Sensação do movimento do ar sentida pelos alunos no momento do preenchimento.

O gráfico ilustrado pela *Figura 3.23* representa a sensação que os alunos têm relativamente à humidade. Consta-se que os alunos de todas as salas consideram a humidade aceitável. No entanto, pela análise dos valores de Humidade Relativa nas medições da 1ª campanha (Quadro E.1, Anexo E), a Humidade Relativa está próxima do limite superior para ser considerada confortável, mas os ocupantes sentiram o ar mais seco do que propriamente húmido, levando a crer que a sensibilidade humana para a temperatura é maior do que para a sensação de ar húmido.

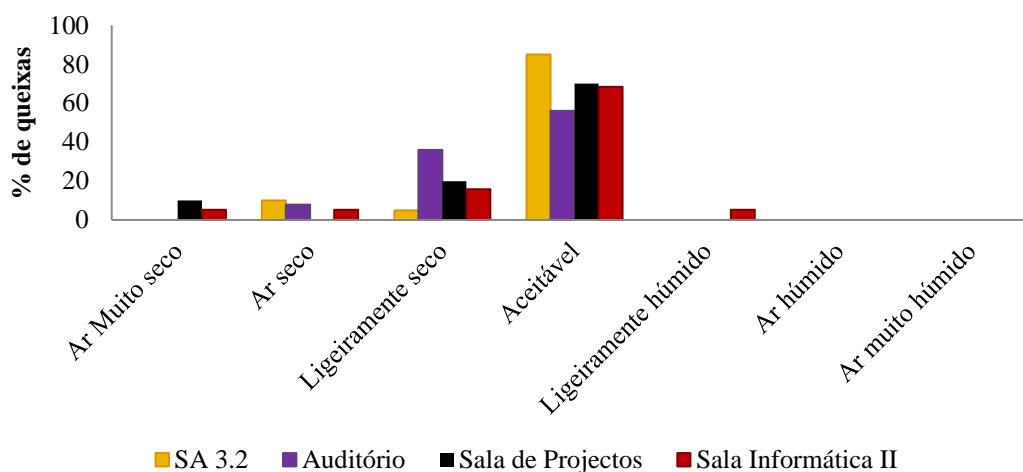


Figura 3.23 – Sensação da humidade sentida pelos alunos no momento do preenchimento.

Quanto aos sintomas sentidos pelos alunos no último semestre em cada sala podem ser observados na *Figura 3.24*. O sintoma mais sentido nas salas de aula foi a garganta seca ou rouca (44,25%, em média), seguido da tosse (37,25%, em média) e o menos sentido foi o ardor ou irritação dos olhos (15%, em média). A sala que apresenta um maior número de queixas é o Auditório, pois 27% queixaram-se de irritação no nariz, 42% com tosse, 50% com garganta seca ou rouca e 19% com ardor ou irritação dos olhos. A sala que menos esteve sujeita a queixas foi a Sala de Projectos. Nota-se ainda que na Sala de Informática II, o sintoma mais sentido não foi a garganta seca ou rouca, mas a tosse.

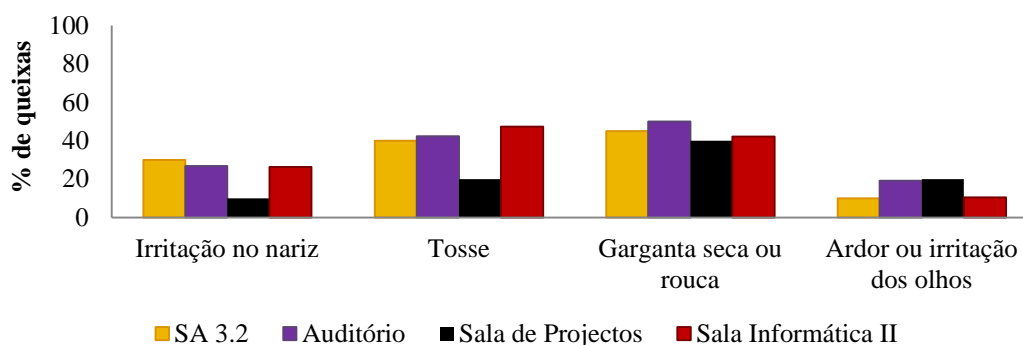


Figura 3.24 – Sintomas sentidos pelos alunos no último semestre.

A partir deste gráfico é possível tecer comparações com os resultados das medições dos parâmetros que se mostraram susceptíveis de ultrapassar os limites legais. No *Quadro 3.3* observam-se esses parâmetros para cada sala de aula, recolhidos em simultâneo com os questionários na 1ª campanha.

Quadro 3.3 – Resultados dos parâmetros PM₁₀, CO₂, Bactérias, Fungos, Temperatura e Humidade Relativa nas salas de aulas analisadas pelos questionários.

Descrição	Nº ocup.	Data	Ínicio (h)	PM ₁₀ (mg/m ³)	CO ₂ (mg/m ³)	Bactérias (UFC/m ³)	Fungos (UFC/m ³)	T (°C)	HR (%)
				L _{reg} =0,15	L _{reg} =1800	L _{reg} =500 e >300 Ext	L _{reg} =500	L _{ref} =23-26	L _{ref} =30-70
SA 3.2	25	23.05	15h18	0,116	6024	---	---	28,8	64,6
Auditório	36	19.05	11h18	0,124	5713	368	218	26,1	60,6
Sala de Projectos	12	20.05	11h31	0,068	8170	---	---	25,6	68,5
Sala de Informática II	21	23.05	14h30	0,088	2394	---	---	26,7	64,2

Vê-se, portanto, que uma das possíveis razões para o Auditório ser o foco onde ocorreram mais queixas possa estar relacionado com a interação do conjunto de elevados níveis de CO₂, de Bactérias e da Temperatura, associados a um nível relativamente alto das PM₁₀. Nas restantes salas os sintomas mais sentidos (garganta seca ou rouca e tosse) podem estar associados a temperaturas acima da gama de conforto.

