

## **Mestrado integrado em Engenharia do ambiente**

Dissertação de Mestrado em Tecnologia e Gestão de Ambiente



## **Auditoria à qualidade do ar do DEM-FCTUC**

e proposta de correcção do sistema de climatização do Anfiteatro I

**Natanael José Basílio Cartaxo**

### **Júri**

Presidente: Prof. Doutor António Rui de Almeida Figueiredo

Orientadores: Prof. Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar

Prof. Doutor José Joaquim Costa

Vogal: Prof. Doutor Manuel Carlos Gameiro da Silva

**Agosto 2008**

"A dúvida é o princípio da sabedoria."

*Aristóteles*

## *Agradecimentos*

Apesar deste ser sem sombra de dúvida, o trabalho mais pessoal da minha vida académica até à data, reúne vários contributos, sem os quais a sua realização não seria possível.

Em primeiro lugar agradeço, aos meus orientadores, Professor Doutor Adélio Gaspar e Professor Doutor José Costa, por todo o tempo que despenderam comigo, pela sua partilha de conhecimento, orientação e apoio. O seu contributo foi fundamental. Aos Professores, Doutor Manuel Gameiro, Doutor Virgílio Oliveira e ao Engenheiro Mário Mateus, pelo equipamento que cederam com gentileza. Ao Engenheiro Moniz e aos funcionários do DEM, fica também aqui uma palavra de apreço, por sempre se mostrarem disponíveis a colaborar. Aos colegas do DEM que responderam aos questionários, fica o meu agradecimento pela colaboração e tempo despendido.

Agradeço aos meus colegas e amigos, que se encontraram igualmente a trabalhar nas suas dissertações no Laboratório de Ecologia Industrial, por me deixarem usufruir do seu espaço, pela companhia e boa disposição que sempre demonstraram. Sem eles, este último mês e meio teria sido no mínimo, monótono.

Por último agradeço aos amigos (todos) e família, irmão e especialmente aos meus pais, que me puderam proporcionar estes cinco anos em Coimbra.

A todos os acima mencionados, um Muito Obrigado!

## *Resumo*

A exposição a elevadas concentrações de poluentes em ambientes interiores pode ter origem em ventilação deficiente, bem como nas pobres condições higiénicas dos equipamentos AVAC e na sua manutenção inadequada, podendo provocar impactes adversos na saúde dos ocupantes dos edifícios. O Decreto-Lei nº79/2006 de 4 de Abril surge na sequência desta crescente preocupação e aprova o novo Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), que além de actuar sobre a vertente energética, define requisitos mínimos em relação à QAI, estando a sua aplicação a todos os edifícios prevista para 1 de Janeiro de 2009.

É neste contexto que surge este estudo, que teve como objectivo a realização de uma auditoria geral à QAI ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (DEM-FCTUC) e uma análise de correcção do sistema de climatização que serve o Anfiteatro I, que apresentava um funcionamento deficiente. Para a descrição do trabalho realizado e a apresentação das conclusões, esta dissertação divide-se em 6 partes.

Um capítulo introdutório, onde se apresenta a pesquisa bibliográfica efectuada sobre estudos relativos à QAI e se descreve a legislação existente.

De modo a avaliar as condições de QAI no DEM-FCTUC, no capítulo 2 apresenta-se a inspecção visual realizada e as respostas dos alunos ao questionário elaborado. Da primeira destacam-se as pobres condições higiénicas observadas em alguns espaços, e do questionário denota-se a satisfação da maioria dos alunos em relação à QAI e conforto térmico;

No terceiro capítulo apresentam-se os resultados obtidos na monitorização realizada, concluindo-se que a concentração de CO<sub>2</sub> em salas de aula facilmente excede o limite legal, contrastando com a de partículas suspensas no ar (PM), onde tal não se verificou;

O capítulo 4 compreende uma análise ao sistema de climatização do Anfiteatro I, com vista a reduzir o nível de ruído, ao mesmo tempo que se estudam as diferentes condições de insuflação de ar novo. Como conclusão, retira-se que, para as frequências de funcionamento do sistema de 35Hz e 30Hz, e com a admissão de retorno da UTA ¼ aberta, os requisitos de caudal de ar novo são cumpridos (93% e 84% de ocupação do anfiteatro respectivamente) e o nível de ruído é sensivelmente diminuído. Contudo, níveis de ruído ideais só poderão ser conseguidos com a instalação de um atenuador acústico;

Um esboço de um Plano de Manutenção Preventiva (PMP) é apresentado no quinto capítulo, onde se descrevem as tarefas de manutenção a realizar, assim como a sua periodicidade;

No último capítulo expõem-se as principais conclusões retiradas desta dissertação.

## *Abstract*

Exposure to high concentrations of indoor pollutants can come from insufficient ventilation, as well as poor hygienic conditions of the building's HVAC systems and their inadequate maintenance, which can cause adverse impacts on the occupants' health. The "Decreto-Lei no. 79/2006 de 4 de Abril", comes in light of this growing concern and approves the new "Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios" (RSECE), which in addition to act in the energy strand of the buildings, sets minimum requirements for the IAQ, being its application to all buildings scheduled for January 1<sup>st</sup> of 2009.

It's in this context that this study appears, being its goal the realization of an IAQ audit to the "Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra" (DEM – FCTUC) and an analysis and correction of the climatization system that serves the Amphitheatre I, which presented deficiencies while operating. In order to describe the written work and present its conclusions, this thesis is divided in 6 parts.

One initial chapter, that presents the bibliographic research related to IAQ studies and describes the existent legislation;

In order to evaluate the IAQ conditions on DEM-FCTUC, in chapter 2 is presented the effectuated visual inspection and the answers of the students to a prepared questionnaire. From the first type of evaluation, its stands out the poor hygienic conditions observed in some areas, and the questionnaire shows up the satisfaction of the majority of students in what concerns the IAQ and thermal comfort;

In the third chapter are presented the obtained results from the CO<sub>2</sub> and Particulate Mater (PM) monitoring in the classrooms, concluding that CO<sub>2</sub> concentration easily exceeds the legal limit, contrasting with the PM, where that didn't happened;

Chapter four comprehends one analysis to the climatization system of the Amphitheatre I, aiming the reduction of the noise levels, at the same time that different fresh air flows conditions are studied. As result it was concluded that for 35Hz and 30Hz operating frequencies and with the return air flow admission from the Air Treatment Unit (ATU) ¼ open, the fresh air flows requirements are respected (93% and 84% of the amphitheatre occupation, respectively) and the noise levels are slightly diminished. However, ideal noise levels are only achieved with the installation of an acoustic attenuator;

A sketch of a Preventive Maintenance Plan (PMP) is presented in the fifth chapter, where the maintenance tasks to be held are presented, as well as their periodicity;

In the last chapter are exposed the main conclusions taken from this theses.

## Índice

<i>Agradecimentos</i> .....	ii
<i>Resumo</i> .....	iii
<i>Abstract</i> .....	iv
<i>Índice</i> .....	v
<i>Índice de Tabelas</i> .....	vii
<i>Índice de Figuras</i> .....	viii
<i>Lista de abreviaturas</i> .....	x
<i>Capítulo 1 – Introdução</i> .....	1
1.1 Generalidades .....	1
1.2 Motivação /Objectivos.....	4
1.3 Estrutura do Trabalho .....	4
<i>Capítulo 2 – Descrição e caracterização do edifício</i> .....	6
2.1 Descrição geral do edifício .....	6
2.2 Inspeção visual às instalações.....	8
2.3 Questionário aos ocupantes do edifício .....	12
<i>Capítulo 3 – Avaliação da qualidade do ar interior</i> .....	17
3.1 Metodologias e equipamentos .....	18
3.2 Monitorização dos parâmetros físicos, químicos e discussão de resultados .....	18
3.2.1 Sala 3.4 .....	18
3.2.2 Sala 6.4 – Primeiro ensaio .....	20
3.2.3 Sala 6.4 – Segundo ensaio .....	22
3.2.4 Sala de informática II .....	23
3.3 Notas conclusivas .....	25
<i>Capítulo 4 – Caracterização e correcção do sistema do Anfiteatro I</i> .....	27
4.1 Caracterização do sistema .....	27
4.2 Medições de ruído .....	28
4.3 Verificação dos caudais de ar novo necessários à luz da nova regulamentação .....	31
4.4 Proposta de Correcção .....	39
4.5 Notas conclusivas .....	42
<i>Capítulo 5 - Esboço de plano de manutenção</i> .....	44
5.1 Esboço do Plano de Manutenção Preventiva .....	44
<i>Capítulo 6 – Conclusões gerais</i> .....	47

6.1 Conclusões.....	47
6.2 Sugestões para trabalhos futuros .....	48
<i>Referências Bibliográficas</i> .....	49
<i>Anexos</i> .....	53
Anexo A .....	54
Anexo B.....	56
Anexo C.....	59
Anexo D.....	63
Anexo E.....	71

## *Índice de Tabelas*

Tabela 4.1 – Características da UTA do Anfiteatro I.....	28
Tabela 4.2 – Nível sonoro Leq (A) nos diferentes pontos do anfiteatro, com o sistema desligado.....	29
Tabela 4.3 – Nível sonoro contínuo equivalente ponderado A para as diferentes frequências de funcionamento do sistema .....	30
Tabela 4.4 – Necessidades de ar novo insuflado para diferentes taxas de ocupação do Anfiteatro I .....	35
Tabela 4.5 - Concentração de equilíbrio associada aos caudais de ar novo insuflados e diferentes taxas de ocupação (admissão de retorno ¼ aberta).....	36
Tabela 4.6 – Velocidade de rotação do motor e do ventilador da UTA .....	40
Tabela 4.7 – Relação de transmissão a aplicar .....	41
Tabela 4.8– Diâmetros das polias do motor e do ventilador para $i = 2,4$ e $i=2$ .....	42
Tabela A.1 – Concentrações máxima de referência de poluentes no interior dos edifícios existentes de acordo com o RSECE (Anexo VII).....	54
Tabela A.2 – Caudais mínimos de ar novo de acordo com o RSECE (Anexo VI).....	55
Tabela D.1 – Quadro IV do Anexo do Decreto-Lei 129/2002[no que se refere ao artigo 7.º, nº1, alínea f)].....	66
Tabela D.2 – Valores de Pressão dentro do anfiteatro I para a situação inicial e para a relação de transmissão recomendada.....	70



## *Índice de Figuras*

Figura 2.1 – Vista aérea do DEM – FCTUC (Google Earth, Julho 2008) .....	6
Figura 2.2 – Presença de bolor na sala 6.1 (esq.) e mancha de humidade na sala de informática I (dir.) (27-03-2008).....	9
Figura 2.3 – Presença de bolor e manchas de humidade nas instalações sanitárias (esq.) e nos corredores do piso 1 (dir.) (27-03-2008).....	10
Figura 2.4 – Torres de arrefecimento: Modelo TLA – 13 da Uniclimate em más condições de limpeza (esq.) e modelo ZEM 1000s da Zephyr (dir.) (01-07-2008) .....	10
Figura 2.5– Presença de ninhos de pássaro na sala da UTA do Anfiteatro I (esq.) e sujidade da conduta de retorno da UTA (dir.) (27-05-2008).....	11
Figura 2.6- Sala da UTA do Auditório (esq.) e sala da UTA que serve a biblioteca (dir.) .	11
Figura 2.7- Respostas à questão 1 do questionário.....	13
Figura 2.8- Respostas à questão 2 do questionário.....	13
Figura 2.9- Respostas à questão 3 a) do questionário .....	14
Figura 2.10 - Respostas à questão 3 b) do questionário .....	14
Figura 2.11– Respostas à questão 3 c) do questionário.....	15
Figura 2.12– Respostas à questão 4 a) do questionário.....	15
Figura 2.13– Resposta à questão 4 b) do questionário .....	16
Figura 3.1– Evolução da concentração de CO <sub>2</sub> na sala 3.4 (20-05-2008).....	20
Figura 3.2– Evolução da concentração de CO <sub>2</sub> na sala 6.4 (27-05- 2008).....	21
Figura 3.3 – Evolução da concentração de CO <sub>2</sub> na sala 6.4 (25-06 2008) .....	23
Figura 3.4 – Evolução da concentração de CO <sub>2</sub> na sala de informática II (12-06- 2008)...	24
Figura 3.5 – Evolução da concentração de partículas suspensas na sala de informática II (12-06- 2008).....	25
Figura 4.1 – Pontos de medição de ruído. Pontos de 1 a 3 (esq), pontos de 4 a 6 (dir) .....	29
Figura 4.2 – Esquema de um compartimento uni – zona com taxas constantes de produção de poluente e renovação de ar (Costa, 2008a).....	31
Figura 4.3 – Nove pontos utilizados para a medição da velocidade de entrada da admissão de ar novo na UTA .....	33
Figura 4.4 – Caudal de ar novo insuflado para as várias condições de retorno.....	34
Figura 4.5 – Evolução da concentração de CO <sub>2</sub> para os diferentes caudais de ar novo insuflados (taxa de ocupação de 100%) .....	37

Figura 4.6 - Evolução da concentração de CO <sub>2</sub> para os diferentes caudais de ar novo insuflados.....	38
Figura 4.7 - Evolução da concentração de CO <sub>2</sub> para os diferentes caudais de ar novo insuflados.....	38
Figura 4.8 - Esquema das polias do motor e ventilador da UTA.....	40
Figura B.1 - Conduita de retorno (esq) e secção de filtragem do Anfiteatro I (dir) (15-05-2008).....	56
Figura B.2 - Filtros da UTA do apoio informático (esq) e da UTA da biblioteca (dir) (15-05-2008).....	56
Figura B.3 - Presença de humidade e bolor na entrada para a sala de trabalho da biblioteca (esq) e num dos corredores do 4º piso (dir) (27-03-2008).....	56
Figura C.1- Medidor de CO <sub>2</sub> Fluke 975 Air Meter (Fluke, 2008).....	59
Figura C.2 - Medidor de partículas Lighthouse Worldwide solutions, modelo 3016 (Zefon, 2008).....	59
Figura C.4 - Evolução de temperatura e humidade relativa na sala 3.4 (20-05-2008).....	60
Figura C.4 - Evolução da temperatura e humidade relativa na sala 6.4 (27-05-2008).....	60
Figura C.5 - Planta da sala 6.4.....	61
Figura C.6 - Evolução da temperatura e humidade relativa na sala 6.4 (25-06-2008).....	61
Figura C.7 - Evolução da temperatura e humidade relativa na sala de informática II (12-06-2008).....	62
Figura D.1 - Planta do sistema de climatização do Anfiteatro I. 1 – Grelha de insuflação, 2 – grelhas de extracção.....	63
Figura D.2 - Planta do sistema de climatização do Anfiteatro I 1-Conduita de insuflação, 2 – conduita de retorno, 3 – conduita de ar novo.....	63
Figura D.3 - Sonómetro Brüel Kjaer 2260 – Investigator (Landscentret, 2008).....	64
Figura D.4 - Multifunções da TESTO, Modelo 445 (ECSE, 2008).....	64
Figura D.5 - Melhor aproximação aos níveis de ruído para as diferentes frequências de funcionamento.....	64
Figura D.6 – Espectro de bandas de 1/3 de oitava para o ruído de funcionamento do sistema a 30Hz.....	66
Figura D.7 – Melhor aproximação às velocidades de rotação do motor.....	67
Figura D.8 – Melhor aproximação à velocidade de rotação do ventilador.....	67
Figura D.9 – Planta do Anfiteatro I.....	68
Figura D.10 – Corte A – A’ referente ao Anfiteatro I.....	69

## *Lista de abreviaturas*

ADENE – Agência para a Energia

AVAC – Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado

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

IGAOT – Inspeção-Geral do Ambiente e Ordenamento do Território

PACQAI – Plano de Acções Correctivas da Qualidade do Ar

PM – Partículas Suspensas no Ar

PMP – Plano de Manutenção Preventiva

QAI – Qualidade do Ar Interior

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

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

UTAs – Unidades de Tratamento do Ar

# Capítulo 1 – Introdução

## 1.1 Generalidades

Actualmente a maior parte das populações industrializadas passam grande parte do seu tempo em ambientes interiores (Heudorf *et al.*, 2007), chegando-se mesmo a estimar, que a maior parte das pessoas passe cerca de 90 % nesta situação e apenas 10% do tempo em ambientes exteriores (Tippayawong *et al.*, 2008). Esta realidade tem contribuído para a preocupação crescente em relação à Qualidade do ar Interior (QAI), que se tem vindo a notar na última década (Cheong e Lau, 2003).

Alguns estudos (Montgomery e Kalman *in* Lee e Chang, 2000) apontam para que alguns poluentes atmosféricos se encontrem numa concentração mais elevada em ambientes interiores, do que no exterior. Parece ser o caso do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que no interior de edifícios se encontra intimamente ligado com a respiração humana, e com tal, com a taxa de ocupação. Elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> em edifícios, podem ser um indicador de fraca ventilação e renovação de ar, contribuindo também para o aparecimento de sintomas adversos na saúde humana, (Santamouris *et al.*, 2008). O “síndrome de edifício doente” é a designação dada a um destes impactes, e caracteriza-se pelo aparecimento num número considerável de ocupantes de um edifício, de um conjunto de sintomas tais como: náuseas, letargia ou irritação da pele (Gupta *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2007). Outro poluente comum em ambientes interiores com efeitos danosos na saúde humana, nomeadamente no sistema respiratório e cardiovascular (WHO, 2006), é a concentração de partículas em suspensão no ar (PM - Particulate Mater). A concentração de partículas em ambientes interiores, pode ter origem no exterior, devido ao tráfego, actividades de construção e combustão industrial (Heudorf *et al.*, 2007) ou mesmo no interior do próprio espaço (Braniš *et al.*, 2005), onde se encontra associada principalmente ao acto de cozinhar e fumar (Wallace *et al. in* Heudorf *et al.*, 2007: 2). Em ambientes interiores, como escritórios, ou casas onde não existe uma fonte de contaminação de PM específica (como fumo de tabaco ou combustão de combustíveis) a principal fonte, está ligada à actividade dos ocupantes (Tippayawong *et al.*, 2008). Cabelos, fibras da roupa, células epiteliais, ou mesmo a acção de caminhar que dispersa partículas depositadas, contribuem para a presença de PM<sub>10</sub>, (Braniš *et al.*, 2005). O indicador PM 10 (partículas de tamanho menor

que 10 $\mu$ m) é usual nos sistemas de monitorização QAI (Qualidade do Ar Interior) (WHO, 2006).

É neste contexto que surge o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei nº79/2006 de 4 de Abril, que revê o Decreto-Lei 118/98, de 7 de Maio, que substitui o Decreto-Lei 156/92, de 29 de Julho, e que transpõe para a legislação nacional, a Directiva nº. 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Além de actuar sobre o âmbito do consumo energético, o regulamento surge também, como contraponto à quase inexistência de requisitos mínimos de caudais de renovação de ar e de manutenção adequada dos sistemas de climatização. A nível da QAI, os requisitos exigenciais apresentados no artigo 4º do Decreto – Lei nº79/2006 para a obtenção de um certificado QAI no Sistema Nacional de Certificação Energética e Qualidade do Ar Interior em Edifícios (SCE), são a definição de concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios existentes, definidas no Anexo VII, e valores mínimos de renovação de ar em espaços do edifício em função da sua utilização, descritos no Anexo VI, e a ser aplicados durante a fase do projecto (Artigo 29º, ponto 1). Os primeiros parâmetros encontram-se apresentados na Tabela A.1 do Anexo A e os segundos na Tabela A.2 do mesmo anexo. O Decreto – Lei nº79/2006 define ainda outros requisitos da QAI no artigo 29º, como:

1. 500 unidades formadoras de colónias (UFC), como concentração máxima de referência de fungos e bactérias;
2. 400 Bq/m<sup>3</sup> como valor limite de Rádion em edifícios estabelecidos em zonas graníticas (distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco);
3. Pesquisa de *Legionella* em amostras de água durante auditorias QAI a edifícios com sistemas de climatização onde exista a produção de aerossóis, nomeadamente, onde se encontrem torres de arrefecimento ou humidificadores por água líquida, ou sistemas de água quente para chuveiros, onde a temperatura se situe abaixo dos 60°C. Nestes casos o valor limite de 100 UFC não deverá ser excedido.

No que diz respeito aos requisitos de conforto térmico, utiliza-se até à publicação de portaria específica os mesmos valores definidos pelo artigo 28º do RCCTE, aprovado pelo Decreto – Lei 80/2006 de 4 de Abril.

O RSECE tem vindo a conhecer uma aplicação faseada, que se encontra calendarizada na Portaria 461/2007. Esta aplicação teve início em 2007 nos novos edifícios residenciais e

de serviços, passando em 2008 para os grandes edifícios de serviços existentes e estando previsto para Janeiro de 2009 o pleno funcionamento do SCE nos restantes edifícios, (Pinto, 2007).

Os proprietários do edifício, são os responsáveis pelo cumprimento das obrigações definidas, tanto no RSECE, RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios) e SCE, devendo solicitar um Perito Qualificado, que entrevem nos processos de certificação, auditoria e inspecção, que se encontram previstas na lei. É o Perito Qualificado que participa à Agência para a Energia (ADENE) as reclamações e incumprimentos do RSECE. As qualificações do Perito Qualificado incluem, especialistas em engenharia de climatização, engenheiros ou engenheiros técnicos do ambiente, mecânicos e químicos, com cinco anos de experiência profissional na área, devendo também ser reconhecidos pela respectiva ordem profissional. Segundo o artigo 12º – ponto 6, o não cumprimento dos requisitos, obriga à realização de um relatório de medidas correctivas a implementar e a uma nova auditoria. Se os prazos para a elaboração e apresentação do relatório às autoridades competentes definidos no artigo 12º – ponto 7 não forem respeitados e se as causas para a insuficiente QAI se deverem à falta de cumprimento das acções do PMP (plano de manutenção preventiva) (que passará a ser exigido), o proprietário do edifício ficará sujeito a sanções a ser aplicadas pela Inspeção-Geral do Ambiente e Ordenamento do Território (IGAOT). Por outro lado o trabalho realizado pelo Perito Qualificado é fiscalizado pela ADENE, a entidade gestora do SCE (ADENE, 2008).

O acto de auditar consiste numa verificação entre o que existe na realidade e o que efectivamente devia existir: Almeida (2007: 14). Segundo o artigo 12º, ponto 3 do Decreto-Lei nº79/2006, a metodologia das auditorias QAI, são definidas pelo SCE, com periodicidade e complexidade adequadas ao tipo e dimensão do edifício, estabelecidas, por portaria conjunta dos ministros responsáveis pelas áreas da economia, das obras públicas, do ambiente e do ordenamento do território e habitação. No entanto, até à saída desta portaria, a periodicidade das auditorias QAI, é definida no artigo 33º – ponto 1, que indica o período de dois em dois anos, no caso de edifícios e locais que funcionem como estabelecimento de ensino ou qualquer tipo de formação; de três em três anos no caso de edifícios ou locais que alberguem actividades comerciais, de turismo, de transportes, de actividades culturais, e escritórios similares; de seis em seis anos nos restantes casos.

## **1.2 Motivação /Objectivos**

Tendo em conta as consequências da contaminação de poluentes, verifica-se que uma boa QAI é então um factor importante na saúde dos ocupantes de um edifício. Em edifícios de ensino, como é o caso do Departamento de engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (DEM-FCTUC) (onde os ocupantes passam uma parte considerável do seu dia), uma boa QAI contribui para uma boa aprendizagem por parte dos alunos, além de beneficiar o trabalho dos funcionários e docentes (Cheong e Lau, 2003). Um conforto térmico aceitável também possui um efeito semelhante nos ocupantes deste tipo de edifício (Corgnati *et al.*, 2007).

O DEM – FCTUC é utilizado diariamente por alunos, funcionários e docentes, apresentando como principal fonte de climatização, um sistema centralizado, que influencia a QAI e o conforto térmico dos ocupantes. Também é do conhecimento dos utentes (especialmente dos docentes e funcionários) que a manutenção deste sistema, é praticamente inexistente, o que pode ter consequências ao nível da QAI, assim como ao nível dos consumos energéticos, redução de caudais de ar e avaria dos sistemas de ventilação (REHVA, 2007). É neste seguimento, que os responsáveis pela gestão do DEM – FCTUC, possuem o interesse de um estudo à QAI, especialmente agora que a legislação pretende que o SCE comece a ser aplicado a todos os edifícios a partir de Janeiro de 2009.

