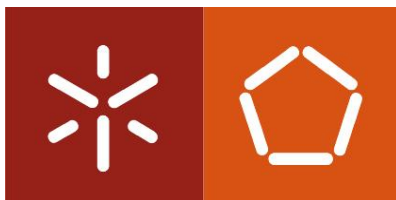


Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Luís Filipe da Cunha Ferreira

**Identificação e Caracterização dos
Principais Fatores que Afetam os
Parâmetros que Caracterizam a
Qualidade do Ambiente Interior dos
Edifícios**



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Luís Filipe da Cunha Ferreira

**Identificação e Caracterização dos
Principais Fatores que Afetam os
Parâmetros que Caracterizam a
Qualidade do Ambiente Interior dos
Edifícios**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efectuado sob a orientação do(a)

Professor(a) Doutor(a) Sandra Monteiro da Silva

19 de Dezembro de 2012

AGRADECIMENTOS

À Professora Doutora Sandra Maria Gomes Monteiro da Silva pela orientação, apoio e disponibilidade inextinguíveis ao longo de todo este percurso.

Ao Engenheiro Daniel Pinheiro, do Laboratório de Física e Tecnologia das Construções da Universidade do Minho, pelo auxílio na aprendizagem da utilização de todos os equipamentos e respetivos softwares utilizados no presente trabalho.

A todos os que disponibilizaram as suas habitações, para a realização dos ensaios *in situ*, sem eles este trabalho não seria possível. Um especial obrigado ao Alberto, Andreia, Adriano, Artur, Cátia e Cristina pela sua compreensão e disponibilidade.

Aos meus pais, o meu eterno obrigado, pelo exemplo, apoio e incentivo nesta minha jornada e durante toda a minha vida. Ao meu irmão, sempre incansável e disponível para me apoiar e ajudar, com uma palavra de motivação.

A todos os que estiveram do meu lado durante estes últimos anos, Carlos Cação, Diogo Amorim, Gui Andrade, Laurent Miranda, Lúcio Alves, Luís Areias, Luís Basto, Márcio Cerqueira e Tiago Esteves, a minha gratidão pelas intermináveis horas de estudo em grupo e por todos os momentos de diversão que partilhados.

RESUMO

Um ambiente interior saudável e confortável é uma condição básica em todos os edifícios, e pode manifestar grandes impactos na saúde humana, no meio ambiente e na economia.

Um ambiente interior confortável, tal como qualquer outra noção de conforto, resulta de sensações humanas com forte componente subjetiva, dependendo de vários tipos de fatores, nomeadamente; físicos, fisiológicos e psicológicos.

A Qualidade do Conforto do Ambiente Interior, tema principal do presente trabalho, tem vários parâmetros que contribuem para um conforto global, nomeadamente o conforto térmico, conforto acústico, a qualidade do ar interior e o conforto lumínico. Estes parâmetros devem ser considerados na fase de projeto inicial, pelos Arquitetos e Engenheiros, de modo a assegurar as condições de conforto nos edifícios.

O objetivo do presente estudo foi identificar os principais fatores que afetam os parâmetros (conforto térmico, acústico, lumínico e a qualidade do ar interior) que caracterizam a Qualidade do Ambiente Interior dos edifícios. Este estudo consistiu na realização de ensaios *in situ*, em três habitações, que permitem avaliar o conforto térmico, acústico, lumínico, e a qualidade do ar interior.

Com este estudo é possível concluir que são variadíssimos os fatores que influenciam a Qualidade do Ambiente Interior, entre eles: a temperatura do ambiente exterior, os hábitos/atividades dos ocupantes, área e tipo (simplex ou duplo) dos envidraçados, a profundidade do compartimento e o tráfego das vias mais próximas.

Palavras-chave:

Qualidade do Ambiente Interior

Conforto Térmico

Acústica

Iluminação

Qualidade do Ar Interior

ABSTRACT

A healthy and comfortable indoor environment is a basic requirement in all buildings, and may have major impacts on human health, environment and economy.

A comfortable indoor climate, such as any sense of comfort, results of human subjective sensations, depending upon several factors, namely: physical, physiological and psychological factors.

The Indoor Environmental Quality Comfort, the main subject of this work, has several parameters that contribute to an overall comfort, namely the thermal comfort, the acoustic comfort, the indoor air quality and the daylight behaviour. The architects and engineers should considered these parameters in the initial design phase to ensure comfort conditions in buildings.

The aim of this study was to identify the key factors that affect the parameters (thermal comfort, acoustic, daylight behaviour and air quality) which features the buildings Indoor Environmental Quality. This study consists of doing *in situ* assays, in three dwellings, in which the key factors that influence are evaluated, and how do it, the parameters that define the Indoor Environmental Quality.

With this study is possible conclude that they are various and different factors that influence the Indoor Environmental Quality, among them: the temperature of the external environment, habits/activities of the occupants, area and type (single or double) of the glazed areas, the profundity of the compartment and road traffic closer.

Keywords:

Thermal Comfort

Acoustic behaviour

Daylight

Indoor Air Quality

Indoor Environmental Quality

Índice

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Estrutura da Dissertação	2
2	QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR	5
2.1	Conforto térmico	5
2.1.1	Condições de conforto térmico	7
2.1.2	Conforto térmico global	13
2.1.3	Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)	19
2.2	Conforto Acústico	19
2.3	Conforto visual	25
2.3.1	Princípios de iluminação	30
2.4	Qualidade do ar interior	37
2.4.1	Ventilação	45
2.4.2	Ventilação Natural	45
2.4.3	Ventilação Mecânica	49
2.4.4	Poluição do ar exterior	50
2.4.5	Materiais de construção	51
2.4.6	Fontes de combustão	52
2.4.7	Equipamentos	52
2.4.8	Ocupantes	53
3	METODOLOGIA	55
3.1	Descrição dos edifícios analisados	56
3.1.1	Habituação 1	56
3.1.2	Habituação 2	58

3.1.3	Habitação 3	60
3.2	Avaliação do comportamento Higrotérmico.....	62
3.3	Avaliação do comportamento Acústico	64
3.4	Avaliação do comportamento Lumínico.....	67
3.5	Avaliação da Qualidade do Ar Interior.....	68
4	RESULTADOS OBTIDOS NA AVALIAÇÃO <i>IN SITU</i>	71
4.1	Resultados da avaliação do comportamento higrotérmico <i>in situ</i>	71
4.1.1	Habitação 1	71
4.1.2	Habitação 2.....	76
4.1.3	Habitação 3.....	82
4.2	Resultados da Avaliação das Condições de Conforto Acústico	88
4.2.1	Habitação 1	88
4.2.2	Habitação 2.....	89
4.2.3	Habitação 3.....	90
4.2.4	Resultados da Avaliação do isolamento acústico <i>in situ</i>	90
4.3	Resultados da Avaliação da Qualidade do Ar Interior	92
4.3.1	Habitação 1	92
4.3.2	Habitação 2.....	97
4.3.3	Habitação 3.....	104
4.4	Avaliação do Comportamento Lumínico.....	110
4.4.1	Habitação 1	110
4.4.2	Habitação 2.....	114
4.4.3	Habitação 3.....	119
4.5	Avaliação Subjetiva da Qualidade do Ambiente Interior dos Edifícios	124
5	CONCLUSÕES.....	127
6	BIBLIOGRAFIA.....	131
	ANEXO I - EQUIPAMENTOS	135

