



Agradecimentos

Para a realização deste trabalho foi importante a prestação de várias pessoas.

Começo por agradecer às pessoas do Hospital Distrital de Santarém, em particular ao Eng.º Paulo Marques, ao Dr. João Esteves, bem como aos meus orientadores, Professor Doutor João Gomes e Professora Doutora Elizabeth Duarte pelo vosso interesse, apoio, disponibilidade, orientação, esclarecimento de dúvidas, paciência e compreensão.

Destaco igualmente a importância do meu pai, Victor Esteves, mãe, Maria Esteves, avô, Armando Esteves, avó, Alice Esteves e namorada, Sofia Gomes. Obrigado pela vossa infinita paciência e apoio nas horas complicadas.

Queria agradecer também ao Eng.º Mário Valença da empresa InAir pela sua disponibilidade e pelo empréstimo de alguns equipamentos de medição utilizados no trabalho, bem como ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa pela disponibilização do medidor de Nanopartículas e ao Dr. Luís Pereira de Eximo pela disponibilização do EMV – 7 e pelo apoio dado no esclarecimento de dúvidas.

A todos vós o mais sincero obrigado, sem a vossa participação, paciência e colaboração nada seria possível.



Resumo

A dissertação tem como objetivo a avaliação da qualidade do ar interior e o conforto térmico do departamento de imagiologia do Hospital Distrital de Santarém.

A qualidade do ar interior e o conforto térmico, além de afetarem o nosso bem-estar no dia-a-dia podem influenciar e condicionar o nosso futuro, por isso estes parâmetros têm sido referidos como um dos principais riscos ambientais para a saúde pública.

O nível de poluição do ar no interior dos edifícios pode atingir valores 2 a 5 vezes superiores ao do ar exterior. Por outro lado, os níveis de contaminação do ar interior adquirem a maior importância quando se tem em consideração que, na sociedade moderna, as pessoas passam mais de 90 % do seu tempo no interior de edifícios.

Realizou-se um levantamento dos problemas existentes relativos a estas duas temáticas no departamento de imagiologia do Hospital Distrital de Santarém e definiu-se os pontos de medição e os parâmetros adequados a monitorizar no referido local, para percebermos qual a real situação deste departamento hospitalar. Posteriormente procedeu-se à apresentação de medidas a aplicar que visem a sua resolução, bem como todos os passos e procedimentos necessários para as atingir.

Palavras-Chave

Qualidade do ar interior (QAI); Conforto térmico; Hospital; Santarém.



Abstract

The report aims to evaluate the indoor air quality and thermal comfort of the Santarém District Hospital imaging department.

The indoor air quality and thermal comfort, apart from affecting our well-being in day to day can influence and condition our future, so these parameters have been identified as a major environmental risk to public health.

The level of air pollution inside buildings can reach values 2-5 times higher than outdoor air. On the other hand, the levels of indoor air pollution acquire greater importance when you consider that in modern society, people spend over 90% of their time inside buildings.

We conducted a survey of problems on these two issues in the Santarém District Hospital imaging department and set up the measurement points and the appropriate parameters to monitor in that location, to perceive what the real situation of the hospital department. Later we proceeded to show the measures to be implemented that aimed at its resolution, as well as all the steps and procedures necessary to achieve them.

Keywords

Indoor air quality (IAQ); thermal comfort; Hospital; Santarém.



Extended abstract

Since the industrial revolution, the world's economies have undergone radical changes, and mass production became a reality, justified by the need to feed these economies. At this time, the environmental problem was not even considered, natural resources were more than plentiful and their degradation was an unthinkable scenario. The environment and nature were seen as something to conquer, and there was a sense (especially in the Western world) of progress and civilization against the natural and "wild", ie, the old conflict man/nature that is, in essence, a question of power and domination based on the fragile human ego.

The occurrence of numerous industrial accidents at a global scale, the scarcity of many natural resources, the problem of the greenhouse effect, of the ozone layer, the increase in outdoor air pollutants and consequently in indoor air, among others, increased the need to begin to change the attitude of man towards the environment. This attitude was felt at the level of government and reflected in a series of legislative acts (many non-binding) at international, community and national levels, which appeared in the second half of the twentieth century.

In 2006 was passed specific legislation that regulates the Energy Systems HVAC and IAQ in buildings with the publication of Decree-Law nº 79/2006. This Decree-Law as well as some thermal comfort conditions (HVAC) already contains the limit values for exposure to pollutants that we are often subjected in indoors environments.