Neste sentido, o objectivo do presente trabalho consistiu na realização de uma auditoria à QAI no DEM – FCTUC, onde se pretendeu avaliar as condições de higiene e manutenção do principal sistema AVAC, avaliar os parâmetros físico e químicos de QAI (particularmente as PM e o CO<sub>2</sub>), e confrontar os resultados com o que vem referido na legislação, sugerindo-se no final um esboço de um PMP do edifício. Visto que o sistema que climatiza o Anfiteatro I não se encontra em funcionamento devido ao ruído provocado por este, foi proposto fazer uma análise do mesmo, e elaborar uma proposta de correcção. Com tal, este foi também um dos objectivos que se pretendeu assegurar neste trabalho.

## **1.3 Estrutura do Trabalho**

A presente dissertação é composta por seis capítulos. Os capítulos dois e três seguem as linhas gerais das metodologias de uma auditoria QAI encontradas na literatura da especialidade (Cheon e Chong, 2001; Cheong e Lau, 2003; THKSAR, 2003). Nos restantes deu-se destaque ao problema do Anfiteatro I e do Plano de Manutenção Preventiva do

sistema AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado). De seguida apresenta-se uma descrição do conteúdo de cada um.

1. Um primeiro capítulo introdutório, onde se efectua uma análise à legislação existente em termos de requisitos QAI, e onde se apresenta a motivação e objectivos propostos de trabalho;
2. O segundo capítulo refere-se à recolha de informação útil para a realização da auditoria, realizando-se uma análise aos projectos de arquitectura e dos sistemas de AVAC, de modo a conhecer-se o edifício e o seu sistema de climatização. Uma inspecção visual às instalações também foi efectuada, com o intuito de verificar as condições de higiene das instalações e detectar possíveis fontes de contaminação e áreas problemáticas. Por último também se apresenta neste capítulo os resultados de inquéritos QAI efectuados aos ocupantes, de modo a detectar-se possíveis queixas em relação à QAI e conforto térmico;
3. No terceiro capítulo procede-se a uma avaliação da QAI através da realização de ensaios de medição da concentração de CO<sub>2</sub> e PM em algumas salas do DEM discutindo e confrontando os resultados com os limites referidos na legislação;
4. O quarto capítulo é totalmente dedicado à análise do sistema de climatização do Anfiteatro I, efectuando-se uma caracterização do sistema e propondo-se uma correcção com vista a reduzir o ruído durante o seu funcionamento e assegurar o caudal mínimo de ar novo necessário a este espaço de acordo com o RSECE;
5. Já o quinto capítulo contempla a elaboração de uma proposta de um PMP da QAI, com a finalidade de descrever detalhadamente os procedimentos a aplicar aos diversos equipamentos constituintes do sistema de AVAC do DEM – FCTUC;
6. No sexto capítulo apresentam-se as conclusões gerais retiradas do trabalho realizado, bem como algumas sugestões para trabalho futuro.



## *Capítulo 2 – Descrição e caracterização do edifício*

Neste capítulo procede-se à recolha de informação prévia à análise dos parâmetros químicos e físicos da QAI. Esta recolha passa primeiro pelo estudo da arquitectura e do sistema de AVAC do edifício, depois por uma inspecção visual e finalmente por inquéritos realizados aos ocupantes. O objectivo geral desta recolha de informação é a avaliação das condições actuais do edifício a nível manutenção do sistema de climatização, e da identificação de possíveis espaços problemáticos em termos de QAI e conforto térmico.

### **2.1 Descrição geral do edifício**

Segundo Lamas (2008) a metodologia da auditoria QAI a edifícios existentes (como é o caso do DEM) compreende em primeiro lugar, a realização de considerações gerais, como a identificação, localização e caracterização do edifício.

O DEM – FCTUC é um edifício de ensino superior, de quatro pisos que se localiza no Pólo II da FCTUC em Coimbra, Portugal, mais concretamente na latitude 40°11'N e longitude 8°24'O, (Google Earth, 2008), que corresponde a um Zonamento Climático II – V2 Norte, de acordo com o Decreto-Lei 80/2006.



Figura 2.1 – Vista aérea do DEM – FCTUC (Google Earth, Julho 2008)

O arquitecto responsável pelo projecto (que data de 1992 e 1993) é Manuel Tainha, tendo contado com o apoio dos arquitectos Alexandre M. Pereira, Alberto Barradas e Ana C. Barras. Quanto à construção, esta data de 1994/1995, segundo o Professor Adélio Gaspar

(2008). No que diz respeito ao sistema de AVAC, este esteve a cargo do engenheiro Francisco Pinto Ferreira (Instituto dos Equipamentos Mecânicos) e data de Março 1993.

A avaliação da arquitectura do edifício e do projecto do projecto de equipamentos mecânicos, é importante para se compreender melhor a relação do sistema de AVAC e os seus espaços, nomeadamente localização das UTAS (Unidades de Tratamento de Ar), grelhas de admissão de ar novo, retorno e extracção (Cheong e Lau, 2003).

Através de visitas ao local, do estudo da memória descritiva do Projecto de Instalação de Equipamentos Mecânicos, e da análise das plantas, alçados e cortes do projecto de arquitectura do DEM – FCTUC a que se teve acesso, é possível elaborar a descrição que se segue.

O edifício é composto por quatro pisos:

1. No primeiro piso, situam-se laboratórios, além do parque de estacionamento de viaturas que possui ventilação;
2. No segundo piso encontra-se gabinetes de professores, laboratórios, o bar, o Anfiteatro II e as oficinas;
3. No terceiro piso existe o Auditório, o Anfiteatro I, a biblioteca, áreas administrativas e salas de aula;
4. O quarto piso possui, gabinetes de professores e salas de aula.

O sistema de AVAC instalado no edifício, apenas condiciona completamente com arrefecimento, aquecimento, ventilação, a biblioteca, o auditório, o Anfiteatro I e o apoio informático. As restantes zonas, como os gabinetes de professores, salas de aula e zonas administrativas, possuem apenas instalações de aquecimento. Na biblioteca, Auditório e Anfiteatro I, definiu-se uma solução “água-ar”. Nas salas de apoio informático, verifica-se uma instalação autónoma, própria para salas de computadores dotadas de pavimento flutuante.

No que diz respeito aos espaços destinados aos equipamentos AVAC, no piso um encontra-se as salas das unidades arrefecedoras de água, usualmente designadas de “chillers”. No piso dois encontram-se as oficinas, a sala das caldeiras, o condicionamento de ar do Anfiteatro I, o aquecimento da zona de apoio geral e serviços académicos, do Anfiteatro II e de dois laboratórios, além da extracção forçada da cozinha e instalações sanitárias. Já no piso três, encontra-se o condicionamento de ar do Auditório e da biblioteca (em salas independentes), o aquecimento das áreas administrativas e de apoio de funcionários, o aquecimento das salas de aula e a extracção forçada das instalações sanitárias. No quarto piso verifica-se a presença do condicionamento de ar do apoio

informático, o aquecimento de gabinetes e salas de aula e a extracção forçada das instalações sanitárias. A cobertura do edifício está equipada com ventiladores de extracção de ar.

Da análise dos projectos, constata-se que existem diferenças entre estes, e aquilo que existe realmente no edifício. O auditório, denominado grande anfiteatro nos projectos, tem uma lotação real de 144 e não de 120. Já o Anfiteatro I não possui uma lotação de 80, mas sim de 92 ocupantes. Também se verifica a existência de duas torres de arrefecimento no jardim do segundo piso, que por terem sido instaladas posteriormente não vêm referidas no projecto. Uma das torres é da marca Uniclima, modelo TLA – 13 e a restante pertence à marca Zephyer, modelo ZEM 1000s.

## **2.2 Inspeção visual às instalações**

Este passo de uma auditoria vem frequentemente referido em guias de certificação de qualidade do ar de alguns países e em artigos científicos relacionados com esta temática, como *Walkthrough Inspection*, (Cheong e Chong, 2001; Cheong e Lau, 2003; THKSAR, 2003). Diversos documentos (The Governmet of the Hong Kong Special Admistine Region, 2003; UHV, 2007), providenciam uma *checklist* de problemas a ser procurados, tanto nas salas mecânicas, como nas áreas ocupadas durante uma inspecção visual. Abaixo apresentam-se os problemas mais comuns indicadores de uma pobre QAI englobados nas *cheklists* encontradas durante a pesquisa bibliográfica.

- Odores desconhecidos
- Sujidade ou condições de falta de higiene (eg. excesso de pó)
- Crescimento de fungos visível, ou odores de bolor
- Manchas ou descoloração dos materiais do edifício
- Condições de higiene de equipamentos, como torres de arrefecimento e sifões de drenagem
- Ventilação inadequada
- Exaustão de ar inadequada
- Ventiladores bloqueados
- Grandes diferenças de temperatura
- Taxa de ocupação excessiva
- Filtros em más condições
- Presença de substâncias perigosas

- Salas mecânicas em condições de falta de higiene

Em relação à operação dos sistemas de AVAC, deve-se proceder à verificação de componentes, que necessitam de ser reparados, limpos, ou substituídos. Tendo em conta estes pontos, procedeu-se a uma inspeção visual das instalações do DEM – FCTUC, dialogando com os funcionários que são responsáveis pela manutenção dos equipamentos e conhecem mais que ninguém a realidade do edifício. A inspeção visual foi realizada na sua maioria no dia 27 de Março de 2008, tendo sido necessário realizar inspeções pontuais ao longo dos meses seguintes, de modo a complementar-se a informação.

A presença de manchas de humidade e bolor foi frequentemente encontrada nas paredes de diversos espaços do edifício, nomeadamente: em algumas salas de aula, na sala de trabalhos da biblioteca, no Anfiteatro I, nas instalações sanitárias e nos corredores; onde se verificaram os casos mais graves. As Figuras 2.2 e 2.3 ilustram alguns dos casos.



Figura 2.2 – Presença de bolor na sala 6.1 (esq.) e mancha de humidade na sala de informática I (dir.) (27-03-2008)



Figura 2.3 – Presença de bolor e manchas de humidade nas instalações sanitárias (esq.) e nos corredores do piso 1 (dir.) (27-03-2008)

A falta de condições de higiene e de limpeza, foi detectada nas salas da UTA da biblioteca, da UTA do Anfiteatro I, na sala da UTA da Biblioteca e nas torres de arrefecimento, particularmente a torre da Uniclíma, modelo TLA – 13 que data de 2002, que se encontra muito exposta às condições atmosféricas exteriores e à luz solar. As pobres condições higiénicas desta torre de arrefecimento, sobretudo no tabuleiro de condensados, justificam uma futura pesquisa de *Legionella*, tal como vem indicado no artigo 30º, ponto 9 do Decreto – Lei nº79/2006. A segunda torre, pertencente à marca Zephyer, modelo ZEM 1000s, encontra-se mais protegida e em melhores condições de limpeza. Na sala da UTA do Anfiteatro I encontram-se vestígios de animais, através da presença de dois ninhos de pássaros, um inclusive no topo da entrada de admissão de ar novo, o que torna a situação ainda mais grave. Presenciou-se ainda a existência de alguns furos na conduta de insuflação, que podem igualmente ter origem na actividade animal. Algumas das condutas também não se encontram muito limpas, nomeadamente a conduta de retorno e de insuflação.



Figura 2.4 – Torres de arrefecimento: Modelo TLA – 13 da Uniclíma em más condições de limpeza (esq.) e modelo ZEM 1000s da Zephyer (dir.) (01-07-2008)





Figura 2.5– Presença de ninhos de pássaro na sala da UTA do Anfiteatro I (esq.) e sujidade da conduta de retorno da UTA (dir.) (27-05-2008)

Nos problemas referentes há falta de espaço adequado, destaca-se as salas do terceiro piso e quarto piso, com elevada taxa de ocupação, em relação à área existente. Exemplos desta situação são a sala 3.4 de 52,5m<sup>2</sup>, que possui uma ocupação de 35 alunos, quando se encontra totalmente lotada (1,5m<sup>2</sup>/ocupante), e a sala 6.4 de 67,5m<sup>2</sup>, com uma densidade de ocupação de 1,1m<sup>2</sup>/ocupante, quando se encontra completamente lotada (60 alunos). Quanto à sala que serve o condicionamento de ar deste compartimento, verifica-se que o espaço necessário para a manutenção do equipamento é reduzido, não seguindo assim o artigo 19º, ponto 7 do Decreto – Lei nº79/2006.



Figura 2.6- Sala da UTA do Auditório (esq.) e sala da UTA que serve a biblioteca (dir.) (27-03-2008)

No que diz respeito à manutenção do sistema destaca-se o estado dos filtros das diversas UTAs. O filtro da UTA da biblioteca apresenta-se já um pouco negro, sugerindo uma prolongada utilização, tal como se pode ver na Figura B.2 do anexo B. A secção de filtragem do Anfiteatro I, apresenta-se em boas condições higiénicas e de limpeza,

contrastando com a secção de filtragem do apoio informático que evidencia já alguns sinais de degradação e sujidade, como se pode ver na Figura B.1 do Anexo B. Segundo informações prestadas pelos funcionários que se fizeram acompanhar durante a inspecção. O auditório do departamento sofreu uma operação de manutenção no mês de Março de 2008 de modo a repararem-se problemas de infiltrações e de condensações.

No Anexo B encontram-se mais exemplos demonstradores das condições de limpeza e higiene dos equipamentos de climatização e de alguns espaços dos edifícios, destacando-se o estado dos filtros das diferentes UTAs.

### **2.3 Questionário aos ocupantes do edifício**

No âmbito da auditoria, elaborou-se um questionário a ser respondido pelos utentes do DEM, com o objectivo de interpretar a opinião que os próprios ocupantes do edifício têm sobre a QAI e conforto térmico do edifício, identificando assim as principais queixas.

Em termos da QAI o questionário seguiu as linhas gerais do tipo de perguntas encontradas em questionários referentes a este género de problemas, (Andersson e Stridh, 1992; Reijula e Sundman-Digert, 2004). Em termos do conforto térmico, onde predominam as questões mais subjectivas, fez-se uma adaptação das questões dos questionários realizados pela ADAI sobre o estudo de conforto térmico. Uma cópia do questionário fornecido aos ocupantes pode ser encontrada no Anexo B. Importante referir que nas questões 1 e 2 o período mencionado foi o do semestre, por este abranger o tempo suficiente para se obter uma resposta ponderada por parte dos alunos que traduza o mais possível a realidade verificada no espaço, excluindo assim respostas baseadas em experiências pontuais (Andersson e Stridh, 1992).

O questionário foi entregue no dia 25 de Junho de 2008 a 41 alunos do primeiro ano de engenharia mecânica, que se encontravam a fazer exame de Desenho Técnico II na sala 6.1; uma sala não ventilada representativa das salas do piso 4 do departamento, onde grande parte dos alunos têm aulas. Apenas foram assinalados dois fumadores, não se fazendo por isso distinção entre fumadores e não fumadores. A seguir, encontram-se as respostas dos alunos às questões elaboradas.

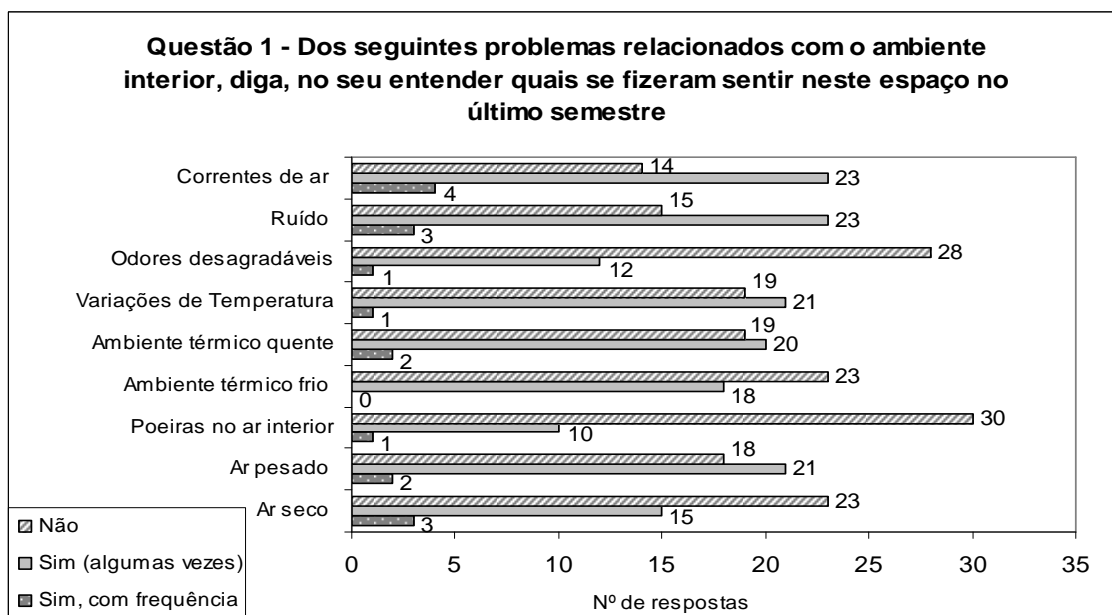


Figura 2.7- Respostas à questão 1 do questionário

Da análise da Figura 2.7, verifica-se que “odores desagradáveis”, “Ambiente térmico frio” e “Poeiras no ar interior” registam uma maioria de respostas negativas. Por sua vez os problemas identificados como: “correntes de ar”, “ruído”, “variações de temperatura” e “ar pesado” obtiveram uma maioria de respostas “sim”, demonstrando que foram sentidos, pelo menos uma vez, pelos alunos que indicaram a sua presença. As respostas “sim, com frequência” foram mínimas em todos os problemas indicados, tal como é visível na figura.

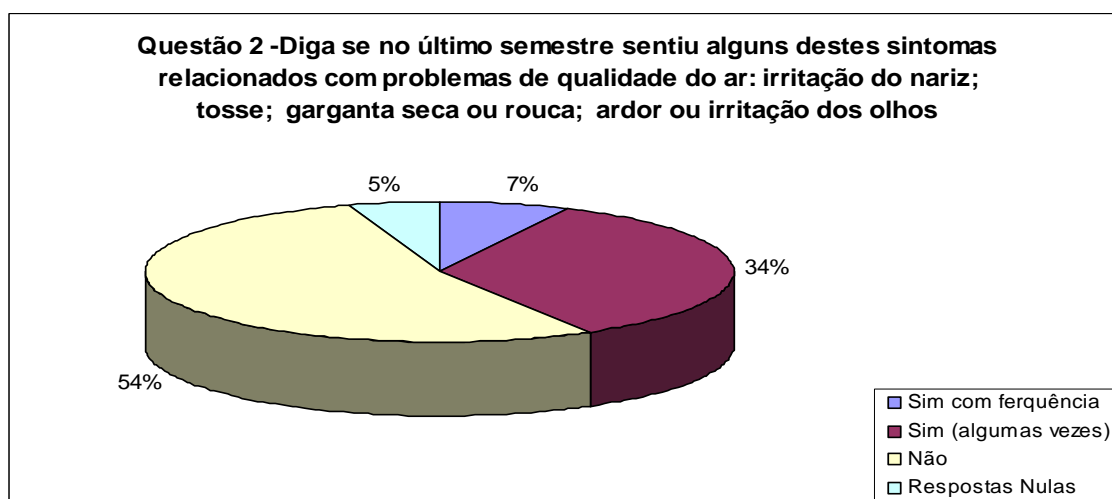


Figura 2.8- Respostas à questão 2 do questionário

No que diz respeito à questão 2 uma maioria de 54% dos alunos, respondeu não ter sentido no decorrer do semestre algum dos sintomas apresentados na questão. No entanto, ainda se verifica que, uma percentagem de 34% respondeu já ter sentido um destes sintomas



no decorrer do semestre. Somente 7% respondeu ter sentido com frequência estes sintomas no decorrer no semestre. De referir que se verificou a existência de 5% de respostas nulas nesta e nas seguintes questões do questionário. Em relação às questões mais subjectiva relacionadas com o ambiente térmico, observa-se na Figura 2.9 que uma maioria considerável (21 respostas) respondeu “Neutro”, como a melhor representação da sua sensação no momento. “Ligeiro/Quente” obteve o segundo maior número de respostas (15). Os resultados apresentados traduzem a não existência de desconforto em relação ao ambiente térmico, como se pode observar também pelas Figuras 2.10 2.11 referente à questão 3 b) e 3 c) respectivamente. “Frio” e “Muito frio” foram as únicas opções sem qualquer resposta.

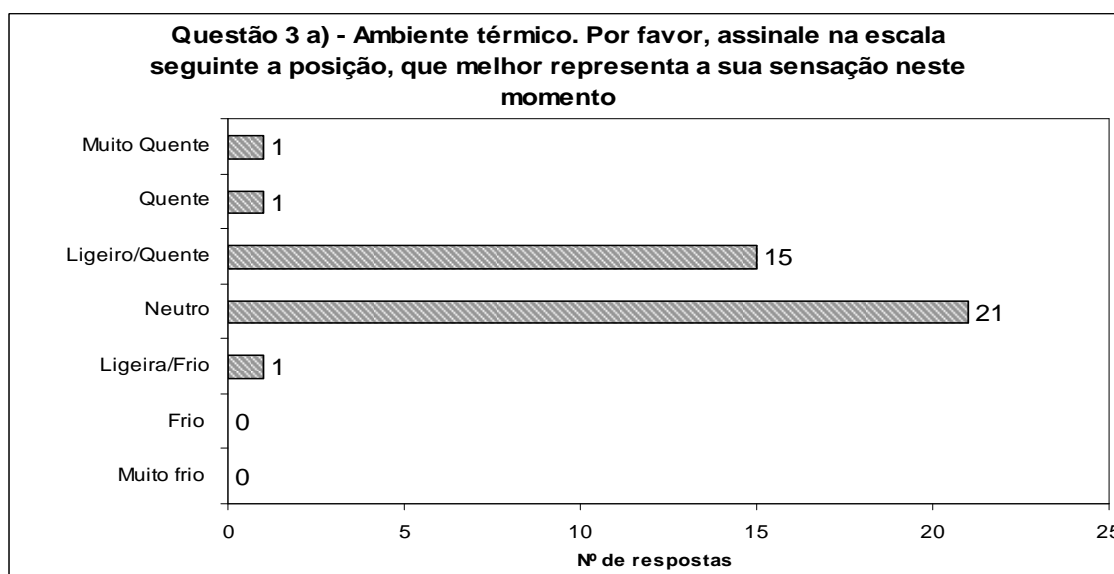


Figura 2.9- Respostas à questão 3 a) do questionário

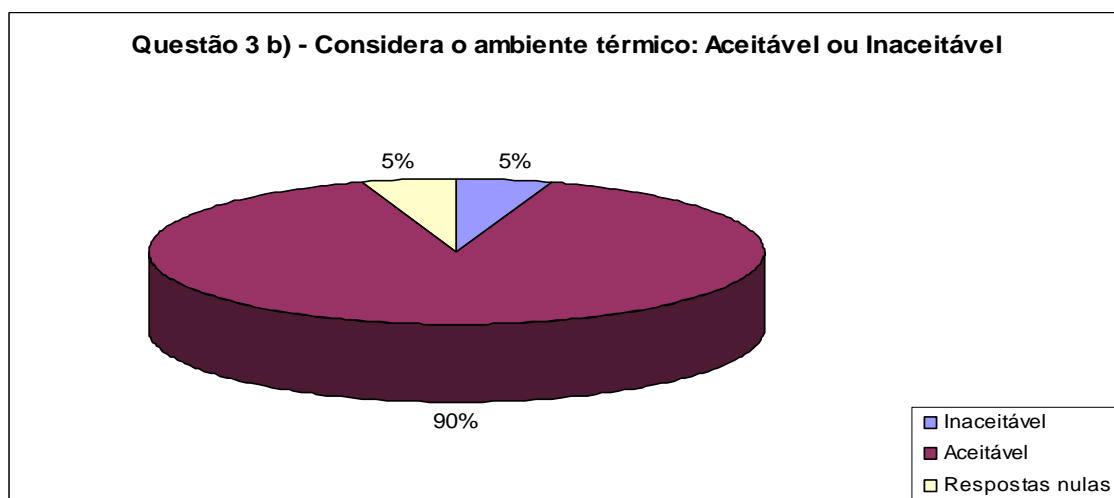


Figura 2.10 - Respostas à questão 3 b) do questionário

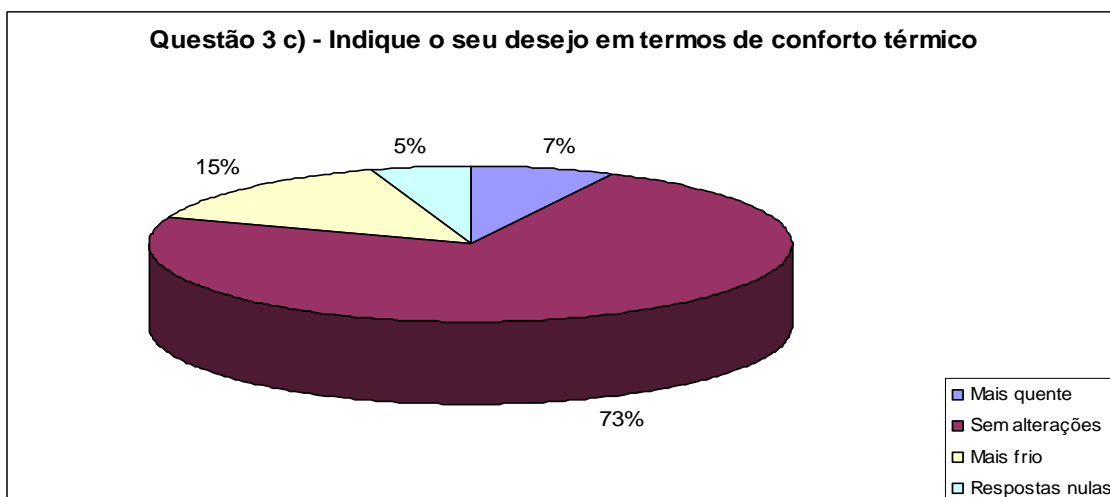


Figura 2.11– Respostas à questão 3 c) do questionário

Da Figura 2.10 observa-se que uma maioria de (90%) considera o ambiente térmico aceitável, e somente 5% inaceitável. A Figura 2.11 indica que 73% dos alunos que responderam ao questionário, não exprimem o desejo de qualquer mudança em relação ao conforto térmico. A resposta “Mais frio” foi a segunda a obter o maior número de indicações (15%). As questões 4 a) e a 4b) referem-se ao sentimento e desejo dos ocupantes em relação ao movimento de ar.