I.1	Descrição dos equipamentos utilizados	135
I.1.1	Conforto Térmico	135
I.1.2	Qualidade do Ar Interior.....	139
I.1.3	Acústica	145
I.1.4	Lumínico.....	146
ANEXO II - INQUÉRITO		149

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Parâmetros que influenciam o conforto térmico e fatores a considerar ao projetar para o conforto térmico.....	6
Figura 2.2- Representação esquemática, mostrando as condições necessárias ao conforto térmico.....	8
Figura 2.3 - Velocidade do ar permitida para correntes de ar em função da temperatura do ar e da intensidade de turbulência.	9
Figura 2.4 - Percentagem de pessoas descontentes devido à diferença de temperatura entre a cabeça e os pés.....	10
Figura 2.5 - Desconforto local causado pelo piso frio ou quente.....	10
Figura 2.6 - Percentagem de ocupantes que se sentem desconfortáveis, devido à assimetria de radiação.....	11
Figura 2.7 - Relação entre o PMV e PPD.....	15
Figura 2.8 - Zonas de conforto de Inverno e de Verão de acordo com a ASHRAE 55.	16
Figura 2.9 - Relação dos limites de temperatura resultante com a temperatura exterior.	17
Figura 2.10 - Relação dos limites de temperatura conforto térmico (T_{conf}) com a temperatura exterior (T_{mp}).	18
Figura 2.11 - Gama audível.	20
Figura 2.12- Possíveis melhorias do conforto acústico em habitações.	21
Figura 2.13 - Esquema representativo dos Requisitos Acústicos dos Edifícios.....	24
Figura 2.14 - Sistemas de iluminação.....	26
Figura 2.15- Medidas para obtenção de condições de conforto lumínico.....	27
Figura 2.16 - Movimento do Sol ao longo do dia para os períodos de Verão e Inverno.....	35
Figura 2.17 - Sistemas de sombreamento pelo exterior.....	37
Figura 2.18 - Sistemas de sombreamento pelo interior.	37
Figura 2.19 - Formas de ventilação natural.	46
Figura 2.20 - Gama de temperaturas de conforto na presença de ventilação natural.	47
Figura 3.1 - Vista aérea e planta da Habitação 1.	56
Figura 3.2 - Vista aérea e planta da Habitação 2.	58
Figura 3.3 - Vista aérea e planta da Habitação 3.	60
Figura 3.4 - Curva de referência definida na ISO 717-1 para a avaliação do isolamento sonoro a sons de condução aérea por bandas de 1/3 oitava (16 bandas entre 100 e 3150 Hz).	66
Figura 3.5 - Método de medição do FLD.	67

Figura 4.1 - Condições higrotérmicas no Q1.1E.	72
Figura 4.2 - Representação das condições de conforto térmico no Q1.1E (T_{mp} e T_{conf}).....	72
Figura 4.3 - Representação das condições de conforto térmico no Q1.1E (PMV e PPD).	72
Figura 4.4 - Condições higrotérmicas no Q1.1N.....	73
Figura 4.5 - Representação das condições de conforto térmico no Q1.1N (T_{mp} e T_{conf}).	74
Figura 4.6 - Representação das condições de conforto térmico no Q1.1N (PMV e PPD).	74
Figura 4.7 - Condições higrotérmicas na Sala.	74
Figura 4.8 - Representação das condições de conforto térmico na Sala (T_{mp} e T_{conf}).	75
Figura 4.9 - Representação das condições de conforto térmico na Sala (PMV e PPD).	75
Figura 4.10 - Condições higrotérmicas na Cozinha.	76
Figura 4.11 - Representação das condições de conforto térmico na Cozinha (T_{mp} e T_{conf})....	77
Figura 4.12 - Representação das condições de conforto térmico na Cozinha (PMV e PPD)...	77
Figura 4.13 - Condições higrotérmicas no Q2.1NE.	78
Figura 4.14 - Representação das condições de conforto térmico no Q2.1NE (T_{mp} e T_{conf})....	78
Figura 4.15 - Representação das condições de conforto térmico no Q2.1NE (PMV e PPD)...	78
Figura 4.16 - Condições higrotérmicas no Q2.1SO.	79
Figura 4.17 - Representação das condições de conforto térmico no Q2.1SO (T_{mp} e T_{conf})....	80
Figura 4.18 - Representação das condições de conforto térmico no Q2.1SO (PMV e PPD)...	80
Figura 4.19 - Condições higrotérmicas na Sala.	81
Figura 4.20 - Representação das condições de conforto térmico na Sala (T_{mp} e T_{conf}).	81
Figura 4.21 - Representação das condições de conforto térmico na Sala (PMV e PPD).	81
Figura 4.22 - Condições higrotérmicas na Cozinha.	83
Figura 4.23 - Representação das condições de conforto térmico na Cozinha (T_{mp} e T_{conf})....	83
Figura 4.24 - Representação das condições de conforto térmico na Cozinha (PMV e PPD)...	83
Figura 4.25 - Condições higrotérmicas no Q3.1E.	84
Figura 4.26 - Representação das condições de conforto térmico no Q3.1E (T_{mp} e T_{conf}).....	85
Figura 4.27 - Representação das condições de conforto térmico no Q3.1E (PMV e PPD).	85
Figura 4.28 - Condições higrotérmicas no Q3.3E.	86
Figura 4.29 - Representação das condições de conforto térmico no Q3.3E (T_{mp} e T_{conf}).....	86
Figura 4.30 - Representação das condições de conforto térmico no Q3.3E (PMV e PPD).	86
Figura 4.31 - Condições higrotérmicas na Sala.	87
Figura 4.32 - Representação das condições de conforto térmico na Sala (T_{mp} e T_{conf}).	87
Figura 4.33 - Representação das condições de conforto térmico na Sala (PMV e PPD).	87