The importance of this legislation relates to the habits of life in urban areas, since we spend more than 90% of the time indoors and breathe about 12.000 to 15.000 liters of air per day. From this time 12 to 13 hours a day are passed within our homes and 8 to 9 within our workplace. In indoors the pollution is about 2 to 5 times higher than outdoors, pollutants reaching values 100 times higher than those found outdoors. Obviously the quality of life of the population is inseparable from the quality levels of the air you breathe.

In contemporary societies, the air quality inside buildings is of particular relevance to the extent that breathing polluted air has proven negative effects on the welfare of the people, affecting their health, comfort and productivity.

To have a reduction of pollution factors and therefore a good IAQ and an appropriate thermal comfort, it is essential to have an effective ventilation to submit a renewal of the air with the oxygen needed for metabolism of the occupants.

Increased quality of life of the Portuguese population has led to a greater level of comfort required in housing and employment, including the improvement of caulking as a response against noise and unwanted air flows (buildings watertight), aggravating the indoor air quality when there are no conditions of ventilation.



In all indoor environments there are chemical and biological contaminants, but the hospital environment requires special attention given the specificities of the work performed there. These sites should have a tight check and should be subject to several tests in order to avoid chemical or biological contamination of patients. Its location is a preponderant factor, especially since they are located in urban areas and are subject to high levels of outdoor pollution. Poor indoor air quality in hospitals can directly affect the health of their users, especially for patients who already had their immune system affected, therefore, more susceptible to external influences and can also influence their recovery. Taking into account the concerns held above it was felt necessary to conduct analysis on indoor air quality and thermal comfort of the Santarém District Hospital imaging department. To this end, a survey of the existing problems on these two issues in that department was conducted. Later it was defined measurement points based on the symptoms associated with the locals and residence time of technicians and patients in the same locals. Which parameters to monitor in order to realize the real situation of the Hospital with regard to indoor air quality and thermal comfort were checked after its definition. Finally after realizing what the real situation of the imaging department was, we present measures aimed at implementing its resolution, as well as all the steps and procedures necessary to achieve them.

**Índice**

	<i>Descrição</i>	<i>Página</i>
1	Objetivo do Estudo e enquadramento do trabalho	1
2	Introdução	1
3	Estado da arte	4
3.1	A QAI e conforto térmico à escala global	4
3.2	Parâmetros legais a monitorizar, fontes e efeitos na saúde	7
3.2.1	Parâmetros legais a monitorizar	7
3.2.2	Parâmetros químicos e respetivas fontes	8
3.2.2.1	Partículas suspensas no ar (PM ₁₀)	8
3.2.2.2	Dióxido de carbono (CO ₂)	8
3.2.2.3	Monóxido de carbono (CO)	9
3.2.2.4	Ozono (O ₃)	10
3.2.2.5	Formaldeído (HCHO)	11
3.2.2.6	Compostos orgânicos voláteis (COV)	11
3.2.2.7	Radão (Rn)	12
3.2.3	Parâmetros microbiológicos e respetivas fontes	13
3.2.3.1	Microrganismos (bactérias e fungos)	13
3.2.3.2	<i>Legionella</i>	14
3.2.4	Parâmetros físicos de conforto térmico e respetivas fontes	15
3.2.4.1	Parâmetros ambientais	15
3.2.4.1.1	Temperatura do ar	15
3.2.4.1.2	Humidade do ar	15
3.2.4.1.3	Velocidade do ar	16
3.2.4.2	Parâmetros individuais	17
3.2.4.2.1	Vestuário	17
3.2.4.2.2	Metabolismo	18
3.2.5	Principais efeitos na saúde dos parâmetros químicos	24
3.2.5.1	Partículas suspensas no ar (PM ₁₀)	24
3.2.5.2	Dióxido de carbono (CO ₂)	27
3.2.5.3	Monóxido de carbono (CO)	28
3.2.5.4	Ozono (O ₃)	29
3.2.5.5	Formaldeído (HCHO)	29
3.2.5.6	Compostos orgânicos voláteis (COV)	30
3.2.5.7	Radão (Rn)	31