3.3. Recomendações para o PAC-QAI e para o PQ

Ao longo desta auditoria verificou-se várias não-conformidades. Neste subcapítulo reúnem-se as recomendações para auxiliar o responsável do DEM a elaborar o PAC-QAI num prazo de 30 dias após a conclusão desta auditoria, segundo o anexo XI da NT-SCE-02. São propostas as seguintes recomendações:

- Obter plantas e cortes actualizados do DEM e dos principais componentes do sistema de AVAC, como as UTAs;
- Modificar os filtros das UTAs de G2 para F5, melhorando a capacidade de filtragem antes das baterias do Anfiteatro I, do Auditório e da Biblioteca;
- Manter limpos os espaços entre os componentes das UTAs e o espaço exterior;
- Colocar uma manta de filtro G2 na janela do compartimento da UTA do Auditório para evitar que o espaço envolvente e de pouca acessibilidade se mantenha consideravelmente limpo;
- Alterar o dimensionamento dos sifões das UTAs da Biblioteca e do Anfiteatro I;
- Limpeza adequada e mais eficiente dos espaços onde se verificam altas concentrações de PM₁₀;
- Instalação de sensor de CO₂ para monitorização contínua nos espaços que demonstraram evoluir rapidamente para uma situação não conforme, como o Gabinete BT e a maioria das salas de aula, para instruir os ocupantes para o recurso à ventilação natural e para manter as concentrações de CO₂ controladas;
- Instalação do ventilador de extracção nas janelas do Anfiteatro II com um caudal de cerca de 205 m³/h;
- Aumentar o caudal de ar novo insuflado no Anfiteatro II, no Auditório e na Biblioteca, para impedir excessivas concentrações de CO₂;

- Remodelação do chão do Anfiteatro II por forma a equilibrar as concentrações de formaldeído a um nível inferior ao limite legal de 0,08 ppm;
- Resolver os problemas de infiltrações das paredes para evitar proliferação de fungos, tais como *Cladosporium* sp e *Penicillium* sp.

Para além das recomendações propostas ao proprietário, são de igual importância as recomendações para o PQ que realizará a próxima auditoria. Constatam entre estas recomendações:

- a calibração dos equipamentos de medição com uma periodicidade não superior a 12 meses;
- a pesquisa da *Legionella* em amostras de água das torres de arrefecimento;
- o estudo mais pormenorizado do cheiro atípico encontrado no Gabinete RL, do qual o ocupante se queixou e os resultados não surtiram conclusões;
- a verificação do caudal de ar novo insuflado na Sala de Leitura da Biblioteca;
- a medição do ar exterior junto das 3 tomadas de ar novo;
- a elaboração de um questionário *online* para facilitar o seu preenchimento pelos ocupantes, nomeadamente funcionários, docentes e/ou investigadores, incluindo as plantas do edifício para que o ocupante possa facilmente localizar o local mencionado no questionário.

Capítulo 4 – Conclusão e trabalhos futuros

Após esta auditoria conclui-se que o CE não pode ser emitido, pois verificaram-se as seguintes não-conformidades:

- Os requisitos mínimos de manutenção e higiene dos sistemas AVAC não foram verificados;
- As partículas suspensas no ar (PM₁₀) excederam o limite regulamentar em 4 espaços, devido essencialmente a limpeza e ventilação inadequadas;
- A concentração limite de CO₂, imposta pelo 1º Critério de Conformidade, foi ultrapassada em 46% dos espaços, revelando mais uma vez a inadequada ventilação dos espaços e também a sua sobrelotação;
- A concentração limite de CO₂, imposta pelo 2º Critério de Conformidade, foi excedida em 2 espaços;
- As concentrações de CO, O₃, COV_T e os níveis de Temperatura e Humidade Relativa não se revelaram preocupantes. Mas a Temperatura poderá ser melhorada pela introdução de uma climatização adequada numa nova reabilitação dos sistemas de ventilação;
- O formaldeído atingiu um valor significativo no Anfiteatro II, superior ao imposto pela legislação. Neste caso particular urge a remodelação do pavimento degradado desta sala de aula;
- As bactérias e fungos tomaram valores excessivos respectivamente em cinco e em oito dos 15 espaços avaliados. As bactérias mais comuns foram as Gram (+), devido à ocupação humana. As estirpes *Cladosporium* sp e *Penicillium* sp foram as mais comuns entre os fungos detectados, podendo estar relacionadas com os problemas de humidade presentes no DEM.

Exigindo, portanto, a elaboração de um PAC-QAI pelo responsável do DEM, para obter o CE. Pode-se ainda sensibilizar os ocupantes para esta temática da QAI, de forma a serem mais interventivos em todo o processo de melhoria.

Para isso é importante que os ocupantes consigam perceber a baixa QAI. No entanto, os questionários revelaram que os alunos têm uma maior percepção da situação

térmica do espaço do que da sua humidade ou da sua baixa QAI, tornando-se mais importante a instalação de sensores da concentração de CO₂. Pode-se ainda descobrir que os sintomas mais sentidos foram a garganta seca ou rouca e a tosse.

Trabalhos futuros

Como já foi referido, requer-se uma ventilação adequada dos espaços. Uma boa estratégia seria implementar sistemas de ventilação mistos (híbridos), recorrendo à combinação das forças naturais e dos sistemas mecânicos [38]. Esta combinação pode ser efectuada quando:

- O sistema de ventilação mecânica trabalha ao mesmo tempo que as janelas abertas do mesmo espaço;
- O sistema de ventilação mecânica trabalha alternadamente com a ventilação natural das janelas;
- O sistema de ventilação mecânica existe num espaço, enquanto a ventilação natural existe noutro.

Para que este sistema seja bem dimensionado importa fazer um estudo aprofundado da solução mais viável tendo em conta as várias variáveis em questão, nomeadamente as desvantagens da ventilação natural: ruído exterior, poeiras, correntes de ar e excessos de humidade.

A abordagem dos sintomas dos estudantes pode não ser conclusiva, exigindo um estudo mais aprofundado e considerando todas as variáveis e salas de aulas, para atingir uma maior representatividade da amostra. Neste estudo, poder-se-ão incluir também outras salas de aulas de outros departamentos para averiguar a veracidade destas observações a outros estabelecimentos de ensino semelhantes.