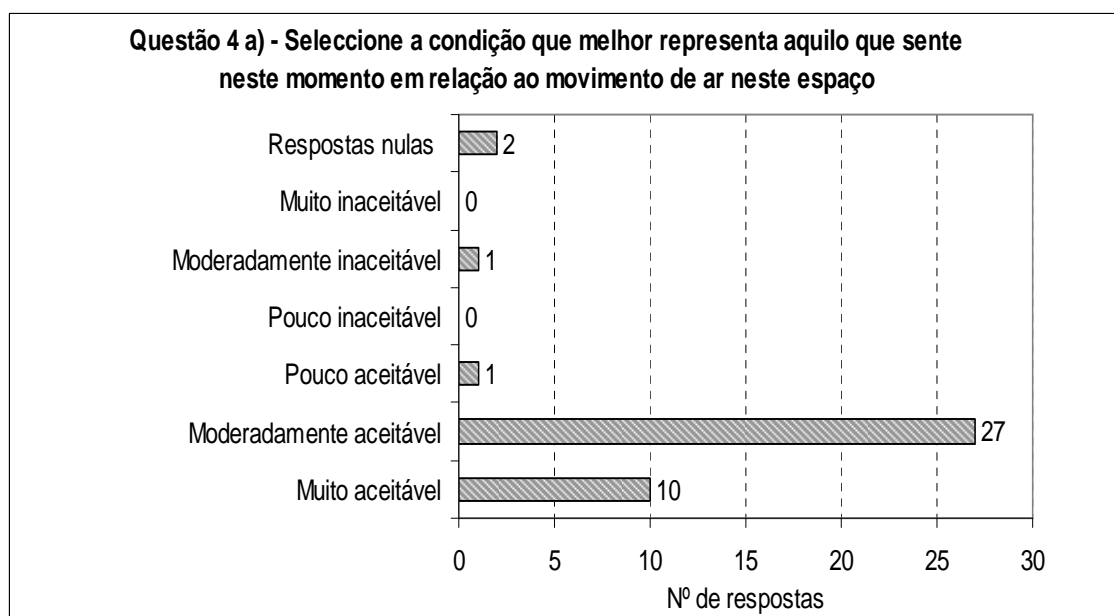


Figura 2.12– Respostas à questão 4 a) do questionário

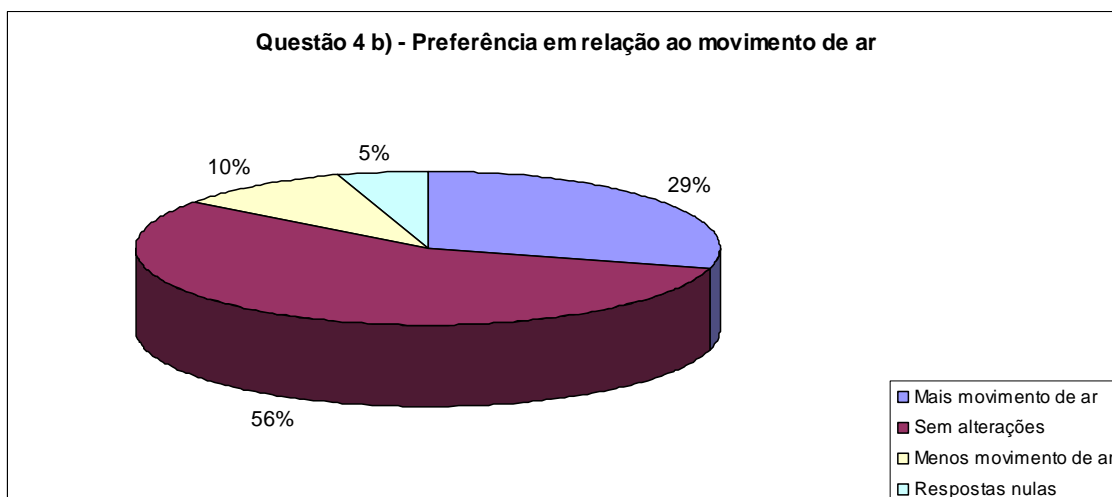


Figura 2.13– Resposta à questão 4 b) do questionário

Da análise da Figura 2.12 verifica-se que “moderadamente aceitável” obteve um total de 27 respostas, seguindo-se “Muito aceitável” com 10, o que pode indicar uma satisfação dos alunos em relação ao movimento de ar. Essa satisfação também é patente nos resultados da questão 4b), representados na Figura 2.13, onde uma maioria significativa de 56% dos alunos não exprime qualquer desejo de mudança em relação ao movimento de ar.

É importante salientar que as duas primeiras questões tentam obter a avaliação da QAI global do semestre, não se referindo ao sentimento dos ocupantes experienciado no momento. Como tal, os resultados obtidos nestas questões, encontram-se mais sujeitos a transmitir “falsas sensações”.

### ***Capítulo 3 – Avaliação da qualidade do ar interior***

Neste capítulo, efectua-se uma avaliação da qualidade do ar de alguns espaços do departamento, que passa por medições em tempo real e durante o período de actividade do edifício, de parâmetros físicos: como a temperatura e humidade relativa e parâmetros químicos, nomeadamente as concentrações de CO<sub>2</sub> e PM10 (poluentes definidos no Anexo VII do Decreto – Lei nº79/2006). Ou seja procedeu-se a uma monitorização destes parâmetros em espaços específicos do departamento. Os espaços escolhidos para esta avaliação foram salas de aula, por serem espaços onde os utentes do departamento são expostos durante grande parte do seu tempo a condições interiores, e por possuírem por vezes taxas de ocupação elevadas (conforme se verificou durante a recolha de informação), o que os tornam potencialmente sensíveis em termos de QAI.

Os resultados das medições são acompanhados de discussões dos mesmos, e os equipamentos necessários à monitorização são igualmente descritos e apresentados. Devido a limitações relativas ao acesso de equipamentos que, procedem à monitorização dos outros poluentes referidos no Anexo VII do Decreto – Lei nº79/2006 (monóxido de carbono, ozono, formaldeído e compostos orgânicos voláteis) estes, estão de fora do âmbito desta avaliação, bem como os parâmetros microbiológicos (*Legionella*, fungos e bactérias).

O conforto térmico é um conceito de carácter subjectivo, pois é o estado de espírito em que o individuo expressa satisfação em relação ao ambiente térmico (ASHRAE 55, *in* Gameiro 2008a; ISO 7730 *in* Costa e Lopes, 2008), dependendo de variáveis ambientais (temperatura do ar; temperatura radiante; velocidade do ar e humidade relativa) e ainda de variáveis relativas ao indivíduo (nível metabólico e isolamento do vestuário) (Gameiro, 2008a). As condições essenciais de conforto térmico apresentam tipicamente valores de temperatura entre 20°C e 24°C no Inverno, e 23°C a 26°C no Verão, situando-se a humidade relativa entre os 30% a 70% (Costa e Lopes, 2008). Segundo o Decreto – Lei nº80/2006, as condições ambientais de conforto de referência são 20°C para a estação de aquecimento, e temperatura do ar de 25°C e 50% de humidade relativa na estação de aquecimento.

### **3.1 Metodologias e equipamentos**

A metodologia de avaliação dos parâmetros mencionados anteriormente, passou pelo uso de equipamentos de medição, e pela transposição dos dados recolhidos em tempo real para gráficos, através do programa EXCEL, de modo a se proceder a uma visualização dos resultados obtidos e compreensão dos mesmos. Os ensaios foram realizados em dias onde a concentração exterior é menos de metade da concentração máxima de referência (concentrações normais), tal como vem defendido no artigo 29, ponto 10 do Decreto-Lei 79/2006.

Realizaram-se vários ensaios em diferentes salas e em diferentes condições, sempre descritos e acompanhado dos gráficos a que se referem. As medições da concentração de CO<sub>2</sub> em ppm foram efectuadas através do uso de um medidor da qualidade do ar multifunções da Fluke, modelo de mão 975 AirMeter (ver Figura C.1 do Anexo C) que efectua a leitura de minuto a minuto. Este equipamento também realizou a monitorização da temperatura ambiente e humidade relativa. A monitorização de partículas foi realizada através de um medidor da qualidade do ar multifunções da Lightouse Worldwide Solutions, modelo de mão 3016 IAQ (ver Figura C.2 do Anexo C) com capacidade de leitura de PM 1, PM 2,5 PM 5 e PM10 em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Relativamente a este parâmetro efectuou-se apenas um ensaio. Programou-se o medidor para a realização de ciclos de 75 segundos, 15 de aquisição e 60 de intervalo até ao início do ciclo seguinte.

A caracterização das salas no que diz respeito a dimensões, foi feita através da análise das plantas de arquitectura e medições feitas no local.

### **3.2 Monitorização dos parâmetros físicos, químicos e discussão de resultados**

#### **3.2.1 Sala 3.4**

Através do Fluke 975 AirMeter realizou-se a monitorização da concentração de CO<sub>2</sub> na sala 3.4 no dia 20 de Maio de 2008. Esta sala de aula de 162 m<sup>3</sup> e sem ventilação mecânica encontra-se localizada no 3º piso e apresenta uma densidade de ocupação de 1,5m<sup>2</sup>/ocupante quando totalmente lotada (35 alunos).

O período da manhã iniciou-se com uma aula com início às 11:13 horas, e onde se registou uma ocupação de 36 pessoas (35 alunos mais o professor). As janelas e a porta mantiveram-se fechadas e como se pode observar na Figura 3.1 a concentração de CO<sub>2</sub> aumentou de maneira brusca, atingindo um máximo de 5467 ppm às 12:34, seguindo-se um período de meia hora onde não se efectuou qualquer registo, pois a concentração excedeu os

limites de detecção do aparelho. Às 13:00 a aula terminou, ficando a sala vazia e novamente fechada. Seguiu-se a hora de almoço, onde se registou um decréscimo da concentração de CO<sub>2</sub> devido à não existência de fontes de produção (ocupantes). Este decréscimo foi suave e insuficiente para se atingir uma concentração de equilíbrio coincidente com a concentração do exterior, por a renovação de ar ser realizada apenas pelas infiltrações existentes na sala. Às 14:20 iniciou-se uma segunda aula, onde se verificaram um total de 25 ocupantes, e ficando desta vez a porta fechada, mas uma janela aberta. Este facto estará relacionado com a ligeira descida da concentração do poluente até sensivelmente às 14:30, que ocorreu mesmo depois da aula se ter iniciado, e a produção de CO<sub>2</sub> ter começado através da respiração dos ocupantes. O caudal de ar novo vindo do exterior através da janela, inicialmente provocou a descida da concentração que provinha da aula ocorrida no período da manhã. Depois disto, verifica-se novamente um aumento da concentração até às 15:25, onde se realizou um intervalo de 15 minutos, voltando a concentração a descer, devido à ausência de ocupantes e à renovação de ar, chegando-se mesmo a atingir a concentração máxima de referência enunciada no RSECE (1000 ppm). Após o intervalo a concentração voltou a subir até ao final da aula às 17:12. Não se verificando a ocorrência de mais aulas na sala transportou-se o medidor de CO<sub>2</sub> ao recinto exterior registando-se aí a concentração de 384 ppm.

Deste ensaio conclui-se que a concentração observada na sala, nas condições acima descritas, ultrapassa em muito os valores de referência do RSECE, especialmente no período da manhã devido à elevada ocupação e não renovação do ar.

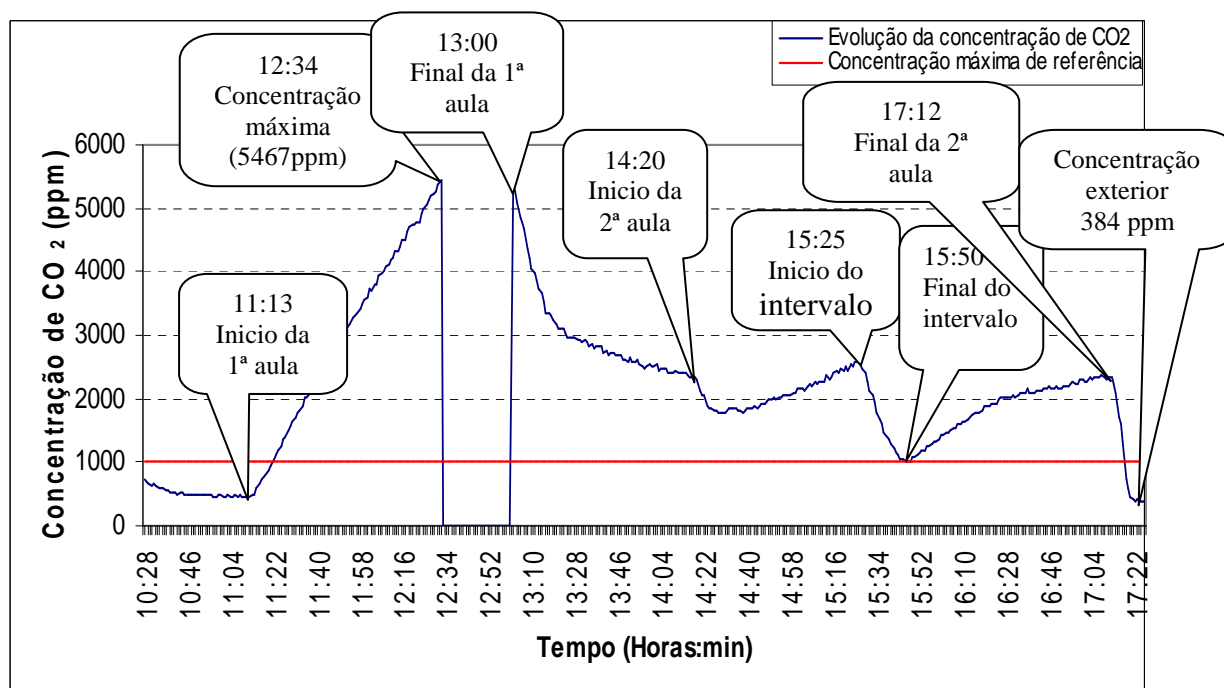


Figura 3.1– Evolução da concentração de CO<sub>2</sub> na sala 3.4 (20-05-2008)

Na Figura C.3 do Anexo C observa-se que a evolução da temperatura e humidade relativa são coincidentes. Ambos os parâmetros aumentaram com o decorrer da primeira e segunda aulas, diminuindo nos períodos de desocupação do espaço, assemelhando-se assim ao comportamento verificado na evolução da concentração de CO<sub>2</sub>, embora com declives menos acentuados. A temperatura inicial da sala situou-se nos 19,5 °C, registando-se um máximo de 23,9 °C às 12:52 (antes do final da primeira aula). A humidade relativa apresentava-se a 60% no início da primeira aula, aumentando até um valor máximo de 75% às 12:53. Comparando estes valores com os valores de referência referidos na secção 3.1, verifica-se a possibilidade dos ocupantes da sala, terem sentido desconforto térmico, sobretudo no decorrer da primeira aula, onde ocorreram os maiores valores de temperatura e humidade relativa, que chegou aos 75%.

### 3.2.2 Sala 6.4 – Primeiro ensaio

Com o mesmo equipamento, realizou-se no dia 27 de Maio de 2008 uma monitorização da sala 6.4 de 394m<sup>3</sup> de volume e que não possui ventilação mecânica, apresentando uma densidade de ocupação de 1,1m<sup>2</sup>/ocupante para a máxima lotação (60 alunos). A primeira aula com a ocupação de 23 pessoas (2,9m<sup>2</sup>/ocupante) teve início às 9:30. A porta permaneceu fechada e as janelas também. Na Figura 3.2 é notório o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> ao longo da aula, até ao final (11:03), onde se atingiu o máximo

registado (1642 ppm) durante todo o dia. De seguida, observa-se um decaimento da concentração até ao início da segunda aula, que se deu devido a infiltrações de ar novo na sala (uma vez que a porta se manteve fechada) e à desocupação da sala durante esse período. Depois do início da segunda aula, após as 11:31, observa-se um novo aumento da concentração, embora menos acentuado que o da aula anterior. A menor ocupação (10 alunos, o que se traduz em  $6,7\text{m}^2/\text{ocupante}$ ) da sala durante esta aula pode ter contribuído para este facto. Terminada esta aula às 13:03, não se verificou a realização de mais nenhuma, observando-se um novo decaimento até ao final da monitorização que ocorreu às 16:58. No recinto exterior registou-se a concentração de 403 ppm.

Em relação ao conforto térmico, no Anexo C, encontra-se os gráficos da evolução da temperatura e humidade relativa da sala, representados na Figura C.4. Em relação à temperatura, é notório o aumento ao longo da primeira e da segunda aula, associado à ocupação humana e às variações naturais da temperatura ao longo do dia. Com o final das aulas, verifica-se um decaimento da temperatura que regista um máximo de  $20,5^\circ\text{C}$ . De notar que no recinto exterior a temperatura aumentou para  $21,6^\circ\text{C}$ . No que diz respeito à humidade relativa, esta apresentava um valor inicial de 65%, chegando a um máximo de 68,3% no decorrer da primeira aula, e caindo posteriormente até aos 64% no final da segunda aula. Comparando estes valores com os de referência típica para o conforto térmico, observa-se que estes se encontram dentro do intervalo.

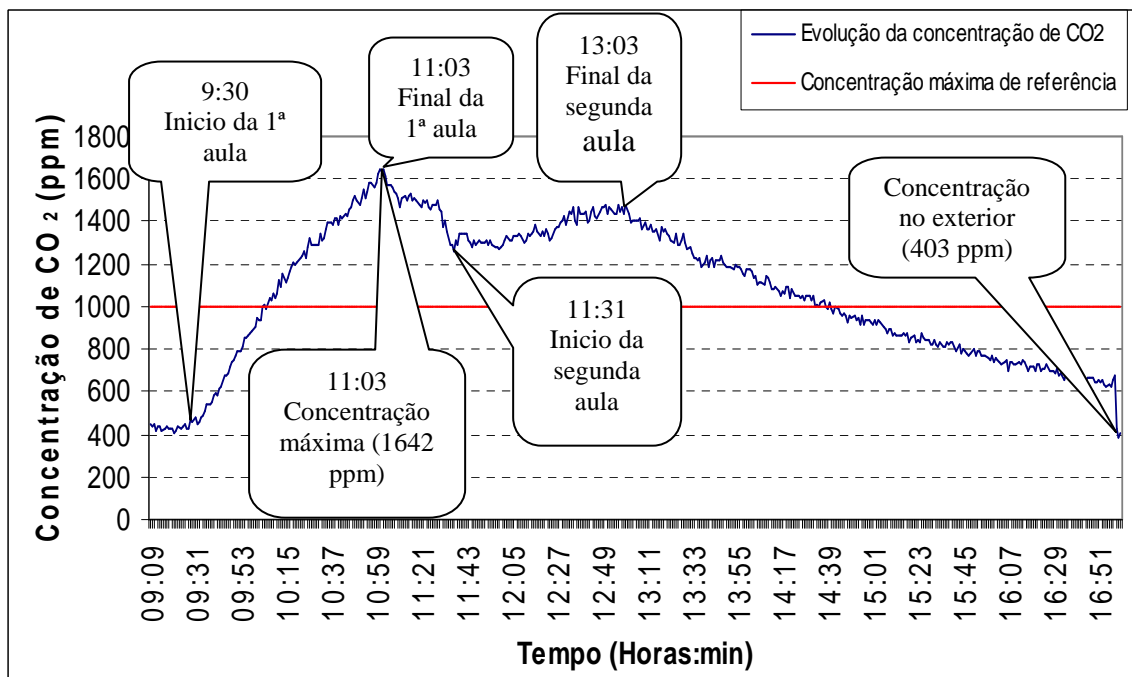


Figura 3.2– Evolução da concentração de CO<sub>2</sub> na sala 6.4 (27-05- 2008)



### **3.2.3 Sala 6.4 – Segundo ensaio**

Tendo se verificado no primeiro ensaio, que a concentração de CO<sub>2</sub> na sala 6.4 sem ventilação natural, rapidamente ultrapassou a concentração de referência definida no RSECE durante a primeira aula, onde se registaram apenas 23 pessoas (2,9m<sup>2</sup>/ocupante); no dia 25 de Junho de 2008, efectuou-se um novo ensaio nesta sala, durante a realização de um exame, com a ocupação total de 36 pessoas. O registo teve início às 9:35, aquando a entrada dos alunos na sala, tendo-se mantido a porta fechada e uma janela com uma abertura de cerca de 10cm. Neste ensaio, monitorizou-se a concentração até esta atingir cerca de 2000ppm, abrindo-se de seguida as bandeiras das janelas da sala, para se registar a evolução da concentração de CO<sub>2</sub> até esta voltar a descer, sendo o objectivo a redução para valores abaixo da concentração máxima de referência.

Na Figura C.5 do Anexo C encontra-se a planta da sala com a localização das janelas e bandeiras assinaladas de 1 a 6. Na Figura 3.3 encontra-se representada a evolução da concentração de CO<sub>2</sub> assinalando-se os principais eventos ocorridos durante o exame.

Após a entrada na sala é bem visível o aumento da concentração de CO<sub>2</sub>, chegando ao valor de 1972 às 10:37ppm, hora em que se procedeu à abertura das bandeiras 1, 4 e 6. Verifica-se através da Figura 3.3 que a ventilação natural por parte da abertura das bandeiras não foi suficiente para a diminuição da concentração do poluente, continuando a aumentar, e registando-se um máximo de 2092ppm às 10:53. Para contrariar esta situação, às 10:56 abriram-se as restantes bandeiras (excepto a assinalada a 3 por mau funcionamento do sistema de abertura) e uma folha das janelas. A partir deste momento é notória a descida da concentração de CO<sub>2</sub>. Às 11:10 os alunos fizeram um intervalo de 10 minutos, ficando a porta aberta. De notar que, quando se dá novamente a entrada dos alunos na sala, os valores da concentração, já se encontravam abaixo do máximo regulamentar, mantendo-se assim até ao final do exame. No início da segunda parte do exame, é de referir que a ocupação se tinha reduzido até 34 ocupantes, devido à desistência de dois alunos na primeira parte. As variações da concentração observadas na última parte do exame podem estar relacionadas com a saída pontual de alguns alunos, tendo a maior parte abandonado a sala às 12:42 e sendo visível um ligeiro decréscimo no final da monitorização. No final do exame transportou-se o medidor até ao recinto exterior registando-se uma concentração de 408ppm.