3.2.6	Principais efeitos na saúde dos parâmetros microbiológicos	33
3.2.6.1	Microrganismos (bactérias e fungos)	33
3.2.6.2	<i>Legionella</i>	33
3.2.7	Principais efeitos na saúde dos parâmetros de conforto térmico	33
3.3	Metodologias existentes para aferir os parâmetros relativos à QAI e conforto térmico	35
3.3.1	Metodologias existentes para aferir os parâmetros químicos	35
3.3.2	Metodologias existentes para aferir os parâmetros microbiológicos	37
3.3.2.1	Bactérias e fungos	37
3.3.2.1.1	Requisitos de equipamento de colheita, tempos e temperaturas de incubação	37
3.3.2.2	<i>Legionella</i>	39
3.3.2.2.1	Requisitos de equipamento de colheita, tempos e temperaturas de incubação	39
3.3.3	Metodologia para aferir os parâmetros de conforto térmico	40
4	Dados gerais do hospital	40
4.1	Justificação da escolha	40
4.2	Histórico do hospital	40
4.3	Localização	43
4.4	Área de influência	43
4.5	População alvo	44
4.6	Número de trabalhadores e respetivas funções	45
4.7	Regime de funcionamento	45
4.8	Estrutura organizacional do hospital de Santarém	45
5	Análises à QAI e ao conforto térmico do HDS	47
5.1	Levantamento da situação atual	47
5.2	Escolha dos locais de medição	50
5.3	Parâmetros a monitorizar	51
5.4	Metodologias aplicadas	52
5.5	Definição do número de pontos de amostragem e respetivo tempo	53
5.6	Resultados práticos dos parâmetros monitorizados	54
5.6.1	Parâmetros químicos	54
5.6.1.1	Partículas suspensas no ar (PM ₁₀)	54
5.6.1.2	Dióxido de carbono (CO ₂)	57
5.6.1.3	Monóxido de carbono (CO)	58
5.6.1.4	Ozono (O ₃)	59



5.6.1.5	Formaldeído (HCHO)	60
5.6.1.6	Compostos orgânicos voláteis totais (COVT)	61
5.6.2	Parâmetros microbiológicos	62
5.6.3	Parâmetros de conforto térmico	63
5.6.3.1	Parâmetros ambientais	63
5.6.3.1.1	Temperatura do ar	63
5.6.3.1.2	Humidade do ar	64
5.6.3.1.3	Velocidade do ar	66
5.6.3.2	Parâmetros individuais	68
5.6.3.2.1	Vestuário	68
5.6.3.2.2	Metabolismo	68
6	Enquadramento Normativo e Legislativo	70
7	Proposta de plano de ação para a QAI e conforto térmico	71
7.1	Enquadramento geral da proposta	71
7.2	Orçamento das medidas propostas	72
8	Conclusões e perspectivas de trabalho futuro	73
9	Referências bibliográficas	74
Anexos		I
Anexo I	Identificação do Organigrama de Responsabilidades e de Gestão	II
Anexo II	Aparelhagem utilizada	V
Anexo III	Quadros das medições efetuadas pelo Babuc A	VII
Anexo IV	Quadros das medições efetuadas pelo First Check 5000 EX	XIX
Anexo V	Quadros das medições efetuadas TSI 3500	XXIV
Anexo VI	Quadros de resultados das análises microbiológicas	XXX
Anexo VII	Certificados de calibração das sondas do Babuc A, do First Chek 5000 Ex e do TSI 3500.	XXXI

**Índice de tabelas**

<i>Tabelas</i>	<i>Descrição</i>	<i>Página</i>
1	Caudais mínimos de ar novo nos hospitais	16
2	Valores de resistência térmica de diferentes tipos de vestuário	17
3	Valores de metabolismo por tipologia de atividade	18
4	Síntese dos principais poluentes e respetivas fontes de emissão que afetam a QAI e o conforto térmico	23
5	Divisão do trato respiratório em bases anatómicas de referência segundo o mecanismo de deposição das partículas	24
6	Relação entre a exposição ao CO e os níveis de HbCO no sangue	28
7	Efeitos do ozono, fatores de risco e padrões de saúde	29
8	Efeitos da concentração de formaldeído na saúde	30
9	Características dos poluentes químicos e principais efeitos na saúde	32
10	Nível de perigo e síndrome de calor pelo efeito da temperatura	34
11	Limites fisiológicos que não devem ser ultrapassados	34
12	Métodos de referência e métodos equivalentes aplicáveis para a monitorização dos parâmetros químicos.	35
13	Vantagens e limitações dos métodos utilizados para determinação de microrganismos não infecciosos no ambiente de trabalho	38
14	Distribuição das camas no HDS	41
15	Distribuição etária da população 2010	44
16	Número de funcionários e respetivas funções	45
17	Parâmetros medidos pelo Babuc A	52
18	Parâmetros medidos pelo First Check 500 Ex	52
19	Parâmetros medidos pelo EMV-7	52
20	Parâmetros medidos pelo TSI 3550	53
21	Colheita de ar para contagem efetuada pelo Merck MAS – 100	53
22	Valores de medição de partículas	54
23	Parâmetros microbiológicos medidos na câmara clara	62
24	Parâmetros microbiológicos medidos no corredor	62
25	Temperatura, humidade relativa e velocidade do ar ideais para diversos tipos de atividade	67
26	Índices PMV e PPD calculados	70
27	Prazos de aplicação e medidas propostas	71
28	Custo das medidas propostas	72