Referências Bibliográficas

- [1] Salthammer T (2011). *Critical evaluation of approaches in setting indoor air quality guidelines and reference values (Review)*. Chemosphere 82: 1507-1517.
- [2] Cheong KW, Chong KY (2001). *Development and application of an IAQ audit to an air-conditioned building in Singapore*. Building and Environment 36: 181-188.
- [3] Yu BF, Hu ZB, Liu M, Yang HL, Kong QX, Liu YH (2009). *Review of research on air-conditioning systems and indoor air quality control for human health*. International Journal of Refrigeration 32: 3-20.
- [4] Jones AP (1999). *Indoor air quality and health*. Atmospheric Environment 33: 4535-4564.
- [5] EPA (2009). *Indoor air quality tools for schools – Reference Guide*.
- [6] Cheong KWD, Lau HYT (2003). *Development and application of an IAQ audit to an air-conditioned tertiary institutional building in the tropics*. Building and Environment 38: 605-616.
- [7] Mendell MJ, Heath GA (2005). *Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature*. Indoor Air 15: 27-52.
- [8] Wargocki P, Sundell J, Bischof W, Brundrett G, Fanger PO, Gyntelberg F, Hanssen SO, Harisson P, Pickering A, Seppanen O, Wouters P (2002). *Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN)*. Indoor Air 12: 113-128.
- [9] d’Ambrosio FR et al (2010). *Ambiente Interior e Eficiência Energética nas Escolas – 1ª Parte: Princípios*. Guia REHVA n.13.
- [10] Tippayawong N, Khuntong P, Nitatwichit C, Khunatorn Y, Tantakitti C (2009). *Indoor/outdoor relationships of size-resolved particle concentrations in naturally ventilated school environments*. Building and Environmental 44: 188-197.
- [11] Agência Portuguesa do Ambiente (2010). *“Qualidade do Ar em Espaços Interiores – Um Guia Técnico”*. Amadora, Portugal.
- [12] Bluysen PM (2009). *Towards an integrative approach of improving indoor air quality*. Building and Environment 44: 1980-1989.
- [13] Seppanen O, Fisk WJ (2002). *Relationship of SBS symptoms and ventilation system type in office buildings*. Indoor Air 12: 98-112.

- [14] Costa J (2011). “*Equipamentos e Sistemas de AVAC mais relevantes para a QAI*”. Curso SCE, Módulo RSECE-QAI, capítulo 7.1. FCTUC & ADAI, Portugal.
- [15] Daisey JM, Angell WJ, Apte MG (2003). *Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: analysis of existing information*. Indoor Air 13: 53-64.
- [16] Lee SC, Chang M (2000). *Indoor and outdoor air quality investigation at schools in Hong Kong*. Chemosphere 41: 109-113.
- [17] Theodosiou TG, Ordoumpozanis KT (2008). *Energy, Comfort and IAQ in nursery and elementary school buildings in the cold climatic zone of Greece*. Energy and Buildings 40: 2207-2214.
- [18] Godwin C, Batterman S (2007). *IAQ in Michigan schools*. Indoor Air 17: 109-121.
- [19] Shendell DG; Prill R; Fisk WJ (2004). *Associations between classroom CO₂ concentrations and student attendance in Washington and Idaho*. Indoor Air 14:333–41.
- [20] Madureira J, Alvim-Ferraz MCM, Rodrigues S, Gonçalves G, Azevedo MC, Pinto E, Mayan O (2009). *IAQ in Schools and Health Symptoms among Portuguese Teachers*. Human and Ecological Risk Assessment 15: 159–169.
- [21] Seppanen OA, Fisk WJ, Mendell MJ (1999). *Association of ventilation rates and CO₂-concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings*. Indoor Air 9: 226-252.
- [22] Fraga S, Ramos E, Martins A, Samúdio MJ, Silva G, Guedes J, Fernandes EO, Barros H (2008). *Qualidade do ar interior e sintomas respiratórios em escolas do Porto*. Revista Portuguesa de Pneumologia v. 14: n. 4, Lisboa.
- [23] Pegas PN, Evtyugina MG, Alves CA, Nunes T, Cerqueira M, Franchi, M, Pio CA, Almeida SM, Freitas MC (2010). *Indoor air quality in elementary schools of Lisbon in spring*. Environmental Geochemistry and Health 33.
- [24] Asadi E, Costa JJ, Silva MG (2011). *Indoor air quality audit implementation in a hotel building in Portugal*. Building and Environment 46: 1617-1623.
- [25] Rodrigues A (2010). *Análise à Qualidade do Ar Interior nas bibliotecas do Pólo II da Universidade de Coimbra*. Tese de Mestrado em Tecnologia e Gestão do Ambiente, Engenharia do Ambiente. Departamento de Engenharia Mecânica – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Portugal.
- [26] Cartaxo N (2009). *Auditoria à QAI em edifícios: Departamento de Engenharia Mecânica da FCTUC*. Tese de Mestrado em Tecnologia e Gestão do Ambiente,

- Engenharia do Ambiente. Departamento de Engenharia Mecânica – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Portugal.
- [27] A.R. Oliveira, A.T. Perez, A. Morais (2007). *Indoor air quality in Portugal: technical, institutional and policy challenges in the implementation of the directive on the energy performance of buildings*. *Air Pollution* 15: 571-578.
- [28] ADENE. *Aplicabilidade da Legislação Comunitária à Certificação Energética e Ar Interior em Edifícios Portugueses (Directiva 2002/91/CE)*. http://www.adene.pt/ADENE/Canais/SubPortais/SCE/Legislacao/Comunitaria/Directiva+Comunit%C3%A1ria+2002_91_CE.htm. Acedido em 5 de Abril de 2011.
- [29] ADENE. *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios – Qualidade do Ar Interior: Perguntas & Respostas*. Versão 2.0 de Maio de 2011
- [30] Santamouris M, Synnefa M, Assimakopoulos M, Livada I, Pavlou K, Papaglastra M, Gaitani N; Kolokotsa D, Assimakopoulos V (2008). *Experimental investigation of the air flow and indoor carbon dioxide in classrooms with intermitente natural ventilation*. *Energy and Buildings* 40: 1833-1843.
- [31] Abreu J (2009). *“Auditoria à Qualidade do Ar Interior num grande edifício de serviços”*. Tese de Mestrado em Tecnologia e Gestão do Ambiente, Engenharia do Ambiente. Departamento de Engenharia Mecânica – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Portugal.
- [32] ADENE (2009). *“Nota Técnica NT-SCE-02 – Metodologia para auditorias periódicas de QAI em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE”*. Portugal.
- [33] Listagem das fontes das partículas segundo a sua dimensão, acedido em http://www.engineeringtoolbox.com/particle-sizes-d_934.html, no dia 6 de Junho de 2011.
- [34] A origem da estirpe Cladosporium sp, <http://www.emlab.com/app/fungi/Fungi.po?event=fungi&type=primary&species=13&name=Cladosporium>. Acedido em 13 de Julho de 2011.
- [35] A origem da estirpe Penicillium sp. <http://www.emlab.com/app/fungi/Fungi.po?event=fungi&type=primary&species=26&name=Penicillium>. Acedido em 13 de Julho de 2011.
- [36] ISO 7730:2005. *Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. CEN European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