A temperatura da sala variou entre os 23,5°C e os 25,5°C e a humidade relativa apresentou um mínimo de 56,70% e um máximo de 62,5%, tal como vem na Figura C.6 do Anexo C.

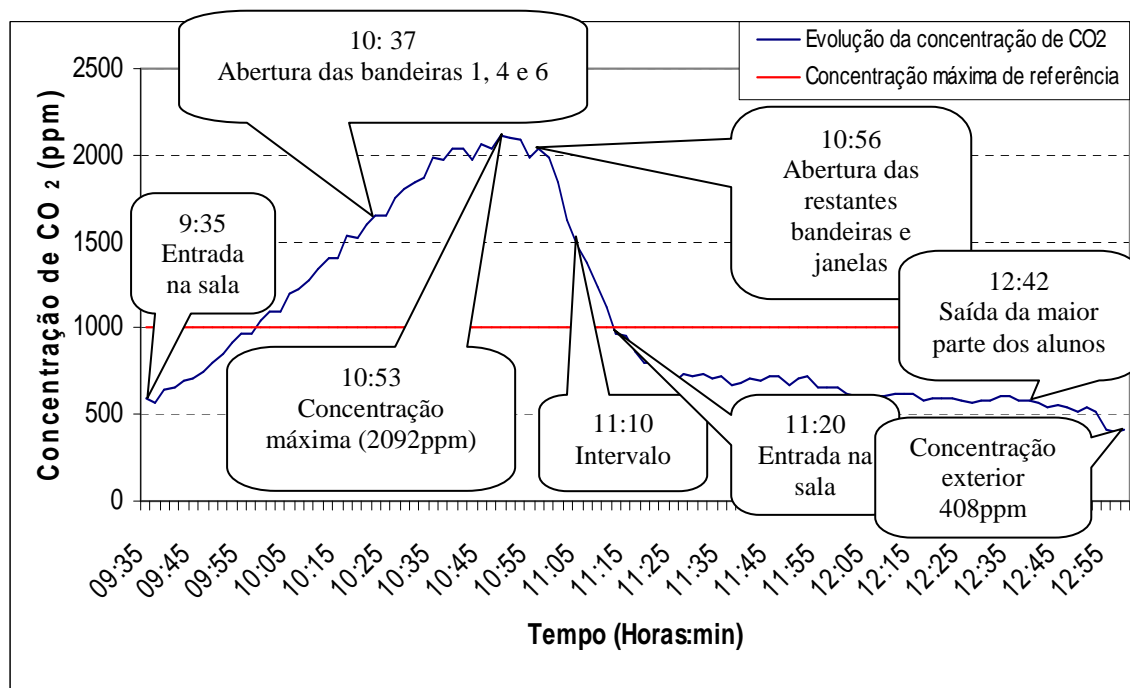


Figura 3.3 – Evolução da concentração de CO<sub>2</sub> na sala 6.4 (25-06 2008)

### 3.2.4 Sala de informática II

No dia 12 de Junho de 2008 às 10:54, procedeu-se a uma monitorização simultânea das concentrações de CO<sub>2</sub> e PM na sala de Informática II do departamento de 260m<sup>3</sup> de volume com a ocupação total de 24 pessoas (4,5m<sup>2</sup>/ocupante), durante a realização de um exame de Desenho Técnico II, tendo a porta ficado aberta.

No que concerne à concentração de CO<sub>2</sub>, é uma vez mais visível o aumento desta logo após o início da aula às 11:00 (ver Figura 3.4). No entanto depois da abertura de uma janela às 11:45 nota-se um ligeiro decréscimo associado à renovação de ar por parte do exterior. Às 12:40 atingiu-se um pico de 936ppm. O exame terminou às 13:30, passando os alunos a abandonar gradualmente a sala verificando-se ligeiras variações da concentração, como se pode ver na Figura 3.4. Posteriormente ao abandono da sala, transportou-se o aparelho de medição para o exterior, notando-se o decréscimo acentuado da concentração até às 13:45, altura em que terminou a medição. De notar, que durante todo o exame a concentração máxima de referência de 1000ppm, não foi atingida, cumprindo-se assim os requisitos do

RSECE, no que diz respeito ao CO<sub>2</sub>. Verifica-se então que a ventilação natural, ocorrida durante a realização do exame, foi suficiente para alcançar este feito.

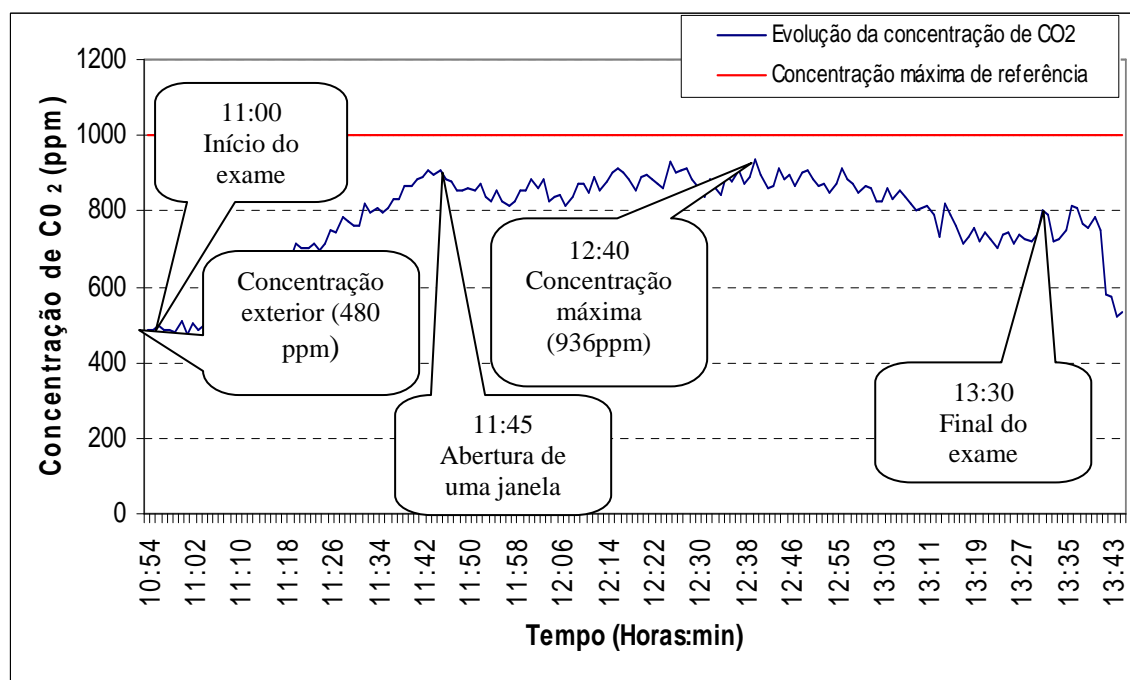


Figura 3.4 – Evolução da concentração de CO<sub>2</sub> na sala de informática II (12-06- 2008)

No que diz respeito à monitorização de PM 10, na Figura 3.5 destaca-se o aumento brusco da concentração, logo após o início do exame (0,045 mg/m<sup>3</sup>), atingindo-se um pico às 11:08 de 0,115mg/m<sup>3</sup>. Este aumento poderá estar relacionado com toda a actividade dos ocupantes, (Tippayawong *et al.*, 2008) durante a entrada na sala, como caminhar e sentar, que origina a dispersão de partículas depositadas (tais como cabelos e pó) na sala (Braniš *et al.*, 2005). Depois deste período, verifica-se um decaimento com algumas oscilações. Após a abertura da janela às 11:45, observa-se, uma vez mais, uma descida da concentração de partículas que gradualmente se aproximou da inicial, embora com algumas oscilações. De notar que as partículas PM 5 apresentam uma evolução de maneira semelhante (embora em concentrações menores) às PM 10, enquanto os outros parâmetros: PM 1,0 e PM 2,5 apresentam um comportamento relativamente constante ao longo da monitorização, com as concentrações a variarem muito pouco. Mais uma vez, da análise da Figura 3.5 observa-se que a concentração máxima de referência definida no RSECE não foi atingida, mantendo-se os valores de PM 10 abaixo dos 0,15 mg/m<sup>3</sup>. No dia 12 de Junho a concentração exterior apresentava o valor de 0,012mg/m<sup>3</sup> segundo a Base de Dados On-line sobre qualidade do ar da APA (2008).

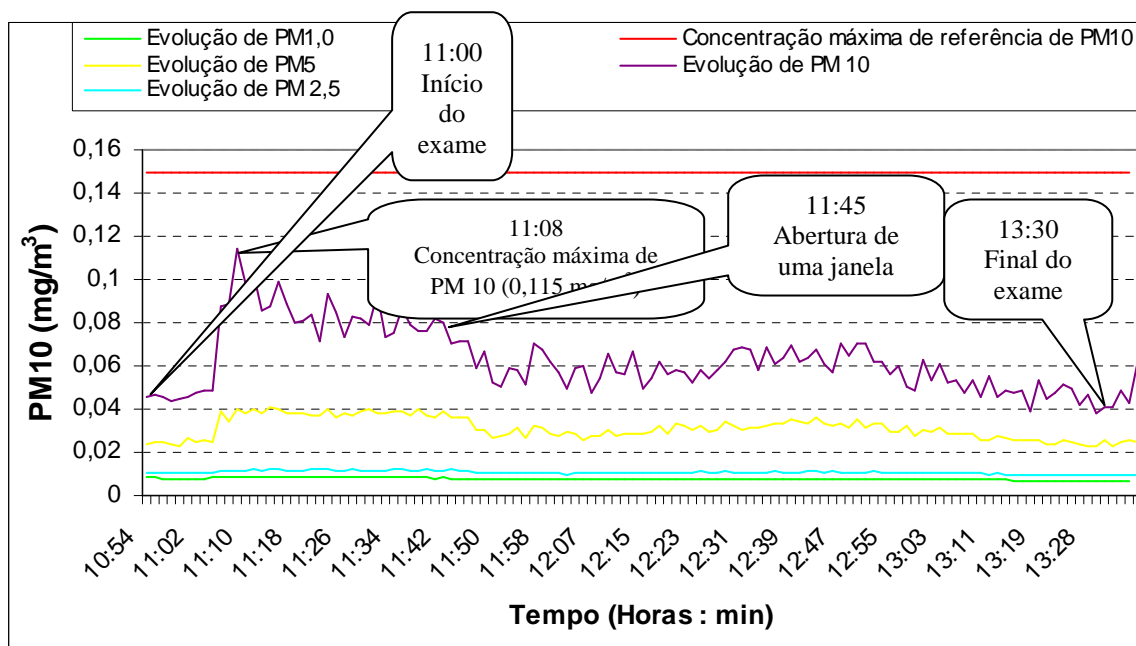


Figura 3.5 – Evolução da concentração de partículas suspensas na sala de informática II (12-06- 2008)

Da análise da Figura C.7 do Anexo C, referente à temperatura e humidade relativa, regista-se uma diferença de comportamento entre ambas, ao longo do decorrer do exame. A temperatura aumentou de 22,7°C para 26,3°C no final do exame. A humidade relativa, por outro lado passou de 53 % para 41%. Esta descida pode estar relacionada com o facto de a produção de calor neste caso estar mais ligada ao funcionamento dos computadores e não tanto com a actividade metabólica da ocupação humana, que comporta a libertação de vapor de água.

### 3.3 Notas conclusivas

Da análise destes quatro ensaios, verifica-se que a concentração máxima de referência (1000ppm ou 1800mg/m<sup>3</sup>) de CO<sub>2</sub>, só não foi excedida no segundo ensaio realizado na sala de informática II (onde a ventilação natural foi promovida através da abertura da porta e de uma janela), sendo os ocupantes frequentemente expostos a concentrações maiores que o permitido legalmente. Além de nos casos referidos se ter excedido a concentração máxima de referência, é de mencionar a facilidade com que esta foi atingida, chegando-se a este valor num curto período de tempo. Aqui nota-se o carácter restritivo do RSECE em termos de concentração de CO<sub>2</sub>.

No que toca à monitorização das partículas, conclui-se que a concentração desta no espaço interior da sala de informática II, respeitou sempre os limites legais, tendo o máximo

observado ( $0,115\text{mg}/\text{m}^3$ ) ficado aquém da concentração de referência ( $0,15\text{mg}/\text{m}^3$ ). Para isto terá ajudado o facto de não ser permitido fumar dentro do departamento, um dos principais contribuintes para concentrações elevadas de PM em ambientes interiores (Wallace *et al in* Heudorf *et al.*, 2007: 2) e a ventilação natural que ocorreu durante a medição.

O Decreto – Lei nº79/2006 define no artigo 12º – ponto 6, que o proprietário ou o titular de locação ou arrendamento do edifício tem a obrigação de preparar um Plano de Acções Correctivas da QAI (PACQAI) no prazo máximo de 30 dias a contar da data de conclusão da auditoria, quando forem detectadas concentrações superiores às de máxima de referência fixadas pelo regulamento, tal como foi verificado no presente estudo. O PACQAI deve ser submetido à aprovação do Instituto do Ambiente e deve indicar as causas do possível excesso de concentração (já abordadas durante a discussão dos resultados da monitorização) e enunciar medidas propostas para corrigir o problema (Almeida, 2007). A limitação da ocupação das salas, e a promoção da ventilação natural sempre que possível, deverão ser medidas a tomar com vista à tentativa de cumprimento da legislação. No entanto, estas medidas não traduzem certezas e como tal deverão ser apenas temporárias, devendo-se implementar equipamentos que promovam uma melhor ventilação. Só assim se poderá ter certezas em relação ao cumprimento dos limites estabelecidos. Somente após a adopção das medidas do PACQAI, e da realização de nova auditoria onde se identifique uma conformidade com o RSECE, se poderá obter um certificado da QAI do SCE.

Em termos de conforto térmico (temperatura e humidade relativa), comparando os resultados obtidos com os valores de referência de Verão (medições feitas em Maio, Junho) já apresentados na secção 3.1, observa-se na maioria dos casos, que tantos na temperatura, como na humidade relativa se encontraram dentro dos intervalos recomendados. No entanto convém referir que a humidade relativa máxima registada de 75% na sala 3.4 no dia 20 de Maio, poderá ter originado nos ocupantes um sensação de desconforto térmico. Não é demais referir que, o conforto térmico é subjectivo (Gameiro, 2008a), variado de pessoa para pessoa, podendo alguns dos ocupantes terem presenciado sensações de desconforto durante os ensaios realizados.

## ***Capítulo 4 – Caracterização e correcção do sistema do Anfiteatro I***

No decorrer deste trabalho foi proposto, que se elaborasse uma análise do Anfiteatro I, a fim de se estudar uma proposta de correcção da parte do sistema de climatização que serve este espaço. O sistema de climatização do Anfiteatro I do DEM – FCTUC, não se encontra em funcionamento, devido a várias queixas referentes ao excessivo ruído que este provoca, dificultando assim o funcionamento das aulas.

Neste capítulo, efectua-se uma caracterização do sistema do espaço em questão, e uma proposta de correcção com o objectivo de diminuir o ruído provocado e assegurar simultaneamente os requisitos QAI contemplados no RSECE.

### **4.1 Caracterização do sistema**

De acordo com a memória descritiva do projecto dos sistemas de AVAC do DEM – FCTUC e com visitas ao local, pode elaborar-se a seguinte caracterização do sistema do Anfiteatro I.

O ar insuflado é conduzido a partir da UTA, por uma conduta vertical de 560mm de diâmetro à vista dos ocupantes, que uma vez atingido o tecto falso distribuirá o ar pelas grelhas de insuflação. Consequentemente o ar insuflado não chega às zonas mais longínquas da audiência, ajudando o ar de retorno a uma melhor distribuição do ar novo. As grelhas de retorno encontram-se localizadas por baixo do quadro preto, enquanto que as grelhas de extracção, simples e bidireccionais, se encontram em pontos diametralmente opostos, junto ao tecto do anfiteatro. Aqui verifica-se outra incoerência do projecto, que previa grelhas de extracção protegidas por registos de um só sentido, contra entradas de ar não tratado. A distribuição de ar é feita através da face vertical do degrau a partir do tecto falso e a cobertura, como é visível na Figura D.1 do Anexo D. A conduta de ar novo apresenta uma secção de 350x300mm, enquanto a de retorno 600x300mm. Na Figura D.2 do Anexo D encontram-se representadas as condutas de retorno, ar novo e de insuflação do sistema.

Entre o que vem descrito no projecto, e a realidade encontrada no anfiteatro, encontra-se uma diferença considerável a nível de ocupação. Os 80 lugares do anfiteatro são na realidade 92. Esta diferença origina de imediato uma deficiência a nível de caudal de ar

novo insuflado, que no projecto apresenta o valor de 2400m<sup>3</sup>/h (30m<sup>3</sup>/h para cada ocupante). Os caudais de ar insuflado e de retorno referidos no projecto são: 5350m<sup>3</sup>/h e 3050m<sup>3</sup>/h respectivamente.

A UTA do anfiteatro é da marca Wolf, modelo KG 160. A secção de filtragem da UTA encontra-se apenas antes do ventilador e é do tipo plano amovível, classe Eurovent G85 e é equipada com um manómetro diferencial para aviso de colmatagem. O ventilador centrifugo é accionado indirectamente por um motor eléctrico assíncrono com rotor em curto-circuito e encontra-se preparado para um caudal de 5350 m<sup>3</sup>/h e com uma perda de carga de mm 20c.a.. As serpentinas de aquecimento e de arrefecimento são tubos de cobre com alhetas em alumínio. Na Tabela 4.1 encontra-se a descrição destas e outras características da UTA do Anfiteatro I. As restantes características relevantes do sistema foram já enunciadas no capítulo 2 na secção 2.2.3.

No início do estudo verificou-se que o sistema se encontrava com os registos manuais de controlo de caudal de ar de retorno e de ar novo totalmente abertos.

Tabela 4.1 – Características da UTA do Anfiteatro I

<i>Wolf KG 160</i>	
Tamanho	3
Potência de arrefecimento	27,5 KW
Potência de aquecimento	19,5 KW
Ventilador: Caudal	5350m <sup>3</sup> /h perda de carga 20 mm c.a.
Velocidade de rotação do motor	1500rpm

**Nota sobre a tabela:**

Valores retirados da memória descritiva do projecto de instalação de equipamentos mecânicos do DEM – FCTUC

## 4.2 Medições de ruído

Visto que a razão por a qual o sistema não se encontra em funcionamento é o elevado ruído que este causa, procedeu-se a uma monitorização do ruído para as diversas frequências de funcionamento do sistema, recorrendo-se para isso a um sonómetro Brüel Kjaer 2260 – Investigator (ver Figura D.3 do Anexo D), medindo em bandas de 1/3 de oitava e a um alternador de frequência permitiu variar a frequência de funcionamento do sistema.

Começou-se por realizar medições dos níveis sonoros contínuos equivalentes com ponderação A ( $L_{Aeq}$ ) de cinco minutos, em diferentes pontos do interior do anfiteatro (representados na Figura 4.1 de 1 a 6), com o sistema desligado e sem ocupantes na sala no dia 29 de Maio de 2008. Os resultados das medições encontram-se apresentados na Tabela 4.2.



Figura 4.1 – Pontos de medição de ruído. Pontos de 1 a 3 (esq), pontos de 4 a 6 (dir)

Tabela 4.2 – Nível sonoro  $L_{eq}$  (A) nos diferentes pontos do anfiteatro, com o sistema desligado

<i>Ponto</i>	<i><math>L_{eq}</math> [dB(A)]</i>
1	40
2	37,5
3	37,29
4	36,56
5	39,22
6	38,64

Considerando que o anfiteatro se encontrava sem ocupantes e sem o sistema de climatização ligado aquando a medição dos valores de ruído, os valores descritos na Tabela 4.2 são elevados, excedendo mesmo os níveis de ruído de 35dB recomendáveis pela OMS para o decorrer de aulas (OSHA, 2006), sugerido uma fraca insonorização do Anfiteatro I. O facto de grelhas de extracção localizadas perto do tecto do anfiteatro, permitirem um contacto considerável com o exterior pode contribuir para esta situação.

Novas medições de ruído foram efectuadas no ponto 1 (local do auditório sujeito a maiores níveis de ruído) sem a presença de ocupantes no anfiteatro, sendo que desta vez com o sistema ligado e em períodos de dois minutos, para as diversas frequências de funcionamento. A Tabela 4.3 apresenta os valores de nível sonoro  $L_{eq}$  (A) para diversos valores de frequência e os valores corrigidos  $L_{Ar}$  de acordo com a metodologia descrita no



ponto 3, artigo 7º do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei nº129/2002, que remete para o Anexo I do Decreto-Lei nº292/2000 de 14 de Novembro que aprova o regime legal sobre a poluição sonora, também designado por Regulamento Geral do Ruído, revisto pelo Decreto-Lei nº9/2007 de 17 de Janeiro, que se pode encontrar no Anexo D. Dado que o funcionamento do sistema é contínuo e discreto, características impulsivas não foram tidas em conta.

Tabela 4.3 – Nível sonoro contínuo equivalente ponderado A para as diferentes frequências de funcionamento do sistema

<i>Frequência (Hz)</i>	<i>LAeq [dB(A)]</i>	<i>LAr [dB(A)]</i>
50	60,31*	60,31*
45	56,55	56,55
40	53,52	53,52
35	50,56	50,56
30	49,13	52,13
25	44,45	44,45
20	41,62	41,62
15	38,97	38,97

**Notas sobre a tabela:**

\* Valor calculado através de extrapolação

Importante destacar que o valor do nível sonoro correspondente à frequência de 15Hz é menor que os 40dB(A) medidos com o sistema desligado. Isto pode ter ocorrido devido à medição ter sido feita num dia de pouca actividade no edifício, ou admite-se mesmo neste caso a possibilidade de um erro de medição. O valor do nível correspondente à frequência de 50Hz, frequência para a qual o sistema se encontra dimensionado, foi obtido a partir de uma extrapolação da melhor aproximação conseguida dos valores medidos (demonstrada na Figura D.3 do Anexo D). Esta aproximação teve de ser tomada, por o sistema se desactivar ao fim de poucos minutos a trabalhar em 50Hz. As razões deste acontecimento são desconhecidas. Os níveis de avaliação LAr, apresentados na última coluna são coincidentes com os valores de LAeq, com a excepção do nível referente a 30Hz de funcionamento, onde se detectou uma característica tonal, tal como se pode ver pela análise do espectro de bandas de 1/3 de oitava, que se encontra representado na Figura D.6 do Anexo D. Da análise da Figura D.6 observa-se que a frequência de 500Hz apresenta uma maior contribuição para o nível de ruído. Tendo em conta que o sistema se encontra preparado para trabalhar a 50Hz, e que a esta frequência produz um nível sonoro equivalente de ruído de aproximadamente 60dB(A), compreende-se as queixas dos docentes anteriormente referidas. Da análise da Tabela 4.3 verifica-se ainda que os níveis de ruído até à frequência

de 15Hz, não cumprem o limite de 38dB(A) definidos na alínea f, ponto 1, do artigo 7º do Decreto-Lei nº129/2002, definidos no Quadro IV do Anexo do regulamento (ver Tabela D.1 do Anexo D). Para valores de 20Hz e 15Hz, observa-se que o nível sonoro é já muito próximo da situação de não funcionamento, sendo estes a melhor opção conseguida a nível de ruído.

#### 4.3 Verificação dos caudais de ar novo necessários à luz da nova regulamentação

Após a análise de ruído procedeu-se à medição dos caudais de ar novo insuflado, com as frequências de funcionamento do sistema onde se obteve os menores níveis de ruído, de forma a verificar se estes asseguram que a concentração de CO<sub>2</sub> não excede a concentração máxima de referência definida no Decreto – Lei nº79/2006.