Figura 4.34 - Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado da parede de fachada Sala e Q2.1SO.	92
Figura 4.35 - Concentração de CO ₂ no Q1.1E da Habitação 1.	93
Figura 4.36 - Concentração de CO ₂ no Q1.1N da Habitação 1.	93
Figura 4.37 - Concentração de CO ₂ na Sala da Habitação 1.	93
Figura 4.38 - Concentração de CO no Q1.1E da Habitação 1.	94
Figura 4.39 - Concentração de CO no Q1.1N da Habitação 1.	94
Figura 4.40 - Concentração de CO na Sala da Habitação 1.	94
Figura 4.41 - Concentração de HCHO no Q1.1E da Habitação 1.	95
Figura 4.42 - Concentração de HCHO no Q1.1N da Habitação 1.	95
Figura 4.43 - Concentração de HCHO na Sala da Habitação 1.	95
Figura 4.44 - Concentração de O ₃ no Q1.1E da Habitação 1.	96
Figura 4.45 - Concentração de O ₃ no Q1.1N da Habitação 1.	96
Figura 4.46 - Concentração de O ₃ na Sala da Habitação 1.	96
Figura 4.47 - Concentração de PM10 no Q1.1E da Habitação 1.	97
Figura 4.48 - Concentração de PM10 no Q1.1N da Habitação 1.	97
Figura 4.49 - Concentração de PM10 na Sala da Habitação 1.	97
Figura 4.50 - Concentração de CO ₂ na Cozinha da Habitação 2.	98
Figura 4.51 - Concentração de CO ₂ no Q2.1NE da Habitação 2.	98
Figura 4.52 - Concentração de CO ₂ no Q2.1SO da Habitação 2.	98
Figura 4.53 - Concentração de CO ₂ na Sala da Habitação 2.	98
Figura 4.54 - Concentração de CO na Cozinha da Habitação 2.	99
Figura 4.55 - Concentração de CO no Q2.1NE da Habitação 2.	99
Figura 4.56 - Concentração de CO no Q2.1SO da Habitação 2.	99
Figura 4.57 - Concentração de CO na Sala da Habitação 2.	100
Figura 4.58 - Concentração de HCHO na Cozinha da Habitação 2.	100
Figura 4.59 - Concentração de HCHO no Q2.1NE da Habitação 2.	100
Figura 4.60 - Concentração de HCHO no Q2.1SO da Habitação 2.	101
Figura 4.61 - Concentração de HCHO na Sala da Habitação 2.	101
Figura 4.62 - Concentração de O ₃ na Cozinha da Habitação 2.	101
Figura 4.63 - Concentração de O ₃ no Q2.1NE da Habitação 2.	102
Figura 4.64 - Concentração de O ₃ no Q2.1SO da Habitação 2.	102
Figura 4.65 - Concentração de O ₃ na Sala da Habitação 2.	102
Figura 4.66 - Concentração de PM10 na Cozinha da Habitação 2.	103

Figura 4.67 - Concentração de PM10 no Q2.1NE da Habitação 2.....	103
Figura 4.68 - Concentração de PM10 no Q2.1SO da Habitação 2.....	103
Figura 4.69 - Concentração de PM10 na Sala da Habitação 2.....	103
Figura 4.70 - Concentração de CO ₂ na Cozinha da Habitação 3.....	104
Figura 4.71 - Concentração de CO ₂ no Q3.1E da Habitação 3.....	104
Figura 4.72 - Concentração de CO ₂ no Q3.3E da Habitação 3.....	104
Figura 4.73 - Concentração de CO ₂ na Sala da Habitação 3.....	105
Figura 4.74 - Concentração de CO na Cozinha da Habitação 3.....	105
Figura 4.75 - Concentração de CO no Q3.1E da Habitação 3.....	105
Figura 4.76 - Concentração de CO no Q3.3E da Habitação 3.....	106
Figura 4.77 - Concentração de CO na Sala da Habitação 3.....	106
Figura 4.78 - Concentração de HCHO na Cozinha da Habitação 3.....	106
Figura 4.79 - Concentração de HCHO no Q3.1E da Habitação 3.....	107
Figura 4.80 - Concentração de HCHO no Q3.3E da Habitação 3.....	107
Figura 4.81 - Concentração de HCHO na Sala da Habitação 3.....	107
Figura 4.82 - Concentração de O ₃ na Cozinha da Habitação 3.....	108
Figura 4.83 - Concentração de O ₃ no Q3.1E da Habitação 3.....	108
Figura 4.84 - Concentração de O ₃ no Q3.3E da Habitação 3.....	108
Figura 4.85 - Concentração de O ₃ na Sala da Habitação 3.....	108
Figura 4.86 - Concentração de PM10 na Cozinha da Habitação 3.....	109
Figura 4.87 - Concentração de PM10 no Q3.1E da Habitação 3.....	109
Figura 4.88 - Concentração de PM10 no Q3.3E da Habitação 3.....	109
Figura 4.89 - Concentração de PM10 na Sala da Habitação 3.....	110
Figura 4.90 - Localização dos pontos de medição nos compartimentos avaliados na Habitação 1.....	111
Figura 4.91 - FLD obtidos na Sala com janela orientada a N sem o sistema de sombreamento ativo.....	112
Figura 4.92 - FLD obtidos na Sala com janela orientada a N com o sistema de sombreamento 70% ativo.....	112
Figura 4.93 - FLD obtidos no Q1.1N com janela orientada a N sem o sistema de sombreamento ativo.....	113
Figura 4.94 - FLD obtidos no Q1.1N com janela orientada a N com o sistema de sombreamento 70% ativo.....	113

Figura 4.95 - FLD obtidos no Q1.1E com janela orientada a E e com o sistema de sombreamento 70% ativo.	114
Figura 4.96 - FLD obtidos no Q1.1E com janela orientada a E com o sistema de sombreamento 70% ativo.	114
Figura 4.97 - Localização dos pontos de medição nos compartimentos avaliados na Habitação 2.	116
Figura 4.98 - FLD obtidos na Cozinha com janela orientada a NE sem o sistema de sombreamento ativo.	116
Figura 4.99 - FLD obtidos na Cozinha com janela orientada a NE com o sistema de sombreamento 70% ativo.	116
Figura 4.100 - FLD obtidos na Sala com janela orientada a SO sem o sistema de sombreamento ativo.	117
Figura 4.101 - FLD obtidos na Sala com janela orientada a SO com o sistema de sombreamento 70% ativo.	117
Figura 4.102 - FLD obtidos no Q2.1SO com janela orientada a SO sem o sistema de sombreamento ativo.	118
Figura 4.103 - FLD obtidos no Q2.1SO com janela orientada a SO com o sistema de sombreamento 70% ativo.	118
Figura 4.104 - FLD obtidos no Q2.1NE com janela orientada a NE sem o sistema de sombreamento ativo.	119
Figura 4.105 - FLD obtidos no Q2.1NE com janela orientada a NE com o sistema de sombreamento 70% ativo.	119
Figura 4.106 - Localização dos pontos de medição nos compartimentos avaliados na Habitação 3.	120
Figura 4.107 - FLD obtidos na Cozinha com janela orientada a O sem o sistema de sombreamento ativo.	121
Figura 4.108 - FLD obtidos na Cozinha com janela orientada a O com o sistema de sombreamento 70% ativo.	121
Figura 4.109 - FLD obtidos na Sala com janela orientada a O sem o sistema de sombreamento ativo.	122
Figura 4.110 - FLD obtidos na Sala com envidraçado orientado a O com o sistema de sombreamento 70% ativo.	122
Figura 4.111 - FLD obtidos no Q3.1E com janela orientada a E sem o sistema de sombreamento ativo.	123