- [37] Silva MG, Costa JJ, Ramos EP (2011). *On the definition of ventilation requirements in IAQ standards – a method based on emission rates of pollutants*. CLIMAMED cycle of conferences.
- [38] Ianniello E (2011). *Ventilation systems and IAQ in school buildings*. REHVA Journal, 26-29.
- [40] Gameiro M (2011). “*A poluição no ambiente interior*”. Curso SCE, Módulo RSECE-QAI, capítulo 2. FCTUC & ADAI, Portugal.
- [41] Costa J (2011). “*Caracterização microbiológica do ar interior*”. Curso SCE, Módulo RSECE-QAI, capítulo 5. FCTUC & ADAI, Portugal.
- [42] Curtiss P, Breth N (2002). *Chapter 14 – Air-Handling Units, in HVAC instant answers*. McGraw-Hill Professional 14: 371-382.
- [43] Pinho A (2002). “*Definição de rotinas de manutenção na Perspectiva da Qualidade do Ar Interior*”. Tese de Mestrado em Terologia Aplicada aos Sistemas AVAC. Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. Citado em Rodrigues A (2010), “*Análise à Qualidade do Ar Interior nas bibliotecas do Pólo II da Universidade de Coimbra*”. Tese de Mestrado em Tecnologia e Gestão do Ambiente, Engenharia do Ambiente. Departamento de Engenharia Mecânica – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Portugal.
- [44] Pinho A (2009). “*Auditoria da Qualidade do Ar Interior no Edifício Central da FCTUC*”. Departamento de Engenharia Mecânica – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Portugal. Citado em Rodrigues A (2010), “*Análise à Qualidade do Ar Interior nas bibliotecas do Pólo II da Universidade de Coimbra*”. Tese de Mestrado em Tecnologia e Gestão do Ambiente, Engenharia do Ambiente. Departamento de Engenharia Mecânica – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Portugal.

Legislação

ASHRAE (2007). *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, Standard 62.1. Atlanta.

CEN EN 779 (2002). *New European Standard for Coarse and Fine Filters*.

Directiva Comunitária 2002/91/CE de 16 de Dezembro.

Decreto-Lei n 78/2006 de 4 de Abril. “Diário da República, N 67 – 1ª Série – A”.
Aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior (SCE).

Decreto-Lei n 79/2006 de 4 de Abril. “Diário da República, N 67 – 1ª Série – A”.
Aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização em Edifícios
(RSECE).

Decreto-Lei n 80/2006 de 4 de Abril. “Diário da República, N 67 – 1ª Série – A”.
Aprova o Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios
(RCCTE).

ANEXO A – Glossário

Dióxido de Carbono (CO₂) – gás incolor, inodoro, insípido e não inflamável. A sua presença em ambientes interiores não industriais deve-se principalmente à respiração humana e ao fumo de tabaco. Alguns processos de combustão (fogões de cozinha, esquentadores, lareiras, etc.) podem também estar na sua origem. Não é tóxico, mas pode provocar asfixia se em concentrações muito elevadas, como asfixiante secundário, por substituição do oxigénio, provocando dores de cabeça, desconforto, sensação de “ar pesado” e até mesmo irritação [40].

A concentração de CO₂ gerado pelos ocupantes dos diferentes espaços é habitualmente utilizada como primeiro indicador da qualidade do ar interior ou da eficiência do sistema de ventilação [32]. A taxa de produção desse gás resulta do maior ou menor número de ocupantes presentes, e do respectivo metabolismo.

Partículas suspensas no ar (PM₁₀) – partículas suspensas no ar com diâmetro inferior a 10 µm. Relativamente à QAI não se consideram partículas acima de 10 µm, pois estas não conseguem permanecer em suspensão no ar. Provêm de várias origens, sobretudo de combustões, arrastamento de materiais pulverulentos (tapetes, carpetes, cortinados, etc.), desgaste ou fraccionamento de materiais em processos tecnológicos (corte de pedra, extracção mineira, demolições, etc.) [40]. Podem afectar a asma, diminuir as funções pulmonares, originar problemas respiratórios e de bronco-constricção. Bronquite crónica em casos de exposição prolongada [10].

Monóxido de Carbono (CO) – gás incolor, inodoro, insípido, altamente tóxico. Provocado nomeadamente por combustões incompletas de combustíveis fósseis, fumo do tabaco, fumo de escape de veículos. A hemoglobina tem uma afinidade cerca de 200 vezes maior pelo CO do que pelo Oxigénio, impedindo o transporte deste até aos tecidos humanos, o que pode ser fatal [40].

Ozono (O₃) – é um gás irritante para as vias respiratórias. A exposição a concentrações superiores a 0,12 ppm provoca alterações da função pulmonar. Para concentrações relativamente baixas (60-80ppb) pode causar inflamações, broncoconstricção e

hipersensibilidade das vias respiratórias. É libertado no interior dos edifícios, sobretudo por fotocopiadoras, impressoras a laser e equipamentos de alta voltagem ou radiação ultra-violeta [40].

Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) – são gases de composição orgânica que podem ser emitidos por determinados sólidos e líquidos à temperatura ambiente, devido à sua facilidade em passar ao estado gasoso. Os COVs são uma grande família de compostos, tais como o tolueno, benzeno, percloroetileno, éter, etc., que provocam efeitos de curto ou longo prazo. Estão relacionados com os sintomas de irritação ocular e do tracto respiratório alto, rinites, congestão nasal, náuseas, vómitos, dispneia, etc. À semelhança da sua variedade, as suas fontes também são diversas, como sejam, produtos de higiene pessoal, produtos de limpeza doméstica e de tratamento de móveis, líquidos para limpeza a seco, materiais de construção, móveis, colas, vernizes, tintas, solventes, produtos de impressão, fotocópias, etc e, por isso, podem ser encontrados em todos os ambientes interiores. O conceito de COVs totais está a ser abandonado, pois a toxicidade individual dos gases é muito variável e o valor obtido depende muito da técnica de medida [10], embora ainda seja utilizado neste estudo.

A quantidade de COVs emitidos é mais intensa, quando a aplicação dos materiais de construção é mais recente diminuindo com o decorrer do tempo. Estes compostos possuem uma volatilidade elevada, induzindo a sua libertação ao longo do tempo para o ar.