Se considerarmos um compartimento uni-zona com taxas constantes de produção de poluente e de renovação de ar, como o descrito na Figura 4.2, onde:

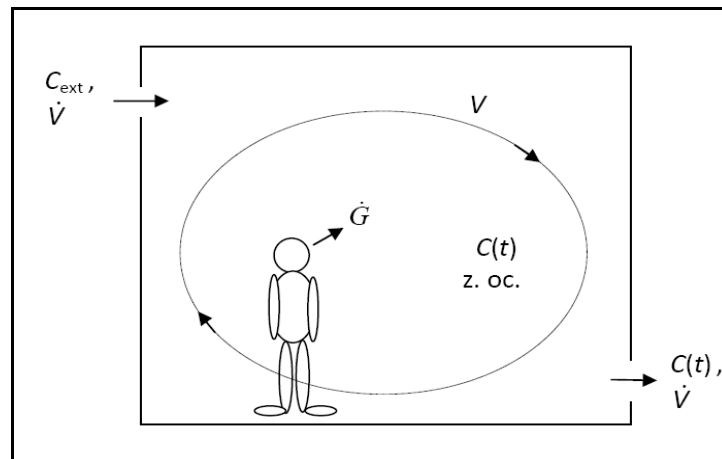


Figura 4.2 – Esquema de um compartimento uni – zona com taxas constantes de produção de poluente e renovação de ar (Costa, 2008a)

$\dot{G}$  – taxa (constante) de produção de poluente [mg/h];

$\dot{V}$  – caudal (constante) de ar novo introduzido no espaço [m<sup>3</sup>/h];

$C(t)$  – valor médio instantâneo da concentração do poluente no espaço [mg/m<sup>3</sup>]

$C_{ext}$  – concentração do poluente no ar novo insuflado [mg/m<sup>3</sup>];

$V$  – volume do compartimento em análise [m<sup>3</sup>];

$\lambda_v$  – taxa (constante) de renovação de ar ( $= \dot{V} / V$ ) [h<sup>-1</sup>]

Fazendo uma série de simplificações a aplicar ao Anfiteatro I, como:

- a) O ar no espaço é bem misturado, com a concentração do poluente supostamente homogénea, mas variável no tempo;
- b) A concentração do poluente no ar extraído é semelhante à concentração no interior do espaço;
- c) A envolvente do espaço é impermeável;
- d) A relação entre [mg/m<sup>3</sup>] e [ppm] para o poluente em análise é constante e uniforme em todo o espaço;
- e) Desprezando qualquer efeito de captação, retenção ou deposição do poluente;
- f) Considerando que não existe no espaço qualquer equipamento de purificação do ar; é possível fazer um balanço de massa à concentração de CO<sub>2</sub> (Costa, 2008a), que atendendo às definições aplicadas na Figura 4.4 se podem traduzir na equação 1 e 2

$$\dot{V} C_{\text{ext}} - \dot{V} C(t) + \dot{G} = \frac{dC}{d(t)} \quad (1)$$

ou

$$\lambda_v(C_{\text{ext}} - C(t)) + \frac{\dot{G}}{V} = \frac{dC}{d(t)} \quad (2)$$

Considerando  $C' = C - C_{\text{ext}}$  a equação passa a

$$\lambda_v C' + \frac{\dot{G}}{V} = \frac{dC'}{d(t)} \quad (3)$$

Separando variáveis e integrando para uma situação em que  $V$ ,  $\dot{G}$ ,  $C_{\text{ext}}$  e  $Q$  se mantêm constantes entre os instantes  $t$  e  $t_0$  genéricos, a evolução da concentração do poluente no tempo neste tipo de espaço tenderá para um valor assintótico (ou de equilíbrio) quando  $t \rightarrow \infty$ , altura em que será atingido o regime estacionário, ( $dT/dt \rightarrow 0$ ;  $dC/dt \rightarrow 0$ ) (Gameiro, 2008b), traduzindo-se pela equação

$$\frac{C'(t) - g\lambda}{C'_0 - g\lambda} = e^{-\lambda_v(t-t_0)} \quad (4)$$

onde:  $g\lambda = \dot{G} / (\lambda_v \cdot V)$ , representa a taxa específica de produção de poluente. Substituindo as condições de regime estacionário na equação (3), obtemos

$$C_{\text{equilíbrio}} = C_{\text{ext}} + g\lambda \quad (5)$$

que subtraindo em (4) em todas as quantidades do primeiro membro o valor de  $C_{ext}$  dará

$$\frac{C(t) - C_{equilibrio}}{C_0 - C_{equilibrio}} = e^{-\lambda_v(t-t_0)} \quad (6)$$

Tendo em conta que o  $CO_2$  tem uma densidade de  $1,98\text{kg/m}^3$  a uma temperatura de  $298\text{K}$ , uma pessoa *standart* com actividade moderada liberta a  $0,037\text{kgCO}_2/\text{h}$  ( $\dot{G} = 37000\text{mg/h.ocup}$ ) (Gameiro, 2008b). Se considerarmos que os valores habituais da concentração de  $CO_2$  exteriores variam entre  $450\text{mg/m}^3$  e  $629\text{mg/m}^3$  (ASHRAE-62 *in* ACCT, 2008), para que a concentração máxima de referência de  $1800\text{mg/m}^3$  não seja excedida, o caudal mínimo de ar novo por ocupante hora necessário será de cerca de  $32\text{m}^3$  (considerando a concentração exterior de  $629\text{mg/m}^3$ ).

$$1800\text{mg/m}^3 = \frac{37000\text{mg/ocup.h}}{\frac{\dot{V} \cdot V}{V}} + 629\text{mg/m}^3 \Leftrightarrow \dot{V} = 32\text{m}^3/\text{ocupante.h} \quad (7)$$

Verifica-se então que o caudal necessário para assegurar uma concentração inferior a  $1800\text{mg/m}^3$  é sensivelmente o mesmo que o caudal definido no artigo 29º, ponto 1 do RSECE, ou seja  $30\text{m}^3/\text{ocupante.h}$ .

Para se proceder à verificação dos caudais foi utilizado um aparelho multifunções da TESTO, modelo 445 (visível na Figura D.4 do Anexo D), com a possibilidade de acoplação de diversos tipos de sondas. Para medir a velocidade de entrada do ar, na secção de admissão de ar novo da UTA, utilizou-se uma sonda de molinete, colocada tangencialmente à grelha em nove pontos distintos, tal como vem demonstrado na Figura 4.3.

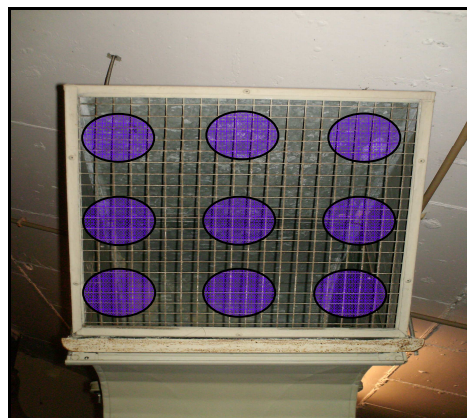


Figura 4.3 – Nove pontos utilizados para a medição da velocidade de entrada da admissão de ar novo na UTA

Registando os valores da velocidade do ar e decompondo a área da secção ( $0,16\text{m}^2$ ) em nove partes, calculou-se o caudal de ar novo, para cada uma destas, fazendo num final uma

aproximação razoável do caudal total através do somatório dos caudais parciais. Tendo em conta as características do sistema de ventilação descritas na secção 4.2, ao valor do caudal atrás referido ainda foi multiplicado um factor de 0,8, por traduzir a eficácia de ventilação dos sistemas onde, esta é feita por diluição. Ou seja só 80% do ar novo insuflado vai efectivamente contribuir para a remoção dos poluentes (Lopes, 2008). Segundo diversos autores (Oliveira, 2007; Costa e Lopes, 2008) o valor da eficácia de ventilação de um sistema por diluição varia entre 60% e 80%.

Em todos os ensaios efectuados, a admissão de ar novo manteve-se completamente aberta, por se pretender maximizar o caudal de ar novo insuflado de modo a verificarem-se os requisitos mínimos legais. Por outro lado foi-se variando o controlo de admissão de ar de retorno, de modo a observar a influência desta no caudal de ar novo insuflado. Não foram consideradas soluções para frequências maiores que 35Hz por os níveis de ruído serem bastantes elevados, tal como se verifica na Tabela 4.3. Os resultados obtidos para as diferentes condições de retorno estão representados na Figura 4.4.

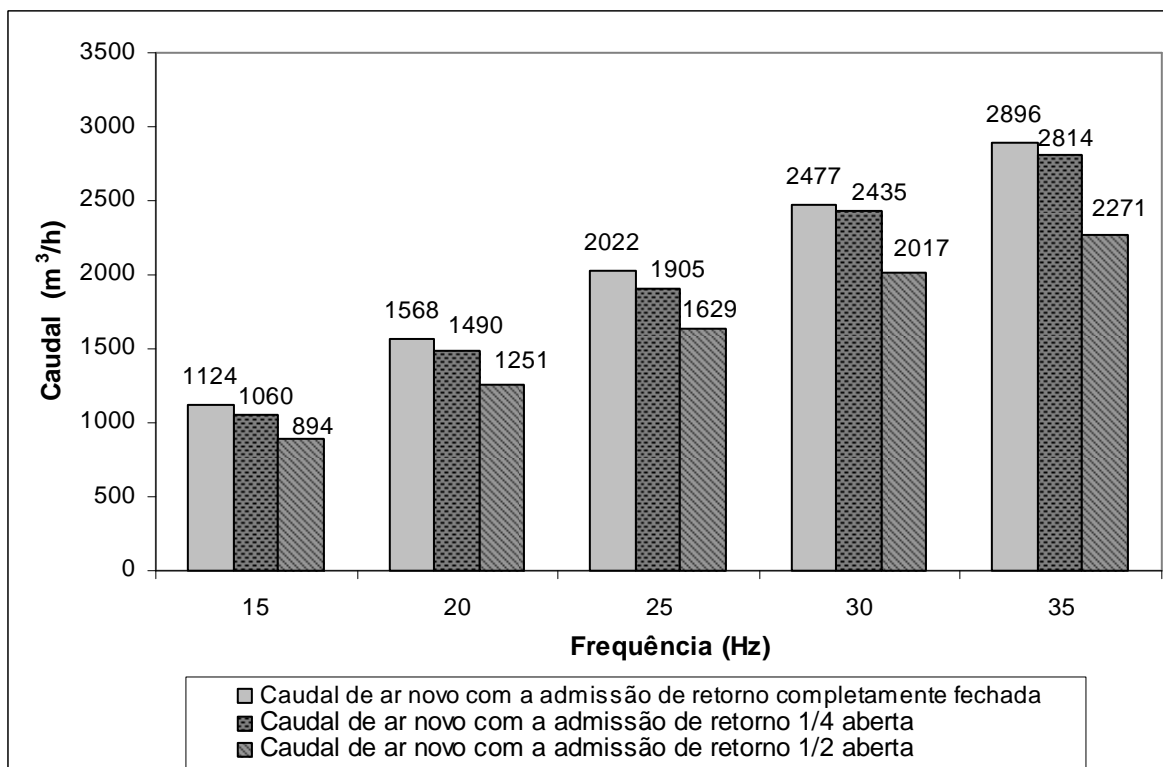


Figura 4.4 – Caudal de ar novo insuflado para as várias condições de retorno

Da análise da figura anterior verifica-se que, quanto mais fechada estiver a admissão do caudal de retorno e quanto maior for a frequência de funcionamento, maior é o caudal de ar novo insuflado pela UTA, sendo 30Hz e 35Hz as frequências de funcionamento que mais se

aproximam do valor requisitado para a ocupação total do Anfiteatro I ( $2790\text{m}^3/\text{h}$ ), ficando os valores de 30Hz um pouco abaixo do exigido. Para valores inferiores a 30 Hz o caudal insuflado é muito abaixo do regulamentar, para qualquer uma das situações. Na figura, percebe-se que o sistema com a admissão de retorno meia fechada, a funcionar em qualquer uma das frequências estudadas, não se aproxima do valor solicitado pelo RSECE. Observa-se que a diferença de caudal de ar novo insuflado entre a admissão de retorno  $\frac{1}{4}$  aberta e completamente fechada é mínima, obtendo-se valores ligeiramente maiores para o segundo caso.

Como não é frequente a lotação máxima no anfiteatro elaborou-se a Tabela 4.4 onde se compara as necessidades de ar novo definidas no RSECE ( $30\text{m}^3/\text{ocup.h}$ ) para diferentes taxas de ocupação do anfiteatro.

Tabela 4.4 – Necessidades de ar novo insuflado para diferentes taxas de ocupação do Anfiteatro I

<i>Taxa de ocupação do anfiteatro I (%)</i>	<i>Número de ocupantes</i>	<i>Necessidades de ar novo (<math>\text{m}^3/\text{h}</math>)</i>
100	93	2790
95	88	2651
90	84	2511
85	79	2372
80	74	2232
75	70	2093
70	65	1953
65	60	1814
60	56	1674
55	60	1814
50	51	1535

Analisando a Tabela 4.4 e novamente a Figura 4.4 verifica-se que, para a ocupação do anfiteatro perto dos 85% é já possível respeitar os limites mínimos definidos no RSECE, se o sistema estiver a trabalhar a 30Hz com a admissão de retorno  $\frac{1}{4}$  aberta ou completamente fechada.

Fazendo uma análise às diferentes condições de renovação de ar, associadas aos diferentes caudais de ar novo insuflados para as frequências de funcionamento de 20, 25, 30, 35Hz (exclui-se 15 Hz por apresentar resultados demasiado distantes do desejado), pode-se verificar se a concentração máxima de referência é excedida. Visto que entre a admissão de retorno completamente fechada e  $\frac{1}{4}$  aberta a diferença de resultados é mínima, optou-se por estudar daqui para a frente, os resultados para a admissão de retorno  $\frac{1}{4}$  aberta, de modo a que o sistema continue a promover a mistura de ar dentro do anfiteatro.

Considerando os valores habituais de produção de CO<sub>2</sub> descritos anteriormente calculou-se através de uma folha do programa EXCEL da taxa de renovação de ar e da produção específica de poluente, determinou-se os valores da concentração de equilíbrio utilizando a equação 5 para os diferentes caudais de ar novo insuflados associados às diferentes frequências de funcionamento. Os resultados encontram-se enunciados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Concentração de equilíbrio associada aos caudais de ar novo insuflados e diferentes taxas de ocupação (admissão de retorno ¼ aberta)

<i>Frequência (Hz)</i>	<i>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</i>	<i>Renovações hora (λ<sub>v</sub>) (h<sup>-1</sup>)</i>	<i>Taxa de ocupação (%)</i>	<i>Produção específica de poluente (mg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>Concentração de equilíbrio (mg/m<sup>3</sup>)</i>
35	2814	8,1	100	1315	1944
			75	986	1436
			50	618	1247
30	2435	7,0	100	1521	2150
			75	1141	1590
			50	715	715
25	1905	5,5	100	1944	2574
			75	1458	2088
			50	914	1543
20	1490	4,3	100	2486	3115
			75	1864	2314
			50	1168	1168

**Notas sobre a Tabela:**

Cálculos com base na produção de 37000mg/m<sup>3</sup> por pessoa

De notar que a concentração exterior de CO<sub>2</sub> utilizada no cálculo das concentrações de equilíbrio apresentadas na Tabela 4.6 foi de 629mg/m<sup>3</sup> e que o volume do Anfiteatro I de 349m<sup>3</sup> foi calculado com base na informação do projecto de arquitectura e de medições feitas no local. Nas Figuras D.9 e D.10 do Anexo D encontra-se apresentado um esquema com as medidas do anfiteatro, que serviram de base para este cálculo, assim como as considerações e metodologias adoptadas. Na tabela os valores sombreados a cinza indicam as concentrações de equilíbrio que excedem a concentração máxima de referência de 1800mg/m<sup>3</sup>. Para taxas de ocupação de 100 % verifica-se que nenhum dos caudais de ar novo insuflados assegura uma concentração de equilíbrio menor que a de referência. Para as frequências de 25Hz e 20Hz registaram-se os valores mais elevados da concentração de

equilíbrio, sendo que por sua vez, o caudal associado aos 35Hz obtém os melhores resultados.

No entanto, através da equação (6), efectuou-se uma análise da concentração de CO<sub>2</sub> no tempo, com o objectivo de verificar o período de tempo, em que a concentração de equilíbrio para as diferentes renovações de ar e para as taxas de ocupação enunciadas na Tabela 4.5 é atingida. Esta análise justifica-se, por ser possível que os períodos de aulas sejam insuficientes para a se atingir a concentração de equilíbrio, podendo então não se exceder a concentração máxima de referência. Para tal, supôs-se um cenário onde se simula um dia completo de aulas no Anfiteatro I, das 9:00 às 18:00, com 15 minutos de intervalo entre as aulas do período da manhã e da tarde e uma hora de intervalo entre as 13:00 e as 14:00, para a hora de almoço. As Figuras 4.5, 4.6 e 4.7 apresentam a evolução da concentração de CO<sub>2</sub> para as condições descritas.

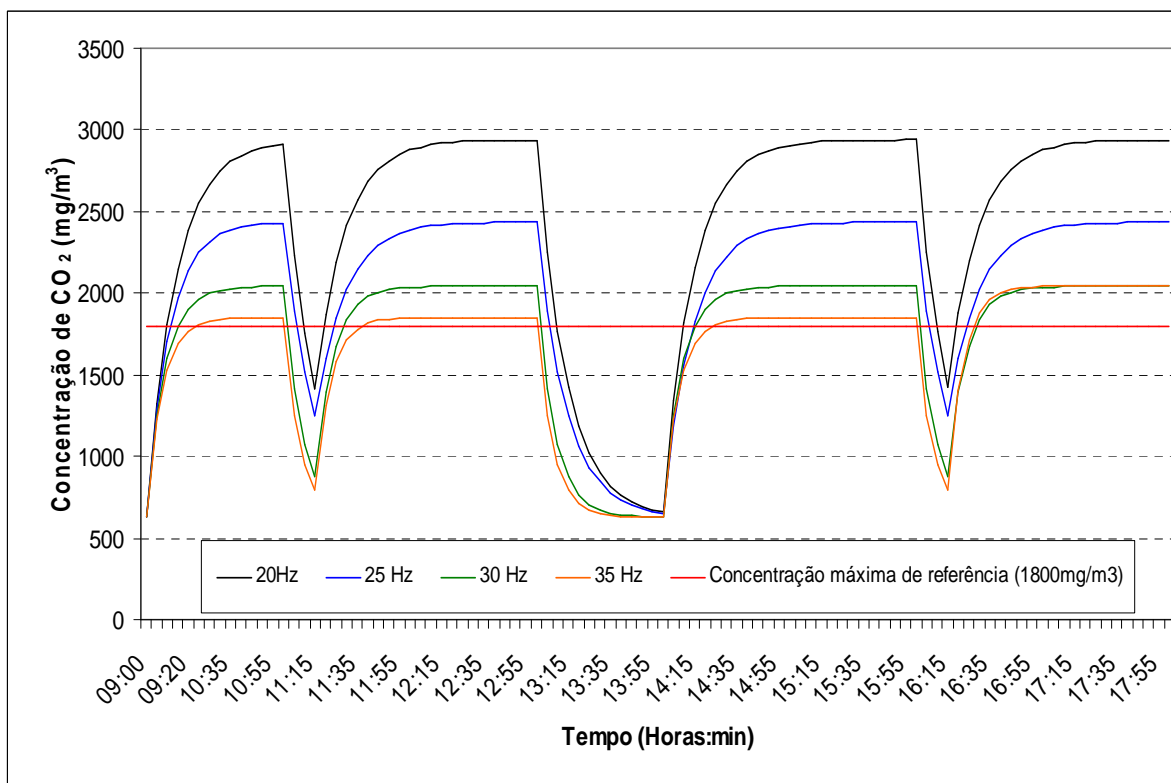


Figura 4.5 – Evolução da concentração de CO<sub>2</sub> para os diferentes caudais de ar novo insuflados (taxa de ocupação de 100%)



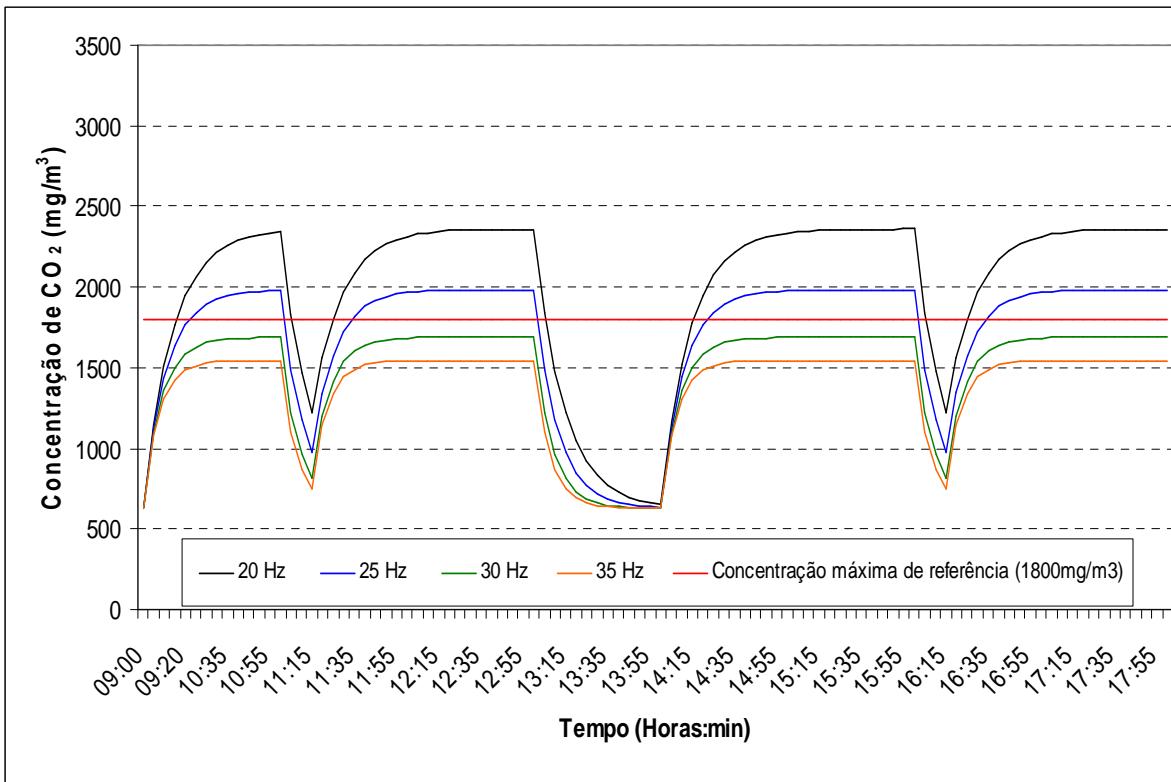


Figura 4.6 - Evolução da concentração de CO<sub>2</sub> para os diferentes caudais de ar novo insuflados (taxa de ocupação de 75%)

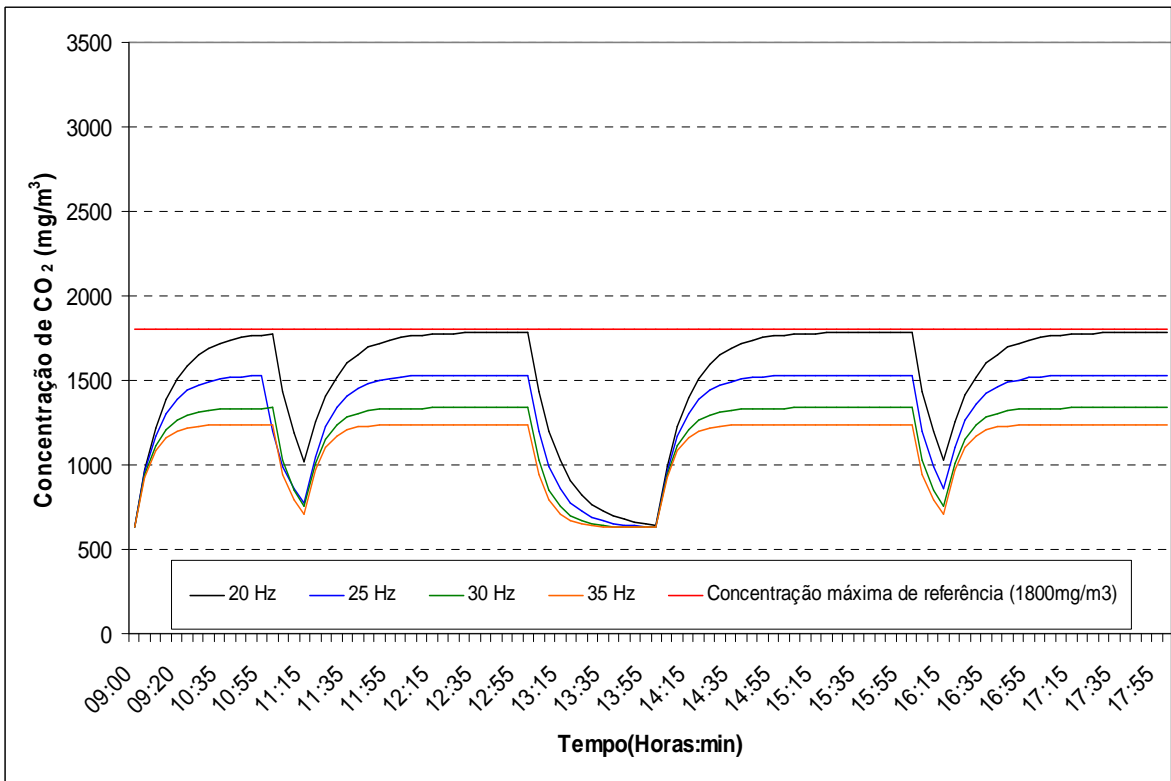


Figura 4.7 - Evolução da concentração de CO<sub>2</sub> para os diferentes caudais de ar novo insuflados (taxa de ocupação de 50%)

Observando a Figura 4.5 constata-se que para 100% de ocupação e para todas as frequências de funcionamento, a concentração máxima de referência é excedida. Verifica-se no entanto que para 35Hz a concentração de CO<sub>2</sub> ultrapassa em pouco o limite de referência. Da Figura 4.6 verifica-se que para 75% de ocupação (uma ocupação média mais realista, segundo os docentes), os 1800mg/m<sup>3</sup> de referência não são excedidos somente para os 30Hz e 35 Hz de funcionamento. Na Figura 4.7 que traduz uma ocupação de 50%, fica patente que todas as frequências de funcionamento do sistema estudadas asseguram o cumprimento dos limites legais. Os resultados apresentados nas Figuras 4.5, 4.6 e 4.7 são então coincidentes com a Tabela 4.6, ou seja a evolução da concentração de CO<sub>2</sub> durante os períodos de aula é brusca, atingindo-se a concentração de equilíbrio rapidamente. Desta forma para os caudais de ar novo que proporcionam uma concentração de equilíbrio de CO<sub>2</sub> no anfiteatro, maior que a concentração máxima de referência, este limite não é respeitado.