Índice de figuras

<i>Figuras</i>	<i>Descrição</i>	<i>Página</i>
1	Soma de valores de resistência térmica de diferentes tipos de vestuário	17
2	Valores do metabolismo por tipologia de atividade	18
3	Limites dos índices PPD e PMV	20
4	Fatores que afetam a QAI e o conforto térmico	22
5	Principais regiões do trato respiratório e sua correspondência com as frações inalável, torácica e respirável	25
6	Localização do HDS	43
7	Grelha de extração	49
8	Grelha de insuflação	49
9	Câmara clara	50
10	Corredor/sala de espera	51
11	Introdução do parâmetro vestuário para cálculo da carga térmica	68
12	Introdução do parâmetro atividade para cálculo do metabolismo	69
13	Resultados do metabolismo e da carga térmica do vestuário	69



Índice de gráficos

<i>Gráficos</i>	<i>Descrição</i>	<i>Página</i>
1	Relação entre índice PMV e índice PPD	21
2	Diagrama de temperatura de conforto ideal	21
3	Fontes associadas à poluição interior	22
4	Curvas de deposição de partículas para as regiões traqueobronquial e alveolar do pulmão humano	27
5	População residente na área de influência do HDS	44
6	Área de nanopartículas depositadas instantaneamente no pulmão, na câmara clara	55
7	Área total de pulmão ocupada ao longo do tempo na câmara clara	55
8	Área de nanopartículas depositadas instantaneamente no pulmão, no corredor	56
9	Área total de pulmão ocupada ao longo do tempo no corredor	56
10	Concentração de CO ₂ na câmara clara	57
11	Concentração de CO ₂ no corredor	58
12	Concentração de CO na câmara clara	58
13	Concentração de CO no corredor	59
14	Concentração de O ₃ na câmara clara	59
15	Concentração de O ₃ no corredor	60
16	Concentração de HCHO na câmara clara	60
17	Concentração de HCHO no corredor	61
18	Concentração de COVT na câmara clara	61
19	Concentração de COVT no corredor	62
20	Temperatura do ar na câmara clara	63
21	Temperatura do ar no corredor	64
22	Humidade do ar na câmara clara	64
23	Humidade do ar no corredor	65
24	Velocidade do ar na câmara clara	66
25	Velocidade do ar no corredor	66



Lista de abreviaturas

QAI – Qualidade do Ar Interior;
HDS – Hospital Distrital de Santarém;
AVAC – Aquecimento, ventilação e ar condicionado;
SED – Síndrome de edifício doente;
DRE – Doença relacionada com o edifício;
OIT – Organização internacional de Trabalho;
OMS – Organização Mundial de Saúde;
EUA – Estados Unidos da América;
COMEAP – Committee on the Medical Effects of Air Pollutants;
ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists;
NIOSH – *National Institute for Occupational Safety and Health*;
EPA – *US Environmental Protection Agency*;
ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers;
ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária;
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;
COV – Compostos Orgânicos Voláteis;
CO₂ – Dióxido de carbono;
CO – Monóxido de carbono;
O₃ – Ozono;
HCHO – Formaldeído;
UFC – Unidades Formadoras de Colónias;
RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios;
RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios;
PMV – Predicted Mean Vote;
PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied;
ICRP – *International Commission of Radiological Protection*;
HbCO – Carboxi-hemoglobina;
FDA – Food and Drug Administration;
OSHA – Occupational Safety and Health Administration;
AVC – Acidente vascular cerebral;
NDR – Infra Vermelho Não Dispersivo;
FTIR – Infra Vermelho;
PID – Detetor de Foto Ionização;
FID – Detetor de Foto Ionização de Chama;
PAS – Sensor Foto Acústico;



CEN – *European Committee for Standardization*;
ISSO – *International Organization for Standardization*;
IEC – *International Electrotechnical Commission*;
DNPH – Dinitro Fenil Hidrazina;
UTA – Unidades de Tratamento de Ar;
UCI – Unidade de Cuidados Intensivos;
INE – Instituto Nacional de Estatística;
SO – Sala de observação;
TAC – Tomografia Axial Computorizada;
SIG – Sistema de informação para a gestão.