Formaldeído (HCHO) – composto orgânico volátil incolor mas com um forte odor, de fácil detecção pelo homem e de elevado potencial cancerígeno. Muito usado antigamente em produtos de construção, no entanto actualmente o que se utiliza são resinas à base de formaldeído (e.g. em contraplacados de madeira, espumas isolantes, telas, revestimentos de móveis, papel de fotocópia, etc.). Para concentrações baixas, provoca irritações nos olhos, nariz e garganta, lacrimação; queimaduras no nariz, tosse, espasmos bronquiais, irritação pulmonar e dermatite [15].

Os materiais mais recentes registam as emissões mais elevadas, devendo-se à presença nestes de moléculas de formaldeído livre [44]. Quanto mais alta for a Temperatura e a Humidade Relativa do espaço, mais altas serão as emissões de formaldeído [9].

Bactérias e Fungos – São organismos de dimensão microscópica, praticamente omnipresente na Natureza, que podem provocar doenças ao homem. Estes podem ser do tipo comensais, patogénicos ou oportunistas. Os fungos do exterior são a maior fonte de contaminação do interior. Os mais comuns são *Cladosporium spp*, *Penicillium Alternaria spp*, *Aspergillus spp*. No que diz respeito às bactérias, as mais comuns no interior são os *coccus Gram (+)* e têm geralmente origem nas pessoas. Os *Micrococcus spp*, os *Staphylococcus spp* e os *Streptococcus spp* isolados no interior têm geralmente origem nas secreções orais e nasais dos ocupantes, bem como na pele e nos cabelos [41]. Deve-se ter um especial cuidado em locais de elevada humidade, pois é propício para a proliferação destes seres. Uma especial atenção deve ser dada também à *Legionella pneumophila*, pois é uma bactéria patogénica que ocorre em zonas de reduzida circulação de água com temperaturas inferiores a 60°C (reservatórios de água, torres de arrefecimento, tubagens de redes prediais, pontos de extremidade das redes pouco utilizadas, fontes ornamentais, tanques recreativos, etc.) e que por meio de aerossóis pode atingir os pulmões, provocando a conhecida Doença dos Legionários.

Sistemas AVAC – conjunto de sistemas integrado na estrutura de um edifício que engloba os sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado, ou seja, são sistemas que permitem criar conforto térmico (controlo da temperatura e humidade relativa), fornecer ar exterior aos ocupantes, remover odores e poluentes, através da ventilação e filtragem adequadas, e fazer o controlo da pressão entre os espaços interiores [9, 11]. Existem diferentes tipos consoante o fluido que é utilizado (água e/ou ar, fluidos térmicos ou refrigerantes primários como fluidos auxiliares), a abrangência do local que é afectado pelos sistemas (individualmente, semi-centralizado ou centralizado) e essencialmente consoante o objectivo que se pretende atingir com a sua instalação, caso seja para apenas arrefecer uma arca frigorífica industrial ou aquecer/arrefecer um espaço de ocupação humana num clima habitualmente frio/quente. Uma boa projecção e funcionamento destes sistemas contribuem largamente para o conforto dos ocupantes dos espaços, no que se refere ao conforto térmico e à qualidade do ar interior, pois mantêm a elevada humidade, certos organismos e químicos afastados [14].

Unidade de Tratamento de Ar (UTA) – consiste numa unidade do sistema de AVAC que permite o acondicionamento e circulação de ar, permitindo o controlo da pressão

dos espaços interiores. Normalmente, é estruturada numa caixa metálica que contém um ventilador mecânico, elementos/baterias de aquecimento e de arrefecimento, elementos de filtragem, atenuadores acústicos e grelhas de admissão e saída. Liga-se às condutas AVAC para distribuir o ar condicionado pelo edifício e extraí-lo dos seus espaços interiores. O seu funcionamento pode ser efetuado em caudal de ar constante (CAC) ou em caudal de ar variável (CAV) que gera para as condutas. Quanto aos espaços que serve, as UTAs podem ser classificadas em unizona e multizona consoante se trate de apenas um local ou de vários locais climatizados. As grandes UTAs que regulam 100% de ar novo do exterior para o interior, sem aproveitamento do ar recirculado, são as UTAs de ar novo ou UTANs [42].

Ar condicionado: forma de climatização que permite controlar a temperatura, a humidade, a qualidade e a velocidade do ar num local [43].

Ar exterior: ar exterior ao espaço ou local climatizado [43].

Ar de extracção: ar que é extraído do local pelo sistema de climatização [43].

Ar de infiltração: ar exterior que penetra no local climatizado de forma “natural”, por força das diferenças de pressão que se estabelecem entre o exterior e o interior e nas diferentes faces da envolvente, em função da sua orientação relativa à direcção do vento [43].

Ar de insuflação: ar que é introduzido pelo sistema de climatização no local climatizado [43].

Ar interior: ar no interior do espaço ou local climatizado [43].

Ar de rejeição: ar que é extraído do local pelos sistemas de climatização e que é lançado no exterior [43].

Ar de retorno: ar de extracção que é reintroduzido no sistema [43].

Ar novo: ar exterior que é introduzido no sistema de climatização para renovação do ar do local com fins de higiene e de salvaguarda da saúde dos ocupantes [43].

ANEXO B – Questionário da ADAI

Questionário sobre o Conforto Térmico e a Qualidade do Ar Interior

Introdução: O presente questionário insere-se num estudo de avaliação do Conforto Térmico e da Qualidade do Ar Interior nos edifícios. Para além da caracterização do(a) trabalhador(a) e do seu local de trabalho, pretende-se obter um conjunto de informações relacionadas com o ambiente térmico e a qualidade do ar interior. Todas as respostas são rigorosamente confidenciais e anónimas.

Data: ___/___/___

Hora: ___ : ___

❖ 1. Características pessoais

†

1.1 - Sexo:

- Feminino
 Masculino

1.2 - Idade:

- 18 a 25 anos
 26 a 35 anos
 36 a 45 anos
 46 a 55 anos
 Mais de 55 anos

1.3 - Fumador:

- Sim
 Não

1.4 - No último semestre, sentiu alguns destes sintomas:

- Irritação no nariz
 Tosse
 Garganta seca ou rouca
 Ardor ou irritação dos olhos

❖ 2. Características do local de trabalho

2.1 - Há quantos anos trabalha neste edifício

- Menos de 1 ano
 1 a 3 anos
 3 a 5 anos
 5 a 10 anos
 10 a 20 anos
 Mais de 20 anos

2.2 - Numa semana típica, quantas horas permanece no seu local de trabalho?