#### **4.4 Proposta de Correção**

Depois da análise feita nas duas secções anteriores, partiu-se para uma proposta da melhoria do sistema, que assenta num compromisso entre as melhores condições de nível de ruído e o cumprimento do limite de referência da concentração de CO<sub>2</sub>, sendo este último parâmetro o factor decisivo da opção a considerar. Assim, tendo constatado que o nível de ruído para a frequência de funcionamento actual é demasiado elevado, pretende-se mudar a frequência de funcionamento da UTA para um valor mais baixo, pois o uso do variador de frequência, é de carácter temporário.

Através de um estroboscópio da Brüel &Kjaer, modelo 4912 verificou-se a velocidade de rotação do motor e ventilador da UTA, para as diferentes frequências, de modo a verificar a relação de transmissão entre o motor e o ventilador da UTA. Na tabela seguinte são apresentados os valores lidos através do estroboscópio da velocidade de rotação do motor para as diferentes frequências. Devido ao mau funcionamento do sistema a 50Hz, o valor da velocidade de rotação correspondente foi calculada através de uma extrapolação usando, a melhor aproximação conseguida às diferentes velocidades lidas<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Ver Figuras D.7 e D.8 do Anexo D

Tabela 4.6 – Velocidade de rotação do motor e do ventilador da UTA

<i>Frequência (Hz)</i>	<i>Velocidade de rotação (rpm)</i>		<i>Relação de transmissão entre o motor e o ventilador (i)</i>
	<i>Motor</i>	<i>Ventilador</i>	
15	437	295	1,48
20	569	404	1,41
25	712	492	1,45
30	837	560	1,49
35	982	680	1,44
40	1100	757	1,45
45	1225	850	1,44
50	1358*	942*	1,44

Ao observar a Tabela 4.6, verifica-se que apesar do valor de velocidade para 50Hz ser um valor aproximado, é consideravelmente menor que os 1500rpm indicados no motor da UTA. Fazendo a divisão entre a velocidade de rotação do motor com a do ventilador obtêm-se as seguintes relações de transmissão apresentadas.

Fazendo um estudo dos valores apresentados na Tabela 4.6, obtêm-se como valor médio da relação de transmissão de 1,45. Os diâmetros das polias do motor e ventilador da UTA, são respectivamente 120mm e 180mm (medidos do centro até ao ponto mais exterior da polia), o que representa uma relação de transmissão de 1,5, e portanto semelhante à obtida através das medições efectuadas. O esquema apresentado na Figura 4.8 representa as polias do motor e ventilador da UTA.

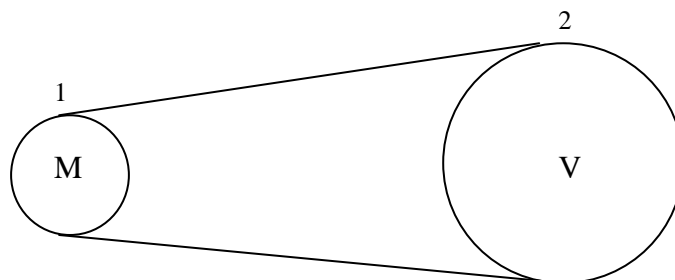


Figura 4.8 – Esquema das polias do motor e ventilador da UTA

A velocidade tangencial em 1 ( $V_1$ ), é igual à velocidade tangencial em 2 ( $V_2$ ), Fernandes, (2006). Sendo  $V=\omega \times r$ , onde  $\omega$  representa a velocidade de rotação, e  $r$  o raio da polia, então pode-se representar a relação de transmissão por:

$$\omega_{\text{motor}} \times r_{\text{polia\_do\_motor}} = \omega_{\text{ventilador}} \times r_{\text{polia\_do\_ventilador}} \Leftrightarrow \frac{\omega_{\text{motor}}}{\omega_{\text{ventilador}}} = \frac{r_{\text{polia\_do\_ventilador}}}{r_{\text{polia\_do\_motor}}} = i \quad (7)$$

Segundo os dados da Tabela 4.6 e utilizando a equação sete efectuou-se o cálculo para a relação de transmissão a implementar segundo as frequências de funcionamento de 20Hz, 25Hz, 30Hz e 35Hz anteriormente estudadas. Os resultados são apresentados na Tabela 4.7 e os cálculos demonstrados no Anexo D.

Tabela 4.7 - Relação de transmissão a aplicar

<i>Frequência (Hz)</i>	<i>Relação de transmissão (i) a aplicar</i>
20	3,4
25	2,8
30	2,4
35	2,0

Embora as frequências de 25Hz e 20 Hz, produzam um nível de ruído menor que as 30Hz e 35Hz, verifica-se que o caudal de ar novo por elas insuflado é insuficiente para se respeitar a concentração máxima de referência, definida no Decreto-Lei nº 79/2006. A limitação da ocupação do anfiteatro para taxas de ocupação próximas dos 50% (única situação em que se cumpre o RSECE nas condições de 20Hz e 25Hz) é uma medida demasiado restritiva e não realista. As opções de 30Hz e 35Hz, afiguram-se assim como as melhores opções a considerar, respeitando o regulamento numa forma mais flexível (condições descritas na secção 4.3), contudo o nível de ruído provocado nestas situações embora mais baixo que o actual, ainda é um pouco maior que os níveis recomendados, podendo causar ainda algum incomodo. A colocação de um atenuador acústico a jusante do ventilador seria a solução deste problema. As relações de transmissão sombreadas na Tabela 4.7 são as opções consideradas para a proposta de alteração da relação existente. Se a opção for  $i=2$  as renovações de ar asseguram o cumprimento do limite de CO<sub>2</sub> definido no RSECE, para valores de ocupação de 93% (calculado por interpolação dos valores da Tabela 4.6), por outro lado para  $i=2,4$  já se assegura o referido limite para taxas de ocupação de 84% (calculado efectuado pelo mesmo método).

Substituindo 2,4 e 2 na equação (7) obtêm-se uma série de diâmetros de polias que asseguram as relações pretendidas. A Tabela 4.8 apresenta alguns desses diâmetros.

Tabela 4.8 - Diâmetros das polias do motor e do ventilador para  $i = 2,4$  e  $i=2$

<i>Diâmetro das polias (mm) (i=2,4)</i>				<i>Diâmetro das polias (mm) (i=2)</i>			
<i>Motor</i>	<i>Ventilador</i>	<i>Motor</i>	<i>Ventilador</i>	<i>Motor</i>	<i>Ventilador</i>	<i>Motor</i>	<i>Ventilador</i>
66	160	100	243	80	160	100	200
68	165	105	255	83	165	105	210
70	170	110	267	85	170	110	220
72	175	115	279	88	175	115	230
74	180	120	291	90	180	120	240
76	185	125	303	93	185	125	250
78	190	130	315	95	190	130	260
80	195	135	327	98	195	135	270

Destacado a cinza encontram-se os diâmetros das polias do motor e do ventilador que de momento estão instalados. Ao lado destes apresentam-se os diâmetros necessários para se obter a relação de transmissão recomendada, caso se opte por substituir apenas uma polia. Para a adopção desta relação de transmissão foram ainda medidos os valores de pressão no interior e exterior do anfiteatro de modo a identificar a existência de sub ou sobrepressão em relação ao exterior. Os resultados estão apresentados na Tabela D.2 do Anexo D e da sua análise não se verificam grandes diferenças em relação ao exterior, existindo apenas uma ligeira sobrepressão. As duas grelhas de extracção localizadas junto ao tecto do anfiteatro serão a origem da semelhança das pressões no exterior e interior.

#### 4.5 Notas conclusivas

Do estudo efectuado neste capítulo, verifica-se que o Anfiteatro I se encontra sujeito a elevados níveis sonoros de ruído durante o funcionamento do sistema de climatização, o que vai de encontra às queixas apresentadas por vários docentes. Mesmo para frequências de funcionamento baixas, estes níveis de ruído são superiores aos valores recomendados. Os níveis sonoros registados com o sistema desactivado sugerem ainda uma fraca insonorização do espaço. Tendo tudo isto em atenção, a possibilidade da aplicação de atenuadores acústicos nas condutas a jusante do ventilador do sistema, afigura-se como uma opção a ter seriamente em conta no futuro, sendo mesmo a única maneira de reduzir os níveis de ruído do sistema para níveis aceitáveis de acordo com a legislação. Esta seria uma medida também descrita no PACQAI referido nas notas conclusivas do capítulo 3.

Após a análise dos caudais de ar novo insuflados para as diferentes frequências de funcionamento e diferentes taxas de ocupação, e depois de tomado o compromisso entre

nível de ruído provocado e cumprimento do limite de CO<sub>2</sub> definido no Decreto-Lei n.º79/2006, surgiu a proposta de alteração da relação de transmissão de 1,4, para 2 ou 2,4, permitindo esta última, uma ocupação ligeiramente menor (84%) que, a anterior (93%). Em acréscimo a admissão de retorno deverá estar ¼ aberta para se obter os resultados desejados.

## ***Capítulo 5 - Esboço de plano de manutenção***

Segundo o artigo 19º do Decreto – Lei nº79/2006, todas as instalações e equipamentos abrangidos pelo regulamento devem possuir um Plano de Manutenção Preventiva que seja elaborado e permanentemente actualizado sob a responsabilidade de técnicos específicos com competências e qualificações definidas no artigo 21º do Regulamento, e que estabeleça claramente as tarefas de manutenção previstas. Segundo o ponto 4 do artigo 19º do Decreto-Lei nº79/2006, este plano de manutenção deve ter a sua existência com provada pelo SCE, sendo esta uma condição necessária à emissão do certificado emitido pelo perito qualificado, no âmbito do SCE. Esta exigência do Decreto-Lei nº79/2006, reflecte a importância que a manutenção e limpeza dos sistemas de AVAC têm, na redução de potenciais fontes de poluição nos edifícios, (Pasanen, 2007).

O DEM-FCTUC não possui de momento um plano de manutenção dos sistemas de climatização. Assim, neste trabalho seguiu-se as orientações definidas na pesquisa bibliográfica (Costa, 2008b; Mediar, 2008), para se elaborar um esboço de plano de manutenção do sistema de climatização que serve o edifício.

### **5.1 Esboço do Plano de Manutenção Preventiva**

As tarefas de manutenção preventiva que constituem o esboço do Plano de Manutenção Preventiva para os equipamentos de climatização específicos do sistema do DEM – FCTUC (descrito no segundo capítulo da presente dissertação), encontram-se abaixo descritas, sendo que no Anexo E se apresentam de forma mais esquemática e resumida através de tabelas.

Todas as Entradas de ar novo e aberturas de exaustão – Deve-se verificar anualmente o estado de contaminação, deterioração e corrosão, limpando e corrigindo sempre que necessário.

UTAs do Auditório, Anfiteatro I, Biblioteca e Apoio informático (geral) – Deve-se verificar o estado de contaminação, deterioração e corrosão anualmente, limpando e corrigindo sempre que necessário. Deve-se verificar também a existência de depósitos ou

manchas de água de seis em seis meses e proceder à limpeza e determinar a causa sempre que necessário.

Filtros de ar das UTAs – Deve-se verificar o estado de contaminação, odores e deterioração (fugas) de três em três meses, e sempre que necessário mudar o filtro defeituoso, se este não foi mudado há mais de seis meses. A pressão diferencial verificar-se-á de mês a mês e o filtro será mudado se necessário. O primeiro nível de filtração deve ser verificado de doze em doze meses e substituído sempre que necessário. O segundo nível de filtração deve ser verificado de vinte e quatro em vinte e quatro meses e substituído sempre que necessário. As condições de higiene também devem ser verificadas numa inspecção higiénica, devendo-se proceder à limpeza e determinação das causas sempre que necessário.

Condutas de insuflação, retorno e extracção das UTAs e atenuadores de som – Deve-se verificar o estado das aberturas de acesso às condutas de doze em doze meses e corrigir sempre que necessário. Deve-se verificar o estado de contaminação e corrosão em dois ou três pontos representativos do interior das condutas de doze em doze meses e sempre que necessário limpar a secção relevante e determinar a causa destes fenómenos. As condições de higiene da rede de condutas num ponto representativo devem ser verificada através de uma inspecção higiénica. Sempre que más condições sejam identificadas deve-se proceder à limpeza da secção relevante e determinar-se as causas da ocorrência de sujidade. Quanto aos atenuadores de som, quando estes vierem a ser implementados deve-se verificar o estado de contaminação, deterioração e corrosão, de doze em doze meses.

Baterias de aquecimento e arrefecimento das UTAs – De três em três meses o estado de contaminação, deterioração e corrosão deve ser verificado, sendo a limpeza efectuada se necessário. O bom funcionamento das baterias de arrefecimento e de aquecimento também deve ser assegurado trimestralmente assim como o estado (contaminação, deterioração e corrosão) do tabuleiro de condensados e separador de gotas, devendo estas situações serem corrigidas se vierem a ser identificadas. De seis em seis meses deve proceder-se à limpeza da bateria de arrefecimento e do tabuleiro de condensados e separador de gotas. As condições de higiene devem ser verificadas através de uma inspecção higiénica.

Torres de arrefecimento do piso 2 e ventiladores – De ano a ano, devem se verificar o estado de deterioração e corrosão, devendo-se proceder a reparações se necessário. De seis em seis meses todo o sistema de limpeza deve ser despejado e limpo. O caudal de purga deve ser verificado regularmente de seis em seis meses. Também de seis em seis meses deverá proceder-se a uma análise microbiológica da água circulante, para pesquisa de *Legionella* e de bactérias aeróbias totais, procedendo-se à limpeza e desinfecção se



necessário. Se a contagem de bactérias aeróbias totais exceder o valor de 10 000 UFC/ml, deverá proceder-se à desinfecção. Se no teste à *Legionella* o valor de UFC estiver entre 10 e 100 a torre deve ser desinfetada, realizando-se uma nova análise à água duas semanas mais tarde. Se por outro lado se for detectado mais de 100 UFC/ml, deverá restringir-se o acesso à zona próxima circundante e ser feita uma desinfecção de emergência. Uma nova análise deve ser feita ao fim de duas semanas. As condições de contaminação, deterioração e corrosão do ventilador devem ser verificadas de seis em seis meses, procedendo-se à limpeza e reparação se necessário. Anualmente deve-se limpar as partes do ventilador em contacto com o ar, bem como a drenagem de eventual condensado.

Unidades terminais (radiadores e unidades de ar condicionado de salas e gabinetes) – Verificar de três em três meses, o estado de contaminação dos equipamentos terminais equipados com entrada de ar exterior, substituindo os filtros e limpando o equipamento sempre que necessário. O estado de contaminação dos equipamentos terminais com recirculação de ar deve ser controlado anualmente, substituindo-se os filtros e limpando o equipamento sempre que necessário. O estado da contaminação das baterias das unidades sem filtros devem ser observados semestralmente, procedendo-se à limpeza a vácuo se necessário. Os filtros de ar devem ser substituídos de vinte e quatro em vinte e quatro meses e os componentes através dos quais o ar secundário circula (sem filtros de ar) devem ser limpos anualmente.

## *Capítulo 6 – Conclusões gerais*

### **6.1 Conclusões**

A realização deste trabalho inseriu-se no âmbito da aplicação do novo RSECE aprovado pelo Decreto-Lei nº 79/2006, e apresentou um contributo para a avaliação das condições QAI e conforto térmico do DEM – FCTUC. Tendo a análise e proposta de melhoria do anfiteatro I, ocupado uma parte considerável deste estudo (quarto capítulo), justificou-se a atribuição do subtítulo apresentado.

Da informação recolhida pelos questionários atribuídos aos alunos, conclui-se que na sua maioria, estes tem uma opinião favorável acerca da QAI e conforto térmico, não tendo indicado a presença frequente dos problemas da QAI apresentados, bem como sintomas relacionados com estes problemas, e nem exprimido desejos em relação a alterações no conforto térmico (salvo algumas excepções).

Durante a inspecção visual efectuada, conclui-se que pobres condições higiénicas são comuns em alguns dos espaços do DEM – FCTUC, inclusive nas salas e instalações dos equipamentos de climatização do edifício, como se pode confirmar pelas imagens recolhidas. Verificou-se também que a manutenção destes é praticamente inexistente, apresentando alguns dos seus constituintes em condições de deterioração. Da inspecção visual também se observou que algumas das salas deste estabelecimento apresentavam lotações elevadas, para as condições de espaço e ventilação existente. Aliás isto é patente na monitorização da concentração de CO<sub>2</sub> e PM efectuada. Desta monitorização conclui-se que a concentração de CO<sub>2</sub> facilmente excedeu a concentração de referência (não conformidade) estabelecidas no Decreto -Lei nº 79/2006, só tendo ficado abaixo dos limites legais num dos ensaios. Na monitorização da concentração de PM efectuada verificou-se que os valores de PM 10 respeitaram os limites legais. Em termos de humidade relativa e temperatura, verificou-se que os valores se situaram quase na sua totalidade dentro dos intervalos de conforto.

Ao se ter excedido os valores de concentração de referência do CO<sub>2</sub>, seria necessário implementar medidas correctivas da QAI descritas num PACQAI, para o DEM – FCTUC obter um certificado da QAI do SCE.

Do estudo efectuada sobre o sistema de Anfiteatro I comprova-se que os valores de ruído são efectivamente muito elevados, excedendo os valores recomendados para a

realização de aulas. Após a análise efectuada sobre a concentração máxima de referência de CO<sub>2</sub> e renovações de ar no anfiteatro conclui-se que o caudal mínimo de ar novo a insuflar pelo sistema de modo a cumprir o RSECE, é sensivelmente o mesmo que os 30m<sup>3</sup>/h.ocupante definidos no Anexo VI do regulamento. Em relação à admissão de retorno, optou-se por a deixar ¼ aberta. Após o estudo efectuada sobre os diferentes caudais de ar novo insuflados e do compromisso entre o cumprimento dos limites de CO<sub>2</sub> definidos no RSECE e menor nível de ruído adoptado para a proposta de correcção da relação de transmissão entre o motor e o ventilador, conclui-se que as relações de 2,4 e 2 serão a melhor opção a ter em conta, sendo a diferença entre as duas a possibilidade de uma ocupação do anfiteatro, um pouco maior para  $i=2$  (93% em detrimento dos 84% de  $i=2,4$ ). Contudo estas soluções, ainda comportam a produção de níveis de ruído elevados, sendo a aplicação de atenuador acústico a jusante do ventilador da UTA a única solução para o problema do ruído provocado pelo sistema.

A não existência de um Plano de Manutenção Preventiva no DEM – FCTUC levou à elaboração do esboço apresentado no capítulo 5.

Da comparação dos resultados apresentados com os objectivos enunciados na secção 1.2 do capítulo 1 pensa-se que o trabalho realizado e descrito neste documento foi de encontro ao previamente definido.

## **6.2 Sugestões para trabalhos futuros**

- Fazer um estudo sobre os equipamentos de ventilação a instalar nas salas de aulas, com o fim de assegurar o cumprimento dos limites definidos pelas concentrações de referência do Decreto-Lei nº 79/2006.
- Realizar uma auditoria QAI mais completa, nomeadamente no que diz respeito à análise microbiológica: bactérias, fungos e pesquisa de *Legionella* em amostras de água das torres de arrefecimento.

## *Referências Bibliográficas*

- ADAI. Associação para o Desenvolvimento da Aeronáutica Industrial. Estudo de Conforto Térmico, Avaliação Pessoal. Inquérito.
- ADENE (2008). Dados da Agência para a Energia, disponível em <http://www.adene.pt/> (acedido no dia 5-07-2008).
- Almeida, Daniel. (2007). Auditoria de Qualidade do Ar Interior de um Edifício existente. Projecto Ambiental no Âmbito da Licenciatura em Engenharia do Ambiente, Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Portugal, 30 pp.
- Andersson, K.; Stridh G. (1992). The use of Standardized Questionnaires in Building Related Illness (BRI) and Sick Building Syndrome (SBS) Surveys. NATO/CCMS - Pilot Study on Indoor Air Quality, 44-64.
- ANCCT<sup>2</sup> (2008). Análise directas ao Ar -Documento informativo, disponível em <http://www.cienciaviva.pt> (acedido em 16-06-2008).
- APA (2008). Base de Dados On-line sobre a Qualidade do ar da Agência Portuguesa do Ambiente, disponível em [www.qualar.org](http://www.qualar.org) (acedido no período entre 11-06-2008 a 12-06-2008).
- Braniš, M., Řezáčova, P., Domasová, M. (2005). The effect of outdoor air in human activity on mass concentrations of PM 10, PM 2.5 PM 1 in a classroom. *Environmental Research* 99 (2): 143–149.
- Caderno das peças desenhadas do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Portugal.
- Cheong, K. W., Chong, K. Y. (2001). Development and application of an indoor air quality audit to an air-conditioned building in Singapore. *Building and Environment* 36 (2): 181-188.
- Cheong, K. W. D., Lau, H. Y. T. (2003). Development and application of an indoor air audit to an air-conditioned tertiary institutional building in the tropics. *Building and Environment* 38 (4): 605-616.
- Corgnati, S. P., Filippi, M., Viazzo, S. (2007). Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort. *Building and Environment* 42 (2): 951-959.