Figura 4.112 - FLD obtidos no Q3.1E com janela orientada a E com o sistema de sombreamento 70% ativo.	123
Figura 4.113 - FLD obtidos no Q3.3E com janela orientada a E sem o sistema de sombreamento ativo.....	124
Figura 4.114 - FLD obtidos no Q3.3E com janela orientada a E com o sistema de sombreamento 70% ativo.	124
Figura 4.115 - Peso atribuído aos parâmetros da qualidade do ambiente interior pelos ocupantes das diversas habitações estudadas.	126
Figura I.1 - Estação de conforto.	136
Figura I.2 - Pormenor do módulo de controlo da estação de conforto.	136
Figura I.3 - Testostor 175.	139
Figura I.4 - Sensor de formaldeído, Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300. ...	140
Figura I.5 - Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200.	141
Figura I.6 - Mostrador do sensor de partículas DUSTTRAK™ II Desktop Aerosol Monitor Models 8530/8531.	143
Figura I.7 - Mostrador do sensor de CO e de CO ₂ da Testo, modelo 435.....	144
Figura I.8 - Sonómetro CEL Instruments, modelo CEL-59.	145
Figura I.9 - Fonte sonora, modelo 4224 da Bruel & Kjør e gerador de ruído, modelo CEL 513.	145
Figura I.10 - Piranómetro SP-Lite da Kipp&Zonen.	146
Figura I.11 - Luxímetro HD 2021T da Delta Ohm.	147

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Principais variáveis independentes envolvidas no balanço térmico entre o homem e o ambiente.....	12
Tabela 2.2 - Escala de sensações térmicas.	14
Tabela 2.3 - Valores de PPD e PMV para cada categoria de conforto térmico.....	15
Tabela 2.4 - Valores recomendados para as temperaturas em vários espaços interiores de habitações.	16
Tabela 2.5 - Requisitos físicos para a aplicação do modelo proposto.....	18
Tabela 2.6 - Gama de níveis de pressão sonora recomendados para edifícios residenciais.	21
Tabela 2.7 - Requisitos acústicos para edifícios habitacionais e mistos segundo o RRAE.	25
Tabela 2.8 - Conceitos e unidades de algumas grandezas fotométricas.....	30
Tabela 2.9 - Gamas de iluminância por diferentes compartimentos, tarefas ou atividades.	31
Tabela 2.10 - FLD recomendado para alguns tipos de espaços.....	32
Tabela 2.11 - Valores recomendados FDL de acordo com o espaço e profundidade.	32
Tabela 2.12 - Reflectâncias recomendadas.....	33
Tabela 2.13 - Limites da iluminância das áreas circundantes a uma área de tarefa.	34
Tabela 2.14 - Odores como indicadores de problemas nos edifícios.	38
Tabela 2.15 - Concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios...	40
Tabela 2.16 - Fontes e efeitos na saúde de poluentes que afetam a qualidade do ar interior. ..	44
Tabela 2.17 - Caudais-tipo a extrair nos compartimentos de serviço	49
Tabela 2.18 - Caudais-tipo a admitir nos compartimentos principais.	49
Tabela 3.1 - Características dos compartimentos da Habitação 1.	57
Tabela 3.2 - Reflectância das superfícies interiores da Habitação 1.	57
Tabela 3.3 - Dimensões dos envidraçados dos compartimentos estudados - Habitação 1.....	57
Tabela 3.4 - Características dos compartimentos da Habitação 2.	59
Tabela 3.5 - Reflectância das superfícies interiores da Habitação 2.	59
Tabela 3.6 - Dimensões dos envidraçados dos compartimentos estudados da Habitação 2. ...	60
Tabela 3.7 - Características dos compartimentos da Habitação 3.	61
Tabela 3.8 - Reflectância das superfícies interiores da Habitação 3.	61
Tabela 3.9 - Dimensões dos envidraçados dos compartimentos estudados da Habitação 3. ...	62
Tabela 3.10 - Correção do nível sonoro no recinto recetor em função do ruído de fundo.....	65
Tabela 3.11 - Fatores de conversão de gases [22].	69
Tabela 4.1 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no Q1.1E.	73

Tabela 4.2 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no Q1.1N.....	74
Tabela 4.3 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na Sala.....	75
Tabela 4.4 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na Cozinha.	77
Tabela 4.5 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no Q2.1NE.	79
Tabela 4.6 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no Q2.1SO.	80
Tabela 4.7 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na Sala.....	82
Tabela 4.8 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na Cozinha.	84
Tabela 4.9 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no Q3.1E.	85
Tabela 4.10 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no Q3.3E.	87
Tabela 4.11 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na Sala.....	88
Tabela 4.12 - Valores de L_{Aeq} , em dB(A), medidos na Habitação 1.	89
Tabela 4.13 - Valores de L_{Aeq} , em dB(A), medidos na Habitação 2.	89
Tabela 4.14 - Valores de L_{Aeq} , em dB(A), medidos na Habitação 3.	90
Tabela 4.15 - Dados relativos aos compartimentos recetores.	91
Tabela 4.16 - Dados relativos às medições acústicas da Parede de fachada.	91
Tabela 4.17 - Iluminância exteriores e interiores médias da Habitação 1.....	110
Tabela 4.18 - Iluminância exteriores e interiores médias da Habitação 2.....	115
Tabela 4.19 - Iluminância exteriores e interiores médias da Habitação 3.....	120
Tabela I.1 - Condições operacionais da estação de conforto.....	138
Tabela I.2 - Condições operacionais do Testostor 175.....	139
Tabela I.3 - Especificações dos componentes do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300.....	140
Tabela I.4 - Sensibilidade do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300.....	141
Tabela I.5 - Especificações dos componentes do sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200.....	142
Tabela I.6 - Sensibilidade do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300.....	142

Lista de Abreviaturas e Siglas

HCHO - Formaldeído

CO - Monóxido de carbono

CO₂ - Dióxido de carbono

COV – Compostos orgânicos voláteis

O₃ - Ozono

IEQ - Indoor Environmental Quality (Qualidade do Ambiente Interior)

QAI – Qualidade do ar interior

PMV - Voto médio estimado

PPD - Percentagem de pessoas descontentes

T_{conf} - Temperatura de Conforto Térmico

T_{mp} - Temperatura exterior

Ta - Temperatura ambiente

Ta ref. - Temperatura ambiente de referência

Ta vent. ref. - Temperatura ambiente de referencia para edifícios com ventilação natural

Hr - Humidade relativa

Hr ref. - Humidade relativa de referência

PM - Partículas respiráveis

FLD - Fator de luz do dia

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A qualidade do ambiente interior de edifícios depende de um conjunto de fatores cuja conjugação assegura determinado grau de satisfação e bem-estar. Esses elementos, uns culturais outros psicológicos, variam de pessoa para pessoa, sendo assim inalteráveis pelo projetista. Outros têm carácter objetivo e podem ser modificados, por exemplo o modo de utilização da habitação.

A Qualidade do Ambiente Interior tem vindo a ser alvo de muitos estudos, contudo esses estudos são direccionados a edifícios de serviços, o presente estudo revela-se então importante para avaliar a Qualidade do Ambiente Interior no parque habitacional Português.

Na análise da qualidade do ambiente interior foi necessário uma análise do conforto térmico, acústico e visual, bem como à qualidade do ar interior.

O conforto térmico pode resumir-se na capacidade do edifício não atingir temperaturas extremas, dispensando a utilização de equipamentos de aquecimento ou arrefecimento. No presente estudo o conforto térmico foi avaliado em conformidade com o definido nas normas EN ISO 7730:2005, EN 15251:2007, ASHRAAE 55:2010 e a metodologia de avaliação do conforto térmico, adaptado à realidade de Portugal [1,2,3,4].

A qualidade do ar interior é também um importante parâmetro para o controlo da qualidade do ambiente interior. A qualidade inadequada do ar interior, além de desconforto, pode ainda provocar problemas de saúde (dores de cabeça, náuseas, cansaço, irritação dos olhos, nariz e garganta, odores, olhos secos, problemas respiratórios, tosse, irritação da pele, entre outros).

O conforto acústico avalia a capacidade de uma habitação absorver os ruídos, provenientes do interior ou exterior, de forma aos ocupantes se sintam "confortáveis" com os níveis sonoros verificados no interior da habitação. Quer os ruídos sejam os provenientes do exterior, quer sejam os gerados no próprio interior. Tal como o conforto térmico o conforto acústico está ligado a hábitos e práticas culturais.

O conforto visual nas habitações é também uma condição importante e, com a crescente qualidade da envolvente dos edifícios, pode-se hoje usufruir de uma abundante iluminação natural, sem problemas de sobreaquecimento. Contudo é de evitar a luz solar direta, simplesmente por esta apenas iluminar uma parte do compartimento causando um contraste elevado entre a zona iluminada e a não iluminada, podendo provocar o encadeamento. Outras situações a evitar, é o excesso de iluminação e as reflexões.

1.2 Objetivos

Com a realização deste trabalho pretende-se alcançar, de forma faseada, os seguintes objetivos gerais:

- identificação e caracterização dos principais fatores que afetam os parâmetros que caracterizam a Qualidade do Ambiente Interior dos edifícios.
- avaliar de que forma é que cada fator afecta o parâmetro que caracteriza a Qualidade do Ambiente Interior dos edifícios.
- avaliar de que forma devem ser considerados os parâmetros que caracterizam a Qualidade do Ambiente Interior dos edifícios.

1.3 Estrutura da Dissertação

No **Capítulo 1** da presente dissertação é realizado o enquadramento do trabalho e são apresentados os seus objetivos.

No **Capítulo 2** apresenta-se a análise da Qualidade do Ambiente Interior. São apresentados os principais fatores que afetam a Qualidade do Ambiente Interior, ou seja as condições de conforto térmico, acústico, lumínico e a qualidade do ar interior, é ainda realizado o enquadramento normativo e regulamentar.

No **Capítulo 3** são descritas as habitações que foram estudadas no decurso deste trabalho e a metodologia adotada nos ensaios realizados *in situ*.

No **Capítulo 4** são apresentados os resultados dos ensaios realizados *in situ*.

Foram realizadas medições para caracterizar as condições de conforto térmico, através da medição da temperatura ambiente, da temperatura do bolbo negro, da humidade relativa e da velocidade do ar e considerando a atividade metabólica e a resistência térmica do vestuário dos ocupantes.

Foi também caracterizado o conforto acústico, tendo sido medido o nível sonoro no interior das diversas habitações estudadas. São ainda apresentados os resultados dos ensaios de avaliação do isolamento acústico a sons de condução aérea, de um elemento da envolvente interior e exterior.

Foram ainda medidas as concentrações de poluentes (dióxido e monóxido de carbono, ozono, formaldeído e partículas respiráveis).

Foram ainda avaliadas as condições de iluminação natural, tendo sido medido o nível de iluminância e o Fator de Luz do Dia.

Foi também avaliada a perceção dos ocupantes das habitações no que respeita à importância relativa de cada um destes parâmetros para a qualidade do ambiente interior.

No **Capítulo 5** são apresentadas as conclusões do trabalho e as perspetivas para trabalhos futuros.

No **Anexo I** são descritos os equipamentos utilizados para a realização dos ensaios realizados *in situ* realizados no decurso deste trabalho.

No **Anexo II** apresenta-se o inquérito realizado aos ocupantes das habitações estudadas na avaliação *in situ*.

Identificação e Caracterização dos Principais Fatores que Afetam os Parâmetros que Caracterizam a Qualidade do Ambiente Interior dos Edifícios

2 QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR

Neste Capítulo apresenta-se a análise da Qualidade do Ambiente Interior dos edifícios. São apresentados e realizado o enquadramento normativo e regulamentar, dos principais fatores que afetam a Qualidade do Ambiente Interior, ou seja as condições de conforto térmico, acústico, lumínico e a qualidade do ar interior.

2.1 Conforto térmico

O conforto térmico é um fator de grande relevância para a saúde e bem-estar das pessoas, tendo ele grande influência sobre o nível de concentração desejado para um bom desempenho das tarefas. Contudo o que é considerado um ambiente térmico satisfatório pode variar significativamente de pessoa para pessoa, de cultura para cultura, e mesmo a atividade física desenvolvida pelo ocupante pode influenciar no julgamento do ocupante.

A norma ASHRAE 55:2010 define como percentagem mínima de 80% dos ocupantes, que devem estar satisfeitos com o ambiente térmico. O conforto térmico pode ainda ser definido como "um estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente que envolve uma pessoa (nem quente nem frio)" [2].

O Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE:2006) apresenta o conforto térmico como uma prioridade para o bem-estar das pessoas, e define uma gama de valores para a temperatura ambiente e para a humidade relativa, de forma a que o conforto térmico seja garantido para a maioria dos ocupante do parque habitacional português [3].

A criação de um ambiente térmico que satisfaça todos os ocupantes é uma tarefa deveras difícil, uma vez que existem grandes variações ao nível físico e/ou psicológico de ocupante para ocupante, logo as condições requeridas para um conforto térmico diferentes.

Existem seis fatores principais para avaliar um ambiente em termos térmicos (Figura 2.1):

- atividade metabólica;
- temperatura do ar;
- temperatura média de radiação das superfícies envidraçadas;

- velocidade do ar;
- resistência térmica da roupa;
- humidade relativa.

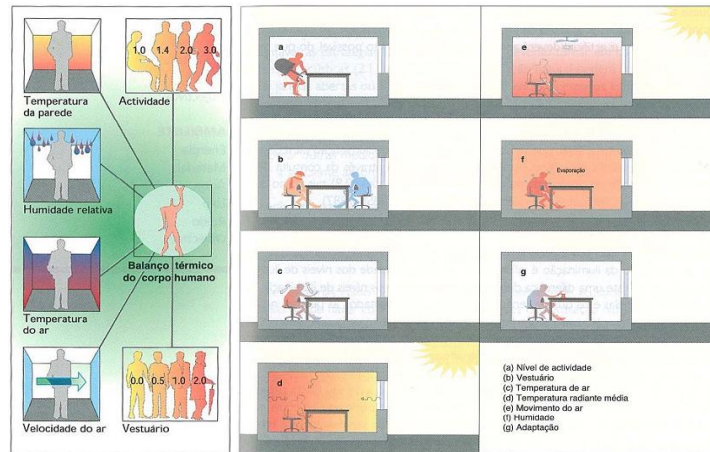


Figura 2.1 - Parâmetros que influenciam o conforto térmico e fatores a considerar ao projetar para o conforto térmico [4].

Todos estes fatores variam com o tempo. Por vezes pessoas que entram num espaço, podem sentir-se desconfortáveis, embora o espaço esteja dentro dos parâmetros do que é um ambiente térmico confortável. A adaptação a um ambiente depende dos ambientes experienciados anteriormente e da atividade física antes realizada. O efeito da realização de atividade física prévia a entrar num espaço pode causar consequências na percepção de conforto térmico durante uma hora [5].

A grande maioria dos dados relacionados com o conforto térmico foi obtida para atividade física muito baixa, perto de níveis sedentários de atividade física, que são típicas de trabalho de escritório.

Os aspetos fisiológicos no conforto térmico são muito importantes, podendo ajudar a perceber com uma maior clareza o que provoca maiores variações térmicas no organismo.

O corpo humano pode ser considerado como uma "máquina térmica", que tem um mecanismo termorregulador que cria condições para a sua temperatura interna se manter praticamente constante ($\cong 36,7$ °C). Como o próprio nome indica "máquina térmica", o corpo humano necessita de calor para o seu correto funcionamento.

O calor gerado pelo organismo, pode variar de 100W a 1000W. Esse calor é necessário para o funcionamento fisiológico do organismo, porém por exemplo, aquando da prática de atividades físicas intensas, o corpo pode sobreaquecer. Assim sendo para manter o equilíbrio térmico do corpo, o calor deve ser dissipado no ambiente para que não acarrete um aumento exagerado da temperatura interna. Essa dissipação dá-se através da pele (convecção, radiação e evaporação), ou através da respiração [6].

Pode também surgir uma outra situação, quando o ambiente em que as pessoas se inserem tem uma temperatura muito baixa, ocorrendo também neste caso problemas, uma vez que o organismo pode ter dificuldades em manter a temperatura corporal. Assim, uma condição necessária para um indivíduo se sentir termicamente confortável é a ocorrência de um equilíbrio nas trocas de calor entre o seu corpo e o ambiente envolvente.

O conceito de conforto térmico é extremamente complexo pela sua natureza subjetiva, sendo fundamental acrescentar às análises *in situ*, um estudo do que significa "estar confortável" para cada indivíduo que ocupa esses espaços. Nesse sentido, todos os indivíduos presentes aquando dos ensaios são solicitados a responder a um inquérito. As questões são definidas tendo por base as escalas subjetivas de Fanger, sendo possível uma maior perceção da relação do indivíduo com o ambiente térmico do espaço em que este se encontra.

2.1.1 Condições de conforto térmico

No conforto térmico o equilíbrio das trocas entre o meio ambiente e o indivíduo é uma condição necessária, mas por vezes pode não ser suficiente para que o indivíduo se encontre em conforto térmico. Por vezes o indivíduo está sujeito a um outro tipo de desconforto, o desconforto localizado, que pode ser sentido por meio de uma corrente de ar localizada, assimetria de radiação significativa, ou ainda por estar em contacto com um piso frio ou quente.

É possível então dizer, que existem 3 condições fundamentais para que se possa atingir conforto térmico:

- que o indivíduo se encontre em neutralidade térmica;
- que a temperatura de sua pele, e sua taxa de secreção de suor, estejam dentro de certos limites compatíveis com a sua atividade;

- que o sujeito não esteja sujeito a desconforto localizado.

Pode-se representar esquematicamente os fatores que contribuem para o conforto térmico na Figura 2.2.

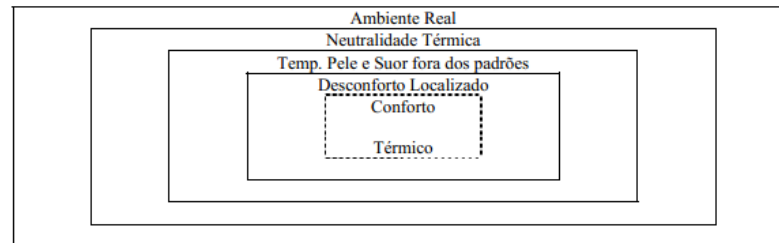


Figura 2.2- Representação esquemática, mostrando as condições necessárias ao conforto térmico [6].

O conforto térmico é influenciado vários fatores, não só os que afetam o corpo como um todo, mas também os que afetam apenas partes dele. Apesar do indivíduo se sentir satisfeito com a temperatura do corpo, normalmente é incomodativo que parte do corpo esteja sujeita a alguma atividade/ocorrência que provoque desconforto.

Entre os principais fatores que causam desconforto localizado, os principais são as correntes de ar, diferença de temperatura vertical do ar, temperatura da superfície do pavimento e assimetria de radiação térmica. De seguida é realizada uma breve descrição de cada um destes parâmetros.

a) Corrente de ar

A corrente de ar é uma espécie de arrefecimento localizado indesejado do corpo causado pelo movimento do ar. A sensação provocada pela corrente de ar depende da velocidade do ar, da temperatura, da intensidade de turbulência, da atividade desenvolvida e do vestuário dos ocupantes. A sensibilidade à corrente de ar é maior quando a pele não está coberta pela roupa, especialmente na região da cabeça, pescoço e ombros e na perna, incluindo o pé.

Este problema é bastante comum, surgindo muitas vezes mesmo em escritórios e habitações, sendo muitas vezes identificado como um dos fatores mais indesejados e incomodativos. Normalmente quando um indivíduo se depara com este problema tende a aumentar a temperatura interior, ou desligar o sistema de ventilação (fechar a janela, caso seja o caso),

chegando por vezes a medidas mais drásticas que passam pelo abandono e procura de um local com melhores condições.

A Figura 2.3 apresenta a velocidade do ar permitida para as correntes de ar em função da temperatura do ar e da intensidade da turbulência.

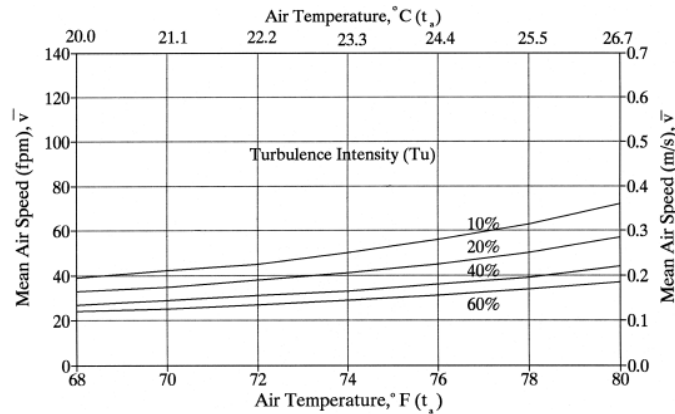


Figura 2.3 - Velocidade do ar permitida para correntes de ar em função da temperatura do ar e da intensidade de turbulência [5].

b) Diferença de temperatura vertical do ar

Este fenómeno deve-se à estratificação térmica, que resulta da temperatura do ar ao nível da cabeça estar mais quente do que ao nível do tornozelo, podendo causar desconforto térmico. Diferenças térmicas em direção contrária surgem muito raramente, contudo são sentidas pelas pessoas de uma forma mais favorável [5].

O desconforto surge se a diferença de temperatura do ar ao nível da cabeça e do tornozelo é elevada, ocorre assim um desconforto por calor ao nível da cabeça ou por frio ao nível dos tornozelos, podendo o corpo como um todo encontrar-se em neutralidade térmica. Segundo a norma ASHRAE 55:2010 é possível estimar a percentagem de pessoas insatisfeitas devido à diferença de temperatura entre a cabeça e os pés (Figura 2.4), e refere que a diferença máxima que se deve verificar é 3 °C.

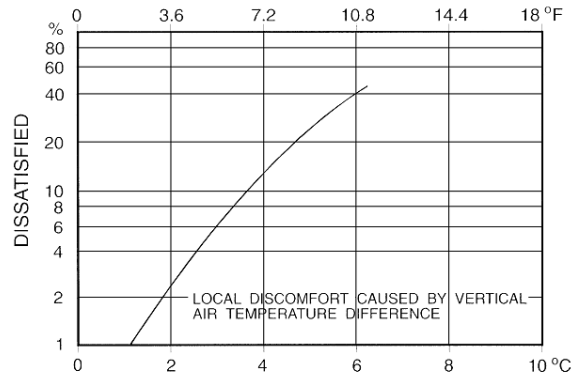


Figura 2.4 - Percentagem de pessoas descontentes devido à diferença de temperatura entre a cabeça e os pés [5].

c) Temperatura da superfície do pavimento

Os ocupantes podem sentir-se desconfortáveis devido ao contato com pavimentos que são demasiado quentes ou demasiado frios. A temperatura do chão é um fator importante para o conforto térmico, mesmo para as pessoas que usam sapatos. A temperatura do pavimento é influenciada pelas características construtivas das habitações (revestimento do pavimento, materiais de construção, etc.) [5].

O desconforto devido à superfície do pavimento é mais sentido em locais onde normalmente as pessoas se deslocam descalças com frequência, sendo que quando o contacto com o pavimento frio é sentido, a reação normal das pessoas é aumentar a temperatura interior da habitação tentando combater o desconforto causado pelo pavimento frio. A percentagem de pessoas que se sentem desconfortáveis com a temperatura do piso pode ser dada pela Figura 2.5 de acordo com o ASHRAE 55:2010, que delimita ainda a temperatura a que o chão deve se encontrar (19 a 29 °C).

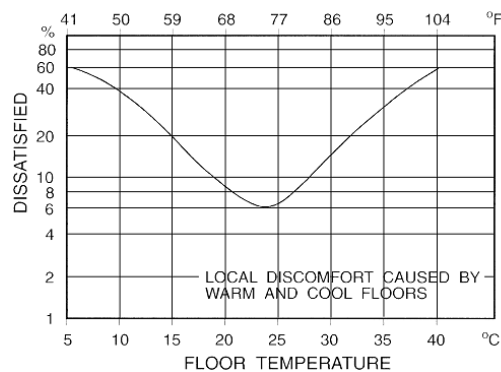


Figura 2.5 - Desconforto local causado pelo piso frio ou quente [5].

d) Assimetria de Radiação Térmica

O campo de radiação térmica sobre um corpo pode não ser uniforme devido às superfícies quentes e frias, e à incidência de radiação solar direta. Esta assimetria pode causar desconforto local e reduzir a capacidade térmica do espaço, devido às janelas frias, às superfícies não isoladas, etc.. Assim o ocupante tem uma parte do corpo atingida por radiação diferenciada das restantes, e, quanto maior for esse diferencial, mais desconfortável o ocupante se sentirá.

Em geral, as pessoas são mais sensíveis à radiação assimétrica provocada por um teto quente do que a provocada por superfícies verticais, quer quentes quer frias. A Figura 2.6 apresenta a percentagem prevista de ocupantes insatisfeitos em função da assimetria de radiação térmica causada por um teto quente, um teto frio, uma parede fria, e uma parede quente.

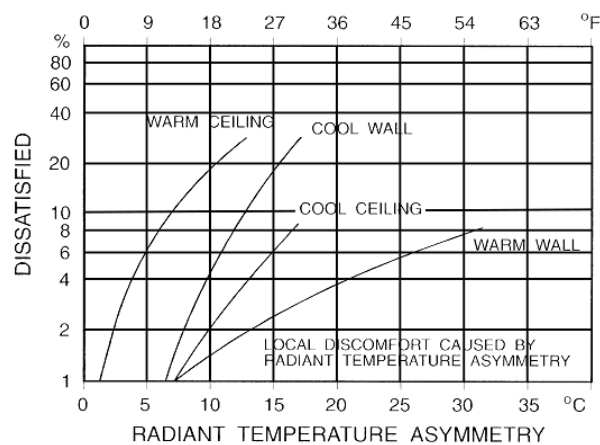


Figura 2.6 - Percentagem de ocupantes que se sentem desconfortáveis, devido à assimetria de radiação [5].

Na avaliação do conforto térmico surgem várias variáveis, podendo estas ser divididas em ambientais e humanas. A Tabela 2.1 apresenta as principais variáveis independentes envolvidas no balanço térmico entre o homem e o ambiente.

Tabela 2.1 - Principais variáveis independentes envolvidas no balanço térmico entre o homem e o ambiente [6].

	Variáveis independentes							
	Temperatura do ar (T_a)	Temperatura média de radiação (T_r)	Velocidade do ar (V_a)	Humidade absoluta (p_a)	Isolamento térmico da roupa (I_{cl})	Resistência à evaporação da roupa (R_{cl})	Metabolismo (M)	Trabalho externo (W)
Produção de calor pelo organismo (M-W)							X	X
Transferência por radiação (R)		X			X			
Transferência por convecção (C)	X		X		X			
Evaporação da pele (E)			X	X		X		
Evaporação pela respiração (E_{res})				X			X	
Convecção pela respiração (C_{res})	X						X	

Segundo as principais normas relativas ao conforto térmico (EN ISO 7730:2005 e ASHRAE 55:2010), é necessário conhecer um conjunto de variáveis ambientais para caracterizar a situação de conforto de um indivíduo. Entre elas destacam-se a temperatura ambiente, temperatura média de radiação, humidade relativa e velocidade do ar. A temperatura e humidade relativa são os aspetos mais importantes na avaliação do conforto térmico, tendo estas variáveis grande peso no resultado final da avaliação do conforto térmico.