- Até 10
 10 a 30
 Mais 30

2.3 - Qual a localização do seu posto de trabalho?

Piso _____ Bloco _____ Sala /Gabinete/Secção _____

2.4 - O seu local de trabalho apresenta envidraçados/janelas para o exterior?

- Sim
 Não

2.5 - Se sim, qual a sua orientação?

- Norte
 Sul
 Este
 Oeste

2.6 - Qual das seguintes opções descreve o seu local de trabalho?

- Escritório fechado, privado
 Espaço aberto, sem divisões
 Escritório fechado, partilhado com outras pessoas
 Outro

2.7 - Qual o tipo de climatização do seu local de trabalho?

- Ar condicionado centralizado
 Sistema de aquecimento central
 Outro
 Ar condicionado local
 Aquecedor portátil

2.8 - Considera-o eficaz?

- Sim
 Não, porquê? _____



❖ **3. Avaliação do ambiente interior**

3.1 - Dos seguintes problemas relacionados com o ambiente interior, diga quais se fizeram sentir no seu local de trabalho, no último semestre:

	Sim, com frequência	Sim, algumas vezes	Não
Ar seco	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ar pesado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Poeiras no ar interior	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ambiente térmico frio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ambiente térmico quente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Variações de temperatura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Correntes de ar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ruído	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Odores desagradáveis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Outro _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3.2 - Considera que, em termos globais, a sua produtividade é afectada negativamente

- pela falta de qualidade do ar interior:
 - Sim
 - Não
- pela falta de conforto térmico:
 - Sim
 - Não

3.3 - No seu local de trabalho, como considera

- a qualidade do ar interior:
 - Globalmente aceitável
 - Globalmente inaceitável
- o conforto térmico:
 - Globalmente aceitável
 - Globalmente inaceitável

3.4 - Qual a estação do ano em que sente pior qualidade do ambiente interior?

- Primavera
- Verão
- Outono
- Inverno

3.5 - Assinale na escala seguinte, a posição que melhor representa a sua sensação neste momento

muito frio	frio	ligeiramente	nem frio nem	ligeiramente	quente	muito quente
		frio	quente	quente		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3.6 - Este estado é...?

confortável	ligeiramente	desconfortável	desconfortável	muito desconfortável
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3.7 - Neste momento, preferia estar ...?

muito mais	mais frio	um pouco	nem mais frio nem	um pouco	mais quente	muito mais quente
frio		mais frio	mais quente	mais quente		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3.8 - Como sente que é, neste momento, o movimento do ar interior?

muito fraco	fraco	ligeiramente	aceitável	ligeiramente	forte	muito forte
		fraco		forte		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3.9 - Qual a sua sensação, neste momento, em relação à humidade do ar?

ar muito seco	ar seco	ligeiramente	aceitável	ligeiramente	ar	ar muito
		seco		húmido	húmido	húmido
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tem algum comentário ou recomendação adicional a fazer sobre o seu local de trabalho ou o edifício, no seu global?

Agradecemos a sua participação neste questionário!



ANEXO C –Fotografias da Visita Preliminar



Figura C.1 – Presença de bolor à entrada da Sala de Computadores da Biblioteca.



Figura C.2 – Presença de bolor no Lab. de Ecologia Industrial.



Figura C.3 – Presença de bolor no Anfiteatro I.



Figura C.4 – Infiltrações na Sala de Estudo da Biblioteca.



Figura C.5 – Partículas acumuladas nos estores.



Figura C.6 – Grelha de extracção danificada na Sala de Computadores da Biblioteca.



Figura C.7 – Infiltrações nas paredes exteriores.



Figura C.8 – Sujidade do interior da UTA da Biblioteca.



Figura C.9 – Sifão mal dimensionado da UTA da Biblioteca.



Figura C.10 – Sinais de ferrugem no tabuleiro dos condensados das UTAs da Biblioteca e do Auditório.



Figura C.11 – Partículas acumuladas nas grelhas de insuflação da Sala de Leitura da Biblioteca.



Figura C.12 – Registos de infiltrações no tecto à entrada da Sala de Reuniões a Este.



Figura C.13 – Infiltrações junto das grelhas de insuflação de ar novo na Sala de Leitura da Biblioteca.



Figura C.14 – Pavimento degradado do Anfiteatro II.

ANEXO D – Equipamentos para as medições^[31]



Figura D.1 – Medidor de CO₂, O₃, CO e COV_{Totais} DirectSense IAQ IQ610 Graywolf



Figura D.2 – Medidor de partículas LightHouse Handheld 3016 IAQ



Figura D.3 – Detector de formaldeído Riken Keiki, HCHO Detector FP 30



Figura D.4 – Medidor da concentração de CO₂ Sensotron PS32



Figura D.5 – Amostrador microbiológico de ar SAS SUPER IAQ

Quadro D.1 – Características dos equipamentos de medição^[31]

Tipo	Poluente / Parâmetro	Equipamento	Gama	Precisão	Resolução	Método
Físicos	Temperatura	GrayWolf DirectSense IQ-610	-10 a 70 °C	±0,3 °C	0,1 °C	Sonda resistiva Pt100
	Humidade Relativa (HR)		0 a 100 %	±2%HR, < 80%HR; ±3%HR, > 80%HR;	0,01%HR	Sonda capacitiva
Químicos	Partículas suspensas no ar (PM ₁₀)	LightHouse Handheld 3016 IAQ	Limite máx.: 1,4×10 ⁸ partículas/m ³ @ 5% de perdas por coincidência Tamanhos: 0,3-10 um	Eficiência de contagem: 50%@ 0,3µg; 100%, para partículas > 0,45 µm	0,01 mg/m ³	Método de contagem de partículas com díodo Laser. Aspiração com sonda isocinética (2,83 L/min), recolha em filtro interno HEPA (>99.997% @ 0.3 µm).
	Dióxido de Carbono (CO ₂)	Sensotron PS32	0 a 5.000 ppm	± 10 + 3 % do valor medido	1 ppm	Infra-vermelho não dispersivo (NDIR)
		GrayWolf DirectSense IQ-610	0 a 10.000 ppm	±3% do valor lido ±50 ppm	1 ppm	Infra-vermelho não dispersivo (NDIR)
	Monóxido de Carbono (CO)		0 a 500 ppm	±2ppm, <50ppm; ±3% vl, >50ppm	0,1 ppm	Electroquímico
	Ozono (O ₃)		0 a 1 ppm	...	0,01 ppm	Electroquímico
	Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COV _t)		20 to 20.000 ppb	...	1 ppb (Lim. detecção: <20 ppb)	Detector de foto ionização (PID) com lâmpada de 10,6 eV. Calibração padrão para isobutileno.
Formaldeído (HCHO)	Riken Keiki, HCHO Detector FP 30	0 a 1 ppm	0,08 ppm	0,01 ppm	Fotometria fotoelétrica, usando uma tablete para detecção	
Microbiológicos	Bactérias	SAS SUPER IAQ cod. 90593	(Aerobiocolector com caudal de aspiração constante de 100 L/min)	Colheitas em duplicado de 250 L de ar (2,5 min), com impacto directo em Tryptone Soya Agar (TSA). Suporte: placas Petri de 90 mm diâmetro. Incubação a 35-37 °C, durante 48 h.
	Fungos			Colheitas em duplicado de 250 L de ar (2,5 min), com impacto directo em Malt Extract Agar (MEA). Suporte: placas Petri de 90 mm diâmetro. Incubação a 22-25°C, durante 4 dias.

Anexo E – Tabelas dos Resultados das campanhas de medições

Quadro E.1 – 1ª Campanha

Zona	Fase/Corp o/Piso	Descrição	Área (m ²)	Ocup. max.	Nº ocup	Data	Íncio (h)	PM ₁₀ (mg/m ³)	CO ₂ (mg/m ³)	CO (mg/m ³)	O ₃ (mg/m ³)	HCOH (ppm)	COV _T (mg/m ³)	Bactérias (UFC/m ³)	Fungos (UFC/m ³)	T (°C)	HR (%)
								L _{reg} =0,15	L _{reg} =1800	L _{reg} =12,5	L _{reg} =0,2	L _{reg} =0,08	L _{reg} =0,6	L _{reg} =500 e >300 Ext	L _{reg} =500	L _{ref} =23-26	L _{ref} =30-70
Ext	Junto à palmeira	---	---	---	---	18.05	14h45	0,068		1,1	0	0,05	0,02			28,1	58,9
						19.05	14h48/57	0,036		0,9	0	0,05	0,00	26	413	34,1	42
						20.05	14h15	0,038		0,4	0	0,06	0,00			27,7	53,35
						23.05	14h42	0,067		0,6	0	0,025 (nº0.008)	0,58			29,5	56,5
						24.05	10h12	0,143		0,9	0	---	0,66			26,4	61,3
A	1ª/N/2	Anfiteatro II	68,8	67	27	19.05	10h20	0,150	10420	1,3	0	0,09	0,02	482	> 628	26,50	75
		Bar	221	130	35	19.05	13h55	0,113	4456	1,3	0	<0,01	0	458	406	26,4	64,1
						19.05	14h26	0,128	4389	1,35	0		0	250	204	26,25	62,85
		Cozinha	38,5	3	1	19.05	12h05	0,082	2806	1,9	0	<0,01	0			27,5	64,8
B	1ª/S/2	Laboratório de Ecologia Industrial	63,8	17	7	20.05	15h58	0,035	2215	0,4	0	<0,01	0			27,3	58,25
		Laboratório de Transmissão de Calor	56,3	2	3	20.05	16h03	0,034	823	0,4	0		0			27	57,7
C	1ª/N/3	SA 3.1 - NEEMAAC	40,6	17	7	18.05	15h48	0,220	2689	1	0	<0,01	0			27,2	64,1

		SA 3.3	51,1	37	28	19.05	09h54	0,089	2599	0,9	0	<0,01	0,03	416	500	25,5	69,4
		SA 3.2	51,1	36	25	23.05	15h18	0,116	5418	0,8	0		0,73			28,8	64,6
D	1º/N/3	Secretaria	68,8	6	5	20.05	10h54	0,036	1514	0,8	0	<0,01	0			26,9	55,8
		Contabilidade	23,7	7	3	20.05	14h35	0,028	1486	0,5	0		0			28	54,2
		Reprografia	24,8	10	3	19.05	10h49	0,059	1522	0,2	0	<0,01	0	186	350	25,4	60,4
E	1º/N/3	Anfiteatro I (redondo)	87	92	36	24.05	9h51/ 9h59	0,272/ 0,142	3594	1	0		0,81			27,3	62,3
F	1º/N/3	Auditório	171	169	36	19.05	11h18	0,124	2244	0,8	0	<0,01	0	368	218	26,1	60,6
G	1º/N/3	Sala de Trabalhos	104	35	6	20.05	12h07	0,053	3117	0,7	0	<0,01	0			26,5	60,5
H	1º/N/3	Biblioteca - sala de leitura	233,1	84	29	18.05	15h27	0,112	2882	1	0	<0,01	0			27,9	62,1
					25	18.05	16h05	0,041	2765	1,3	0	<0,01	0			27,1	63,1
		Biblioteca - Sala de Computadores	63,3	19	2	18.05	16h20	0,041	3352	1	0	<0,01	0			27	62,4
		Biblioteca - recepção	80,2	1	3	18.05	16h35	0,059	806	1,3	0	<0,01	0			27,4	62,1
		Biblioteca- Sala de estudo	55,1	18	3	19.05	11h43	0,010	2980	0,9	0	<0,01	0	54	78	26,55	59,35
I	1º/N/4	SA 6.2	100,4	69	28	20.05	12h32	0,077	7310	0,7	0	<0,01	0			27,0	67,9
		SA 6.4	105,4	68	30	19.05	16h56	0,137	2739	0,7	0		0	612	628	27,0	68,1

		Sala de Projectos	51	38	12	20.05	11h31	0,068	6055	0,5	0		0			25,6	68,5
		Sala de Informática II	78	30	21	23.05	14h30	0,088	1798	1	0		0,72			26,7	64,2
					22	23.05	17h11	0,102	1604	0,6	0		0,48				
		SA 6.3 - GTR	105,4	61	44	20.05	12h48	0,088	3915	0,6	0		0			27,4	62,4
J	1º/N/4	Informática	70,8	5	3	19.05	15h26	0,031	2347	1,2	0	<0,01	0	110	124	26,7	51,6
K	1º/N/4	Sala de Reuniões Este	35,2	26	10	18.05	17h18	0,079	4031	0,7	0	<0,01	0			27,2	68,1
		Sala de Reuniões Este			2	19.05	15h49	0,019	4325	0,6	0	<0,01	0	64	118	26,6	59,9
		Gabinete Técnico	17,2	3	3	20.05	16h47	0,049	1010	0,3	0		0			28,0	55,9
L	2º/S/1	Lab. Climatização e Ambiente-S1	211,0	6	3	23.05	11h22	0,041	913	0,6	0		1,28			23,9	65,9
		Lab. Climatização e Ambiente-S2	211,0	5	2	23.05	11h28	0,032	1040	0,6	0		1,19			24,35	64,1
		Lab. Termodinâmica - S2	309,7	11	7	20.05	15h13/25	0,038	1181	0,5	0	<0,01	0			26,9	56,5
						20.05	18h38	0,051	937	0,3	0		0			24,9	63,6
		Lab. Flúidos - Cubículo	154,0	2	2	20.05	14h52	0,038	1042	0,5	0	<0,01	0			27,4	55,8
M	2º/S/1	Sala de Reuniões Sul	46,6	15	5	20.05	11h45	0,052	2086	0,4	0	<0,01	0			26,1	58,1
		Gab. MG	46,6	11	3	20.05	16h15	0,025	1757	0,5	0		0			27,7	56,3
N	2º/S/2	Gab. RM	15,0	4	3	20.05	14h45	0,049	1026	0,4	0		0			27,5	56,6
		Gab. RF	15,0	3	2	23.05	11h37	0,101	1790	0,7	0		1,235			24,9	66,2
		Secretaria ADAI	32,5	4	4	19.05	17h27	0,111	1439	0,7	0	<0,01	0	616	> 628	27,5	62,4
O	2º/N/2	Sala Pós-Graduação	17,6	19	6	18.05	15h02	0,044	396	0,9	0	<0,01	0,01			27,8	61,9

		Gab. R	74,2	5	1	23.05	10h59	0,038	1567	0,7	0		1,35			24,8	63,2
P	2º/N/3	Gab. DR	11,5	2	2	19.05	16h35	0,082	988	0,75	0	<0,01	0	Crescimento Confluente	> 628	27,4	64,9
		Gab. M	11,5	3	3	20.05	09h47	0,249	1034	1,3	0		0			24,7	65,8
Q	2º/N/3	Gab. Professores M	34	5	6	18.05	17h52	0,093	909	0,6	0	<0,01	0			27,6	64,2
		Gab. de Investigação M	44,5	10	8	19.05	18h09	0,042	3014	1,2	0	0,02	0	410	> 628	28,4	62,1
		Raio-X e Análises Térmicas	44,5	8	4	18.05	18h07	0,033	886	0,8	0		0			28	59,8
R	2º/N/3	Sala de Informática	41,2	4	3	20.05	09h56	0,013	780	0,40	0,00	0,02	0			25,4	48,8
		Gab. De Investigação I	49,0	10	6	19.05	17h50	0,046	1320	0,70	0,00	<0,01	0	220	> 628	27,25	63,2
S	2º/N/4	Gab. CS	8,8	2	2	23.05	10h49	0,055	1229	0,90	0,00		1,46			24,5	64,2
		Gab. RL	8,8	2	2	23.05	10h17	0,067	1324	0,70	0,00		2,19			23,7	68,9
		Gab. BT	8,8	6	5	19.05	16h15	0,15	1934	0,70	0,00	<0,01	0	248	> 628	26,7	62,9
T	2º/N/4	Lab. Robótica II	51,2	10	3	18.05	16h54	0,064	1434	0,7	0	<0,01	0			27,7	60,9
		Sala de Pós-Graduação_Rob.	29,1	9	4	18.05	17h10	0,032	4832	0,95	0		0			27,2	69,4
U	2º/N/4	Lab. Controlo e Gestão	19,4	5	2	23.05	10h37	0,070	844	0,65	0		1,75			24,2	66,6

Quadro E.2 – 2ª Campanha

Zona	Descrição	Ocup. max. (*)	Nº ocup.	Data	Ínicio (h)	PM10 (mg/m3)	CO2 (CCII)	HCOH (ppm)	COV _T (mg/m3)	T (°C)	HR (%)
						L _{reg} =0,15	L _{reg} =2700	L _{reg} =0,08	L _{reg} =0,6	L _{ref} =23-26	L _{ref} =30-70
Ext	---	---	---	08.06	13h50		---		0,04	23,4	37,9
				09.06	16h24	0,043	---	0,04	0,22	21,3	61,2
				13.06	14h47		---		0,23	25,3	61,2
				14.06	11h04		---		0,00	23,8	55,9
A	Anfiteatro II	67	1	09.06	12:14	0,053		0,10	0,08	24,8	46,7
					12:29	0,050					
					12:43	0,047		0,09			
					12:50	0,048					
					12:59	0,045					
					16:46	0,029					
					16:56	0,042					
					17:02	0,047					
	Bar	130		08.06	13h56						
Cozinha	3	2	14.06	09h26		1349					
B	Laboratório de Ecologia Industrial	17	5	08.06	15h20		1366			25,6	37,9
D	Secretaria	6	2	09.06	14h38		1294				
E	Anfiteatro I (redondo)	92	1	09.06	11:20	0,063			0,08	24,7	46,1
					11:32	0,039					
					11:40	0,025					

					11:47	0,018					
					11:56	0,017					
					12:06	0,015					
F	Auditório	169									
G	Sala de Trabalhos	35	6	13.06	16h20		1951		0,13	25,5	56,8
H	Biblioteca - sala de leitura	84									
	Biblioteca - Sala de Computadores	19	3	13.06	15h06		5601		0,17	26,0	58,2
	Biblioteca- Sala de estudo	18	8	08.06	16h25		2425			27,1	39,4
I	SA 6.4	68	47	13.06	09h20		1328			25,1	59,2
J	Informática	5	3	13.06	11h40		1979			24,8	55,4
K	Sala de Reuniões Este	26									
L	Lab. Climatização e Ambiente- S1	6									
	Lab. Climatização e Ambiente- S2	5									
N	Gab. RF	3	2	13.06	15h46		1672		0,17	26,3	53,4
O	Gab. R	5									
Q	Gab. de Investigação M	10	8	09.06	17h25		1354		0,49	25,3	51,6
S	Gab. JC	3	2	14.06	10h51				0,00	25,7	56,1
	Gab. RL	2	2	14.06	10h19				0,00	25,3	54,6

	Gab. BT	6	2	14.06	09h56		2717			24,5	61,4
T	Sala de Pós-Graduação	9	4	09.06	10h04		2207			25,0	47,3
U	Lab. Controlo e Gestão	5	1	09.06	09h50				0,15	22,30	51,72

ANEXO F – Distribuição de partículas no Anfiteatro II