---

<sup>2</sup> Sigla nossa. Efectuada de modo a simplificar as citações

- Costa, J. (2008a). Análise da evolução transiente num espaço uni - zona com taxas constantes de produção de poluente e de renovação do ar (CO<sub>2</sub>). Documento Técnico.
- Costa, J. (2008b). Manutenção higiénica dos sistemas de AVAC: Princípios gerais, Plano de Manutenção Preventiva. Cursos SCE, Módulo RSECE-QAI, secção 5.3. Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra, Portugal.
- Costa, J., Lopes, António. (2008). Caracterização do ar interior. Cursos SCE, Módulo RSECE-QAI, secção 3.1. Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra, Portugal.
- Decreto-Lei nº 292/2002 de 14 de Novembro. Publicado em Diário da Republica, 1ª Série, Nº 263. Aprova o Aprova o regime legal sobre poluição sonora, também designado "Regulamento Geral do Ruído"
- Decreto-Lei nº 129/2002 de 11 de Maio. Publicado em Diário da Republica, 1ª Série, Nº 109. Aprova o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios.
- Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de Abril. Publicado em Diário da República, 1ª Série, Nº 67. Aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios.
- Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril. Publicado em Diário da República, 1ª Série, Nº 67. Aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.
- Decreto-Lei nº 9/2007 de 17 de Janeiro. Publicado em Diário da República, 1ª Série, Nº 12. Aprova o Regulamento Geral do Ruído.
- ECSE (2008). *ChangSung Enginerring CO., Ltd.*, disponível em [www.ecse.co.kr](http://www.ecse.co.kr) (acedido no período de 10-08-2008 a 17-08-2008).
- Fluke (2008). *Fluke Corporation*, Empresa de fabrico e distribuição e serviços de software e instrumentos de medição electrónicos, disponível em <http://us.fluke.com> (acedido em 16-07-2008).
- Gameiro, M. (2008a). Conforto Térmico. Cursos SCE, Módulo RSECE-QAI, secção 4.1. Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra, Portugal.
- Gameiro, M. (2008b). Medições de concentração de gases. Cursos SCE, Módulo RSECE-QAI, secção 3.4. Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra, Portugal.
- Gameiro, M (2008c). A poluição no ambiente interior. Cursos SCE, Módulo RSECE-QAI, secção 2. Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra, Portugal

- Gupta, S., Khare, M., Goyal, R. (2007). Sick building syndrome - A case study in a multistory centrally air-conditioned building in the Delhi City. *Building and Environment* 42 (8): 2797-2809.
- Google Earth 4.2 (2008). Programa de identificação geográfica – Versão gratuita. Acedido em Julho de 2008.
- Heudorf, U., Neitzert, V., Spark, J. (2007). Particulate matter and carbon dioxide in classrooms – The impact of cleaning and ventilation, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, disponível em [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) (acedido no período de 2-04-2008 a 18-08-2008).
- Lamas, F. (2008). Auditorias periódicas da QAI a edifícios existentes. Cursos SCE, Módulo RSECE-QAI, secção 6.4. Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra, Portugal.
- Memória Descritiva e Justificativa do Projecto de arquitectura do DEM. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Memória descritiva do Projecto de instalação dos equipamentos mecânicos do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Faculdade de Ciências e Tecnologia de Coimbra, Portugal.
- Oliveira, A, R. (2007). Qualidade do Ar Interior.: Sistema de Certificação Nacional de Certificação Energética e QAI nos Edifícios. Apresentação dirigida ao Curso de mestrado em Eng<sup>a</sup> do Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Portugal.
- OSHA (2006). OSHA – Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho. O ruído em número – Folheto informativo, disponível em <http://lu.osha.europa.eu> (acedido em no período entre de 5-05-2008 a 16-09-2008).
- Pasanen, P., Müller, B., Holopainen, R., Railio, J., Ripatti, H., Olle, B., Haapalaie, K. (2007). *A limpeza nos sistemas de ventilação*, Manual nº 8. Lisboa, Portugal: Rehva.
- Portaria nº 461/2007 de 5 de Junho de 2007. Publicada em Diário da Republica, 2<sup>a</sup> Série, Nº 108. Define a calendarização da aplicação do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar.
- Reijula, K., Saudman-Digert, C. (2004). Assessment of indoor air problems at work with a questionnaire. *Occupational and Environmental Medicine* 61: 33-38.
- Santamouris, K., Synnefa, A., Assimakopoulos, M., Livada, I., Pavlou, K., Papaglastra, M., Gaitani., Kolokosta, D., Assimakopolous, V. (2008). Experimental

investigation of the air flow and indoor carbon dioxide concentration in classrooms with intermittent natural ventilation. *Energy and Buildings* 40 (10): 1833-1843.

- THKSAR<sup>3</sup> (2003). THKSAR - The Hong Kong Special Administrative Region. A Guide on Indoor Air Quality Certification Scheme for Offices and Public Places. Guia do esquema de certificação da QAI para escritórios e espaços públicos, do Governo da Região Administrativa Especial de Hong-Kong, China. 32pp.
- Tippayawong, N., Khuntong, P., Nitatwichit, C., Yottana, K., Tantakitti, C. (2008). Indoor/outdoor relationships of size-resolved particle concentrations in naturally ventilated school environments. *Building and Environment*, disponível em [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) (acedido no período de 2-04-2008 a 18-08-2008).
- UHV (2007). UHV – Universidade de Houston – Victoria. Indoor Air Quality (IAQ) Management Plan Procedure. Plano de manutenção da QAI da Universidade de Houston-Victoria, EUA, disponível em [www.uhv.edu](http://www.uhv.edu) (acedido em 8-07-2008).
- Wang, B., Takigawa, T., Yamasaki, Y., Sakano, N., Wang, D., Ogino, K. (2008). Symptom definitions for SBS (sick building syndrome) in residential dwellings. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 211 (1-2): 114-120.
- WHO (2006). WHO – Organização mundial de Saúde. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Guia da qualidade do ar para as partículas suspensas no ar, ozono, dióxido de azoto e dióxido de enxofre, da WHO, disponível em [www.who.int](http://www.who.int) (acedido no período de 16-06-2008 a 18-08-2008).
- Zefon (2008). *Zefon International*, Empresa de fabrico e distribuição de equipamentos de amostragem, disponível em [www.zefon.com](http://www.zefon.com) (acedido em 17-08-2008).

---

<sup>3</sup> Sigla nossa. Efectuada de forma a simplificar as citações

## *Anexos*



Tabela A.1.  
Concentrações máxima de referência de poluentes no interior dos edifícios existentes de acordo com o RSECE (Anexo VII)

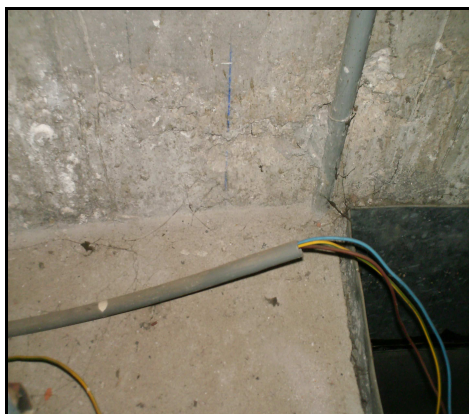
<i>Parâmetros</i>	<i>Concentração máxima de referência (mg/m<sup>3</sup>)</i>
Partículas suspensas no ar (PM10)	0,15
Dióxido de carbono	1800 (1000ppm)
Monóxido de carbono	12,5
Ozono	0,2
Formaldeído	0,1
Compostos orgânicos voláteis totais	0,6

$\text{ppmv} = [(\text{mg}/\text{m}^3)(273.15 + T)] / [(12.187)(Mn)]$ , (Gameiro, 2008c), onde:

Mn = Massa molecular do gás poluente  
T = Temperatura ambiente em graus Celsius

Tabela A.2. Caudais mínimos de ar novo de acordo com o RSECE (Anexo VI)

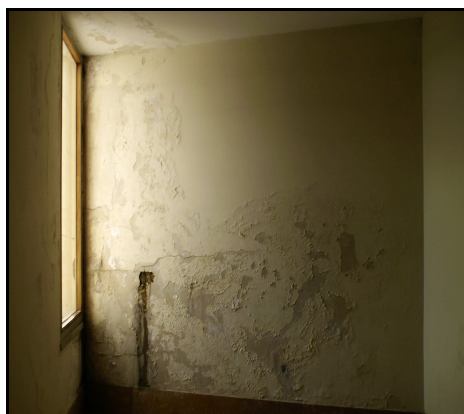
<i>Tipo de actividade</i>		<i>Caudal mínimo de ar novo</i>		
		<i>[m<sup>3</sup>/(h.ocupante)]</i>	<i>[m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>)]</i>	
Residencial	Sala de estar e quartos	30		
Comercial	Sala de espera	30		
	Lojas de comercio		5	
	Áreas de armazenamento		5	
	Vestiários		10	
	Supermercados		5	
			30	
Serviço de refeições	Salas de refeições	35		
	Cafetarias	35	35	
	Bares, salas de <i>coktail</i>	35	35	
	Sala de preparação de refeições	30		
Empreendimentos turísticos	Quartos/suites	30		
	Corredores/ átrios		5	
Entretenimento	Corredores/átrios		5	
	Auditório	30		
	Zona de palco, estúdios	30		
	Café/ <i>foyer</i>	35	35	
	Piscinas		10	
	Ginásio	35		
	Serviços	Gabinetes	35	5
		Salas de conferência	35	20
Salas de assembleia		30	20	
Salas de desenho		30		
Consultórios médicos		35		
Salas de recepção		30	15	
Salas de computador		30		
Escolas	Elevadores		15	
	Salas de aula	30		
	Laboratórios	35		
	Auditórios	30		
	Bibliotecas	30		
Hospitais	Bares	35		
	Quartos	45		
	Áreas de recuperação	30		
	Áreas de terapia	30		



Figuras B.1 – Conduto de retorno (esq) e secção de filtragem do Anfiteatro I (dirt)  
(15-05-2008)



Figuras B.2 – Filtros da UTA do apoio informático (esq) e da UTA da Biblioteca (dirt)  
(15-05-2008)



Figuras B.3 – Presença de humidade e bolor na entrada para a sala de trabalho da biblioteca (esq) e  
num dos corredores do 4º piso (dirt)  
(27-03-2008)

## Questionário sobre a qualidade do ar e conforto térmico do DEM

### Idade:

17-34       35-44       45-54       >55

### Sexo:

Masculino       Feminino

### Ocupação:

Estudante       Funcionário       Docente

### Fumador:

Sim       Não

**1 - Dos seguintes problemas relacionados com o ambiente interior, diga, no seu entender quais se fizeram sentir neste espaço no último semestre.**

	Sim, com frequência (todas as semanas)	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"/>
Odores desagradáveis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ruído	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Correntes de ar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**2 - Diga se no último semestre sentiu alguns destes sintomas relacionados com problemas de qualidade do ar**

Irritação do nariz; tosse; garganta seca ou rouca; ardor ou irritação dos olhos

Sim, com frequência  
(todas as semanas)

Sim  
(algumas vezes)

Não

**3 a) – Ambiente térmico. Por favor, assinale na escala seguinte a posição, que melhor representa a sua sensação neste momento:**

Muito frio

Frio

Ligeira/ Frio

Neutro

Ligeira/ Quente

Quente

Muito quente

**3 b) – Considera o ambiente térmico**

Inaceitável

Aceitável

**3 c) – Indique o seu desejo em termos de conforto térmico.**

Mais quente

Sem alterações

Mais frio

**4 a) – Seleccione a condição que melhor representa aquilo que sente neste momento sobre o MOVIMENTO DO AR neste espaço.**

Muito aceitável

Moderadamente aceitável

Pouco aceitável

Pouco Inaceitável

Moderadamente inaceitável

Muito inaceitável

**4 b) – Preferia:**

Mais movimento do ar

Sem alterações

Menos Movimento do ar

Obrigado!



Figura C.1 – Medidor de CO<sub>2</sub> Fluke 975 Air Meter (Fluke, 2008)



Figura C.2 – Medidor de partículas Lighthouse Worldwide Solutions, modelo 3016 IAQ (Zefon, 2008)

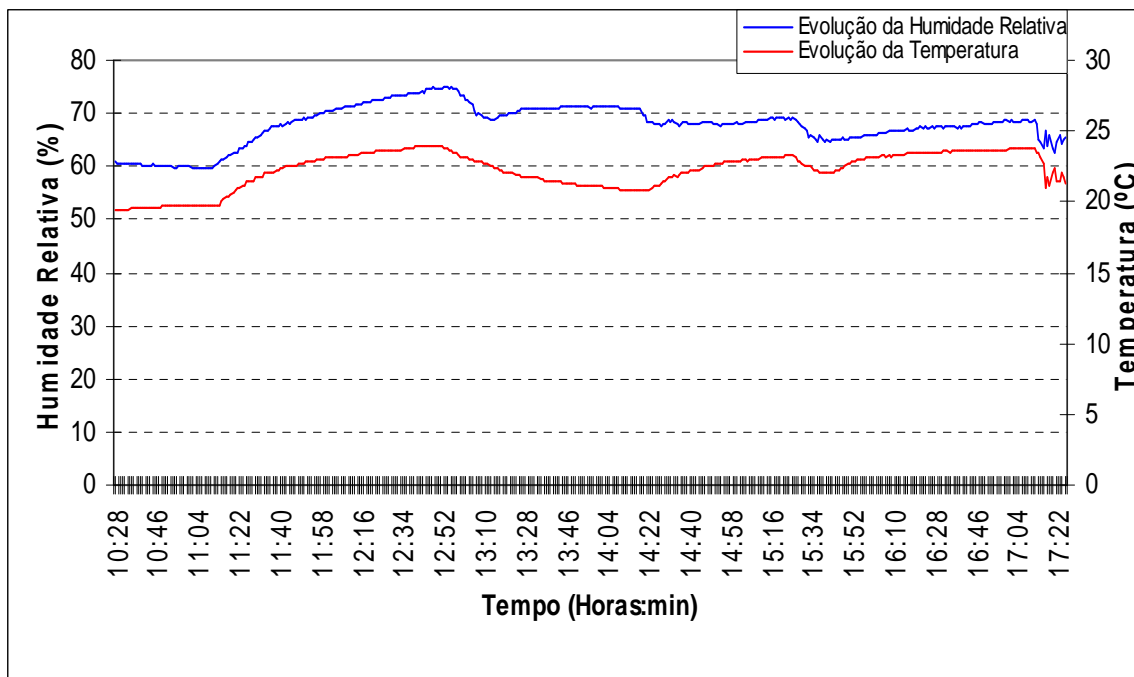


Figura C.3 – Evolução da temperatura e humidade relativa na sala 3.4 (20-05- 2008)

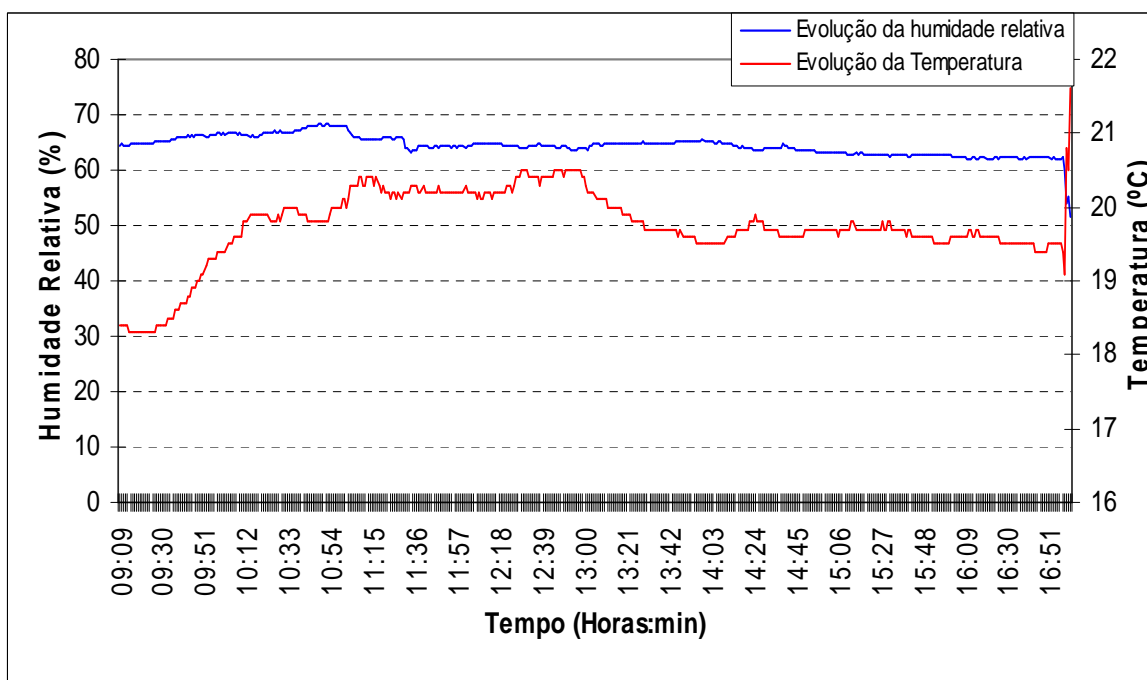


Figura C.4 – Evolução da temperatura e humidade relativa na sala 6.4 (27-05-2008)

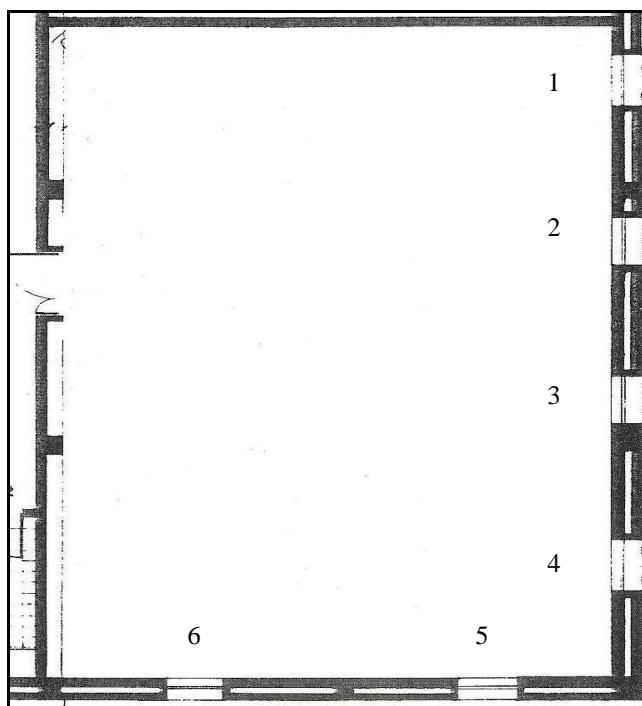


Figura C.5 – Planta da sala 6.4

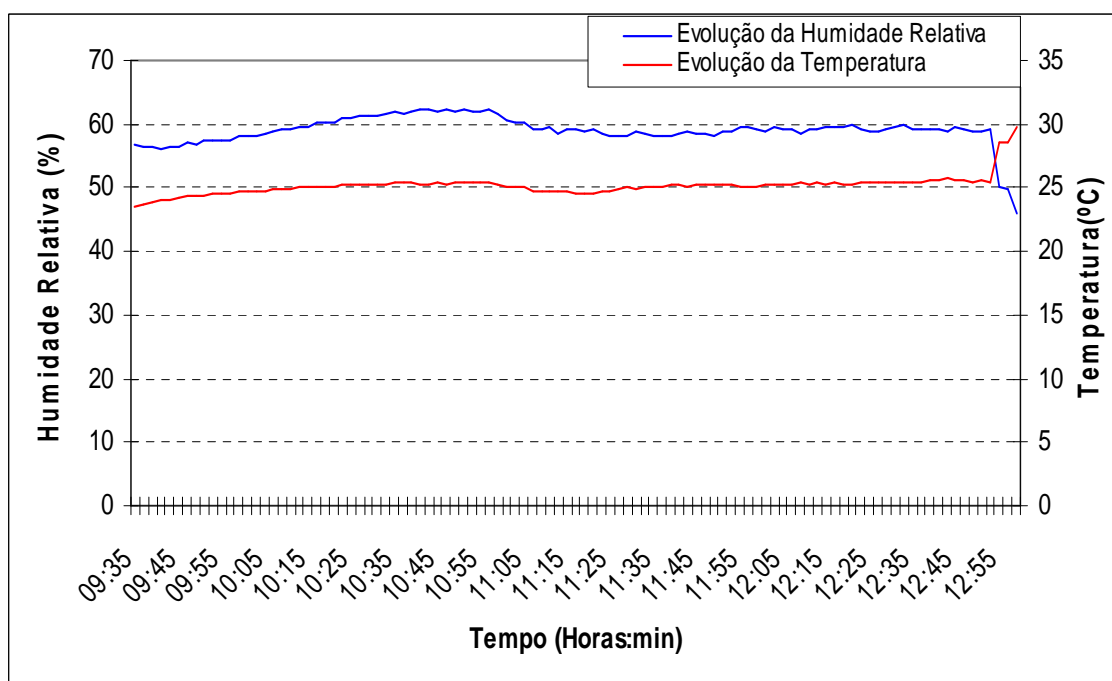


Figura C.6 – Evolução da temperatura e humidade relativa na sala 6.4 (25-06-2008)



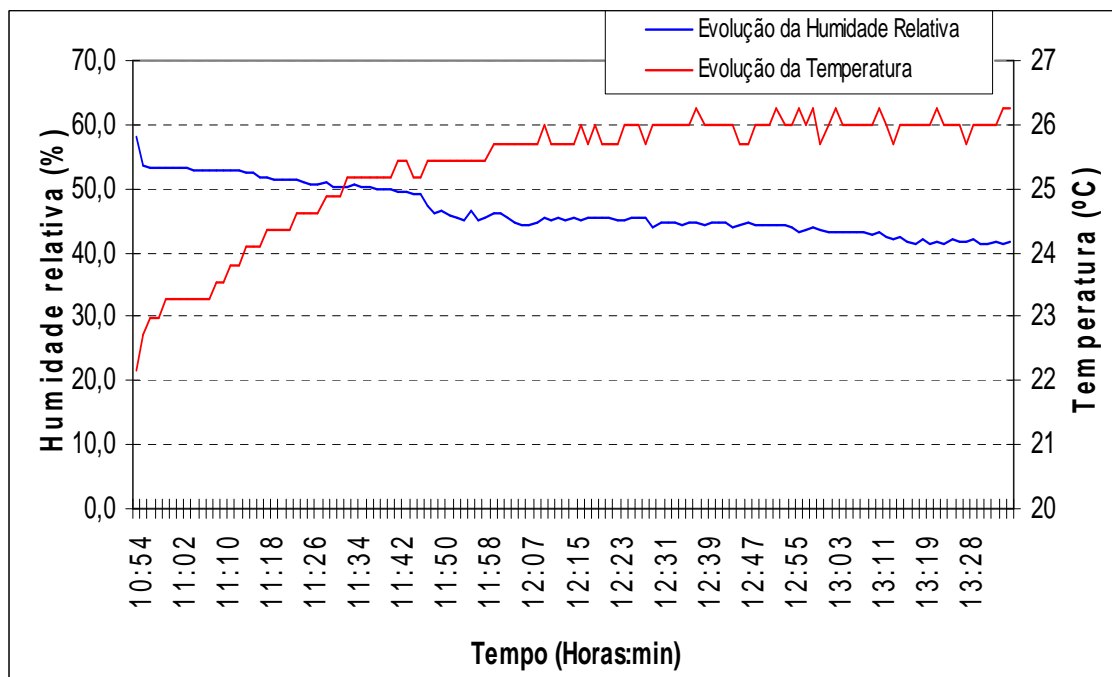


Figura C.7 – Evolução da temperatura e humidade relativa na sala de Informática II (12 -06- 2008)

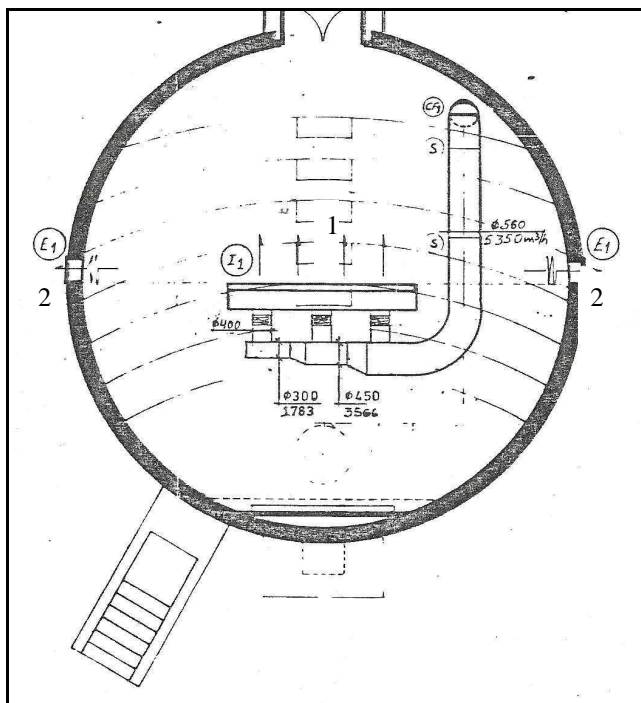


Figura D.1 – Planta do sistema de climatização do Anfiteatro I. 1 – Grelha de insuflação, 2 – grelhas de extracção