A temperatura do ar é a temperatura média do ar circundante a um ocupante. A temperatura está relacionada com a localização e o tempo. No mínimo, a temperatura do ar é realizada com uma média espacial, ou seja uma média numérica da temperatura do ar ao nível do tornozelo, o nível da cintura, e ao nível da cabeça [5]. A temperatura do ar é crucial para se poder analisar as trocas de calor por convecção.

A temperatura média de radiação é a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a transferência de calor por radiação do corpo é igual à transferência por radiação verificada no caso real. Também ela tem uma grande importância para o conforto térmico dos ocupantes.

As trocas de calor por radiação, entre o ocupante e o ambiente que o rodeia dependem da disposição geométrica das superfícies, das características das superfícies opacas e envidraçadas e do corpo humano [5].

A combinação da temperatura média de radiação e da temperatura ambiente, resulta na temperatura operativa que é utilizada na normalização internacional (por exemplo na ASHRAE 55:2010) para caracterizar as condições de conforto dos ocupantes [5].

O termómetro de bolbo negro é o instrumento utilizado com mais frequência, para calcular a temperatura média de radiação. Pode determinar-se um valor aproximado para a temperatura média de radiação através da temperatura de bolbo negro, a temperatura e a velocidade do ar que rodeia o globo [7].

A humidade relativa é uma referência geral para o teor de humidade do ar. Pode ser expressa em termos de variáveis termodinâmicas diversas, incluindo a pressão de vapor, do ponto de orvalho, da temperatura e da razão de humidade. Por sua vez a humidade absoluta é relativa à quantidade real de vapor de água contido no ar. A humidade absoluta é utilizada para se analisar as trocas entre o homem e o ambiente por evaporação.

A velocidade do ar é a velocidade média do ar à qual o corpo é exposto. A velocidade média está relacionada com a localização e o tempo [5]. Este parâmetro tem grande importância na análise das trocas de calor por convecção e evaporação, sendo sentida no conforto geral (perda de calor) e pode ainda causar desconforto térmico local provocadas pelas correntes de ar. Estes problemas são especialmente sentidos se a resistência térmica da roupa for baixa, sendo nestes casos as perdas de calor mais acentuadas.

2.1.2 Conforto térmico global

As normas EN ISO 7730:2005 e EN 15251:2007 apresentam o índice PMV, Voto Médio Previsto (do inglês: Predict Mean Vote) como metodologia a aplicar para caracterizar do conforto térmico global. Este valor prevê o voto médio de um grupo de pessoas numeroso, segundo uma escala de sensações de 7 pontos (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Escala de sensações térmicas [2].

Sensação térmica	PMV
Muito quente	+ 3
Quente	+ 2
Ligeiramente quente	+ 1
Nem quente nem frio	0
Ligeiramente frio	- 1
Frio	- 2
Muito frio	- 3

Para determinar o PMV é necessário definir e conhecer os valores de isolamento térmico da roupa e de metabolismo. A norma EN 15251:2007 sugere valores para os dois, para o metabolismo, em espaços de estar de habitações, sugere o valor de 1,2 met. Quanto ao isolamento das roupas surge com dois valores um para inverno e outro para verão, sendo os valores de 1,0 met e 0,5 met respetivamente.

O PMV pode ser determinado das seguintes formas [2]:

- através do uso de um programa de cálculo fornecido pela norma, em que as variáveis de entrada são: roupa, taxa metabólica, atividade física, temperatura do ar, temperatura média de radiação, velocidade do ar, humidade relativa e pressão parcial de vapor de água;
- através de tabelas e abacos, onde se pode obter o valor de PMV de diferentes combinações de atividade física, roupa, temperatura operativa e velocidade relativa;
- através de medições *in situ* através de equipamento apropriado.

Quando os ocupantes têm uma sensação térmica neutra, está estabelecida combinações adequadas de atividade, roupa e parâmetros ambientais, o PMV será igual a 0.

A norma EN ISO 7730:2005 apresenta um outro índice para avaliar o conforto térmico geral. O índice é o PPD, Percentagem de Pessoas Descontentes (do inglês Percentage of People Dissatisfied) que estabelece a quantidade estimada de pessoas insatisfeitas termicamente com o ambiente. Este índice baseia-se na percentagem de um grupo de pessoas que gostaria que o ambiente se encontrasse mais quente ou frio, votando +3, +2 ou -3 e -2, na escala de sensações [2].

O PPD pode ser determinado analiticamente, através da Equação (2.1), ou recorrendo ao gráfico apresentado na Figura 2.7 que relaciona os índices PMV e PPD.

$$PPD = 100 - 95 \times e^{(-0.03353 \times PMV^4 - 0.2179 \times PMV^2)} \quad (2.1) [2]$$

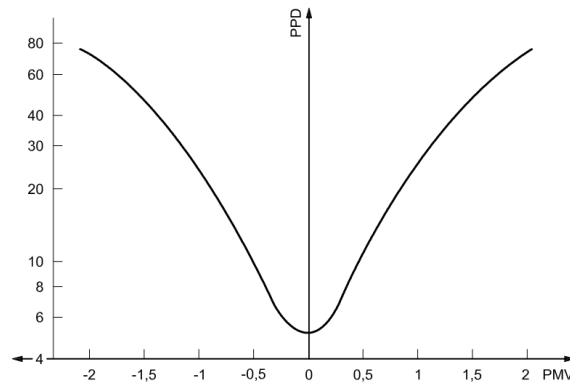


Figura 2.7 - Relação entre o PMV e PPD [2].

Na Tabela 2.3 são apresentados os intervalos de valores dos índices PPD e PMV em função de várias categorias de conforto [1].

Tabela 2.3 - Valores de PPD e PMV para cada categoria de conforto térmico [1].

Categoria de conforto ¹	Estado térmico de um indivíduo	
	PPD (%)	PMV
I	< 6	-0,2 < PMV < 0,2
II	< 10	-0,5 < PMV < 0,5
III	< 15	-0,7 < PMV < 0,7
IV	> 15	PMV < -0,7 ou 0,7 < PMV

¹ I - elevado nível de exigência (lares de idosos, creches)

II - níveis de exigência normais (edifícios novos e reabilitados)

III - nível de exigência aceitável (edifícios existentes)

IV - valores fora dos critérios das categorias anteriores (níveis aceites apenas num período de tempo limitado)

A norma EN 15251:2007 divide ainda os edifícios em dois tipos, climatizados e não climatizados, e define as temperaturas para os diferentes casos. Na Tabela 2.4 são apresentadas as temperaturas para o ambiente interior recomendadas para os edifícios residenciais.

Tabela 2.4 - Valores recomendados para as temperaturas em vários espaços