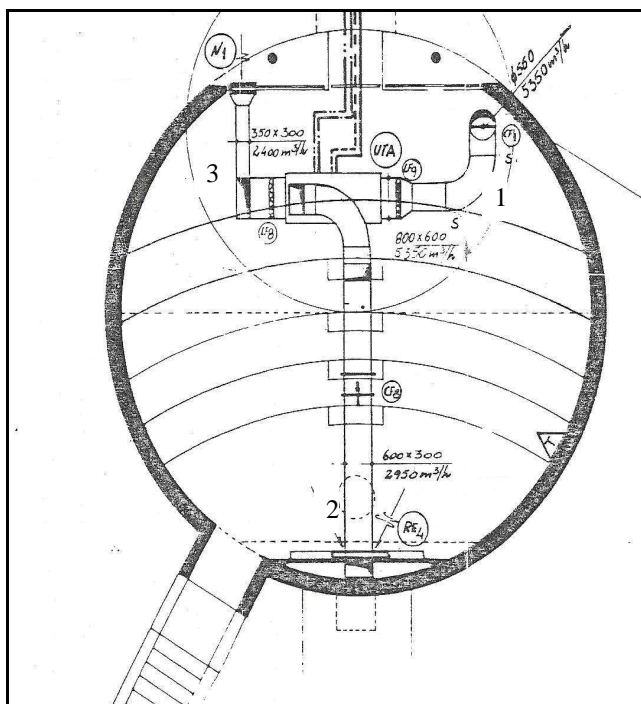


Figura D.2 – Planta do sistema de climatização do Anfiteatro I 1-Conduto de insuflação, 2 – conduta de retorno, 3 – conduta de ar novo



Figura D.3 – Sonómetro Brüel Kjaer 2260 – Investigator (Landscentret, 2008)



Figura D.4 – Multifunções da TESTO, Modelo 445 (ECSE, 2008)

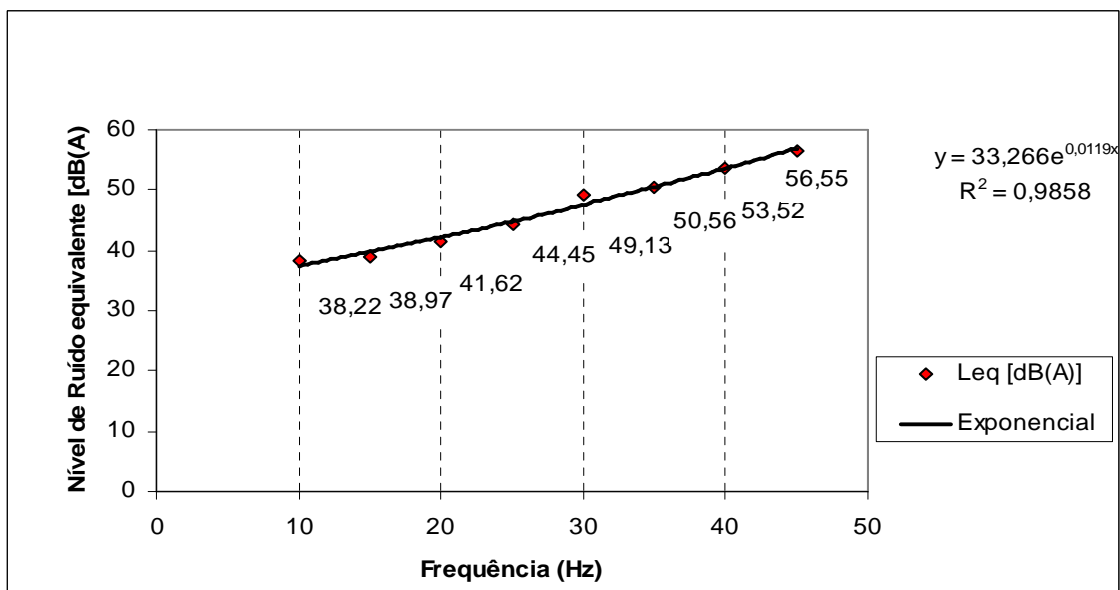


Figura D.5 – Melhor aproximação aos níveis de ruído para as diferentes frequências de funcionamento

**Metodologia do valor do LAeq do ruído ambiente determinado durante a ocorrência de um ruído particular, de acordo com o Anexo I do Decreto-Lei nº 9/2007, de 17 de Janeiro.**

O valor do LAeq do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular deverá ser corrigido de acordo com as características tonais ou impulsivas do ruído particular, passando a designar-se por nível de avaliação, LAr, aplicando a seguinte fórmula:

1.  $LAr = LAeq + K1 + K2$

2. onde K1 é a correcção tonal e K2 é a correcção impulsiva.

3. Estes valores serão  $K1 = 3 \text{ dB}$  ou  $K2 = 3 \text{ dB}$  se for detectado que as componentes tonais ou impulsivas, respectivamente, são características essenciais do ruído particular ou serão  $K1 = 0 \text{ dB}$  ou  $K2 = 0 \text{ dB}$  se estas componentes não forem identificadas. Caso se verifique a coexistência de componentes tonais e impulsivas, a correcção a adicionar será de  $K1 + K2 = 6\text{dB}$ .

4. O método para detectar as características tonais do ruído dentro do intervalo de tempo de avaliação consiste em verificar, no espectro de um terço de oitava, se o nível de uma banda excede o das adjacentes em 5 dB ou mais, caso em que o ruído deve ser considerado tonal.

5. O método para detectar as características impulsivas do ruído dentro do intervalo de tempo de avaliação consiste em determinar a diferença entre o nível sonoro contínuo equivalente, LAeq, T, medido em simultâneo com característica impulsiva e fast. Se esta diferença for superior a 6 dB, o ruído deve ser considerado impulsivo.

## Nível de ruído provocado pelo funcionamento do sistema a 30Hz

Na Figura D.6 verifica-se a maior contribuição da frequência de 500Hz para o nível de ruído LAeq que o sistema provoca.

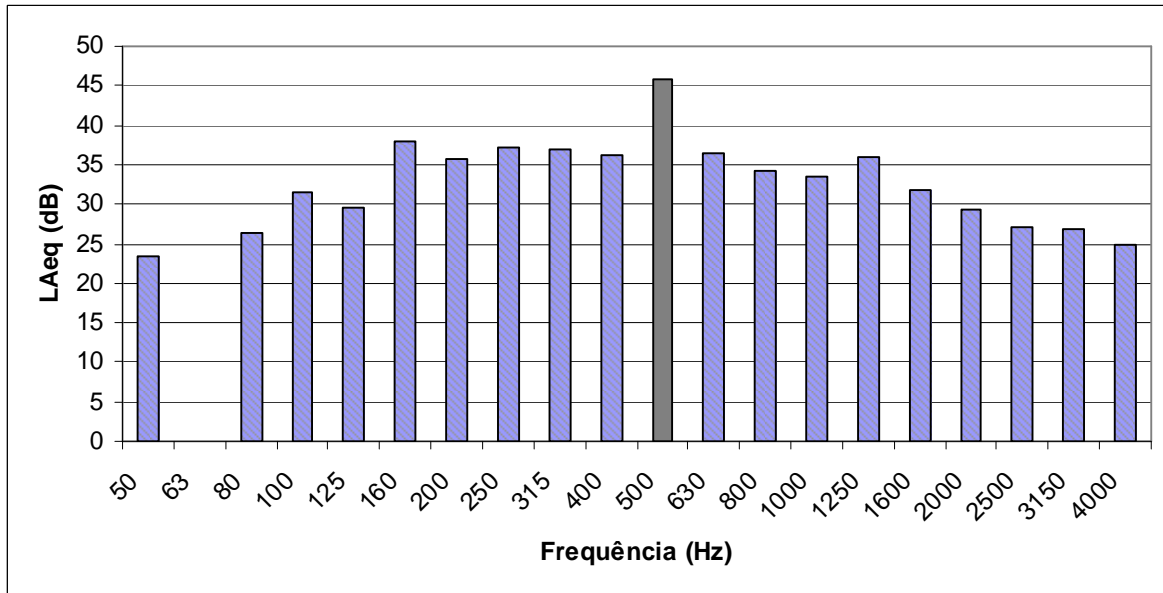


Figura D.6 – Espectro de bandas de 1/3 de oitava para o ruído de funcionamento do sistema a 30Hz

Tabela D.1 – Quadro IV do Anexo do Decreto-Lei 129/2002  
[no que se refere ao artigo 7.º, n.º1, alínea f)]

Locais	Nível de avaliação, $L_{Ar}$
Biblioteca	$L_{Ar} < 38 \text{ dB (A)}$ (se o funcionamento do equipamento for intermitente). $L_{Ar} < 33 \text{ dB (A)}$ (se o funcionamento do equipamento for contínuo)
Restantes locais de recepção indicados no quadro II*	$L_{Ar} < 43 \text{ dB (A)}$ (se o funcionamento do equipamento for intermitente). $L_{Ar} < 38 \text{ dB (A)}$ (se o funcionamento do equipamento for contínuo).

**Nota sobre o Quadro:**

\* Os restantes locais de recepção indicados no quadro II do regulamento incluem: salas de aula, de professores, administrativas, de aula musical, polivalentes; bem como ginásios, refeitórios, oficinas e corredores de grande circulação

Para este efeito, o Anfiteatro I foi considerado uma sala de aula

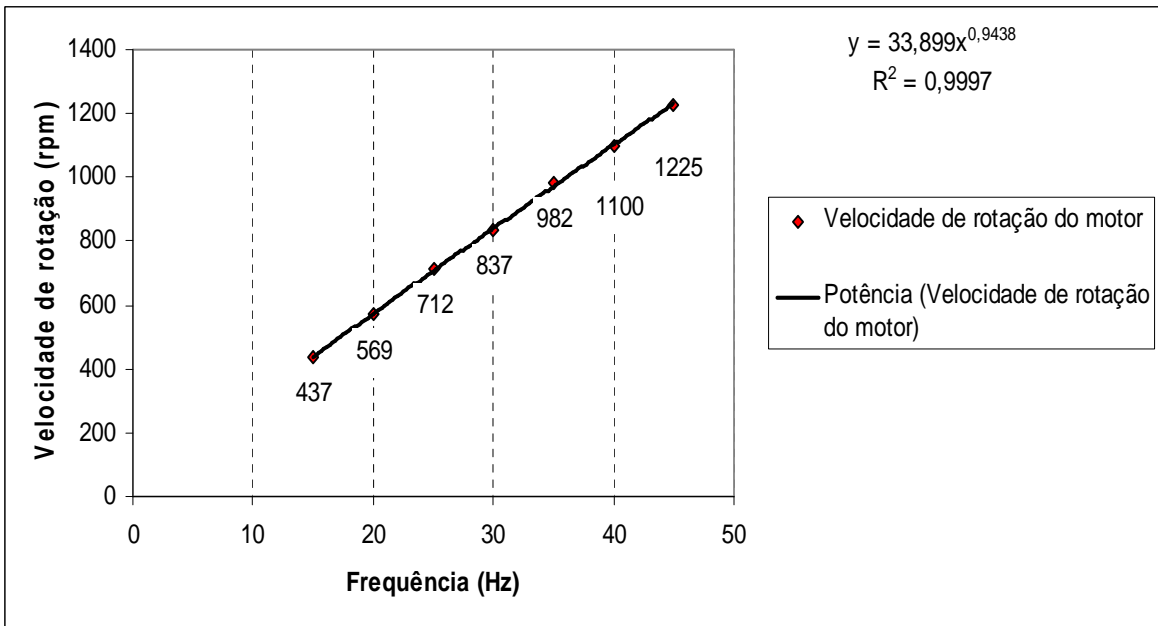


Figura D.7 – Melhor aproximação às velocidades de rotação do motor

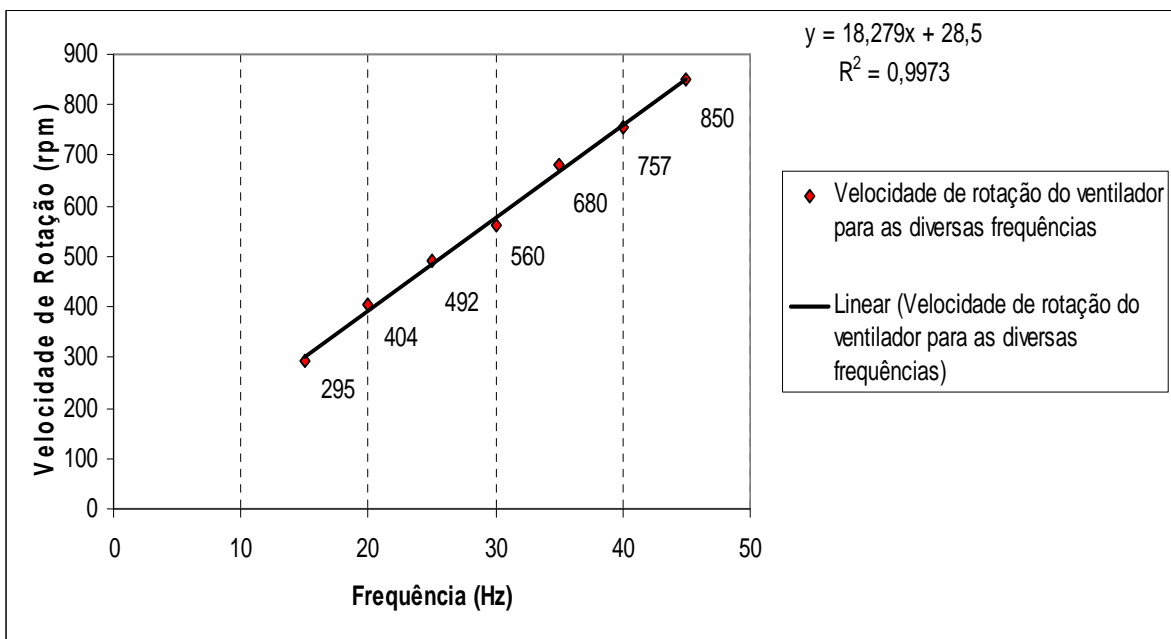


Figura D.8 – Melhor aproximação à velocidade de rotação do ventilador

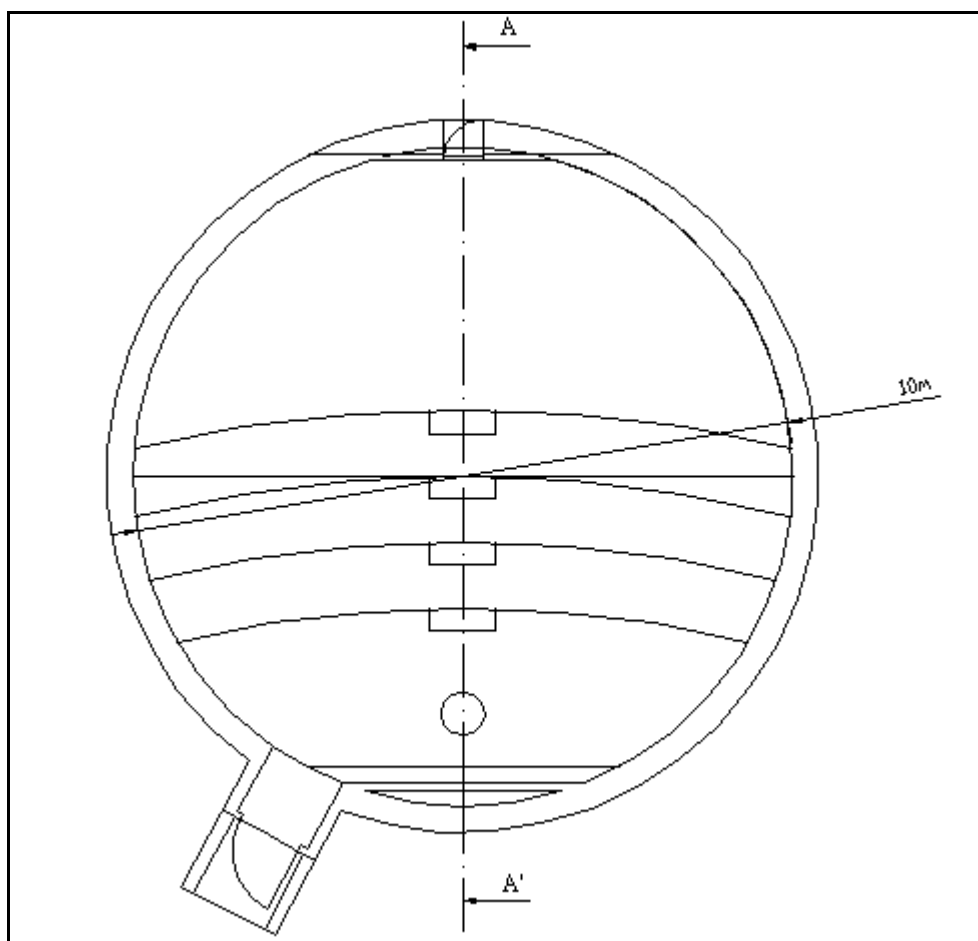


Figura D.9 – Planta do Anfiteatro I

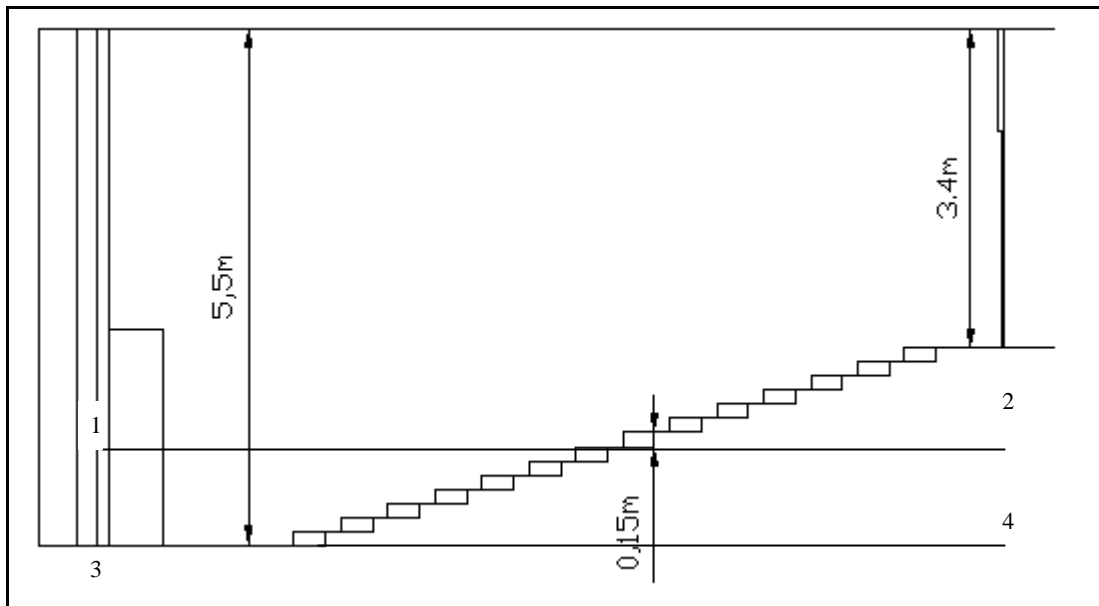


Figura D.10 – Corte A – A' referente ao Anfiteatro I

### Simplificações adoptadas e metodologia de cálculo do volume do anfiteatro I

- O volume do anfiteatro foi aproximado ao de um cilindro;
- A influência do degrau existente no tecto onde se acomoda a grelha de insuflação não foi tida em conta;
- Volume correspondente ao cilindro formado pelos pontos 1,2,3,4 foi subtraído ao volume do cilindro total, de maneira a compensar a parte do anfiteatro ocupada pela estrutura dos degraus

$$\text{Volume}_{\text{anf.I}} = \text{Volume total} - \text{Volume}_{1,2,3,4}$$

D.1

### Cálculos referentes à Tabela 4.9

Para 20 Hz

$$\frac{\omega_{\text{motor}}}{\omega_{\text{ventilador}}} = \frac{1358}{404} = 3,36$$

Para 25 Hz

$$\frac{\omega_{\text{motor}}}{\omega_{\text{ventilador}}} = \frac{1358}{492} = 2,76$$



Para 30 Hz

$$\frac{\omega_{\text{motor}}}{\omega_{\text{ventilador}}} = \frac{1358}{560} = 2,43$$

Para 35 Hz

$$\frac{\omega_{\text{motor}}}{\omega_{\text{ventilador}}} = \frac{1358}{680} = 2$$

Tabela D.2 – Valores de Pressão dentro do anfiteatro I para a situação inicial e para a relação de transmissão recomendada

	<i>Pressão (Pa)</i>			<i>Diferença de pressão (Pa)</i>	
	Anfiteatro I	Corredor	Exterior	Em relação ao corredor	Em relação ao exterior
Situação inicial (45Hz e admissão de retorno totalmente aberta)	101310	101290	101260	20	50
30 Hz e admissão de retorno ¼ aberta	101310	101290	101260	20	50
30 Hz e admissão de retorno totalmente fechada	101300	101290	101260	10	40

**Esboço do Plano de Manutenção Preventiva para o DEM – FCTUC**

<b><i>Entradas de ar novo e aberturas de exaustão</i></b>							
Operações	Medidas a tomar se necessário	Periodicidade em meses					Inspeção higiénica
		1	3	6	12	24	
Verificar o estado de contaminação, deterioração e corrosão	Limpar e corrigir				X		

<b><i>UTAs (geral)</i></b>							
Operações	Medidas a tomar se necessário	Periodicidade em meses					Inspeção higiénica
		1	3	6	12	24	
Verificar o estado de contaminação, deterioração e corrosão	Limpar e corrigir				X		
Verificação da existência de depósitos ou manchas de água	Limpar e determinar causa			X			

<b><i>Filtros de Ar</i></b>							
Operações	Medidas a tomar se necessário	Periodicidade em meses					Inspeção higiénica
		1	3	6	12	24	
Verificar o estado de contaminação, odores e deterioração (fugas)	Mudar o filtro defeituoso, se não foi mudado há mais de 6 meses		X				
Verificar a pressão diferencial	Mudar o filtro	X					
Primeiro nível de filtração	Substituição				X		
Segundo nível de filtração	Substituição				X		
Verificação das condições de higiene	Limpar e determinar causa						X

<b>Condutas e atenuadores de som</b>							
Operações	Medidas a tomar se necessário	Periodicidade em meses					Inspeção higiénica
		1	3	6	12	24	
Verificar o estado das aberturas e acesso às condutas	Corrigir				X		
Verificar o estado de contaminação e corrosão em dois ou três pontos representativos do interior das condutas	Determinar a causa e limpar a secção relevante				X		
Verificar as condições de higiene da rede de condutas num ponto representativo	Determinar a causa e limpar a secção relevante						X
Verificar o estado de deterioração e corrosão de atenuadores	Corrigir				X		

<b>Baterias de aquecimento e de arrefecimento</b>							
Operações	Medidas a tomar se necessário	Periodicidade em meses					Inspeção higiénica
		1	3	6	12	24	
Verificar o estado de contaminação, deterioração e corrosão	Limpar		X				
Verificação do bom funcionamento das baterias de aquecimento e de arrefecimento e estado do tabuleiro de condensados	Corrigir		X				
Verificação da limpeza da bateria de arrefecimento, tabuleiro de condensados e separadores de gotas	Corrigir			X			
Verificação das condições de higiene	Limpar e corrigir						X

<b>Torres de arrefecimento e ventiladores</b>							
Operações	Medidas a tomar se necessário	Periodicidade em meses					Inspeção higiénica
		1	3	6	12	24	
Verificar o estado de deterioração e corrosão	Corrigir				X		
Verificação do caudal de purga	Regular			X			
Análise microbiológica	Limpar e desinfectar			X			
Despejo completo de todo o sistema e sua limpeza				X			
Limpar as partes do ventilador em contacto com o ar, bem como a drenagem de eventual condensado					X		
Verificar o estado de contaminação, deterioração e corrosão do ventilador	Limpar e corrigir			X			

<b>Unidades terminais (radiadores e unidades de ar condicionado de salas e gabinetes)</b>							
Operações	Medidas a tomar se necessário	Periodicidade em meses					Inspeção higiénica
		1	3	6	12	24	
Verificar o estado de contaminação dos equipamentos terminais equipados com entradas de ar exterior	Substituir os filtros, limpar o equipamento		X				
Verificar o estado de contaminação dos equipamentos terminais com recirculação de ar	Substituir os filtros, limpar o equipamento				X		
Verificar o estado de contaminação das baterias das unidades sem filtros	Limpar (vácuo)			X			
Limpar os componentes através dos quais o ar secundário circula (sem filtros de ar)					X		
Substituição dos filtros						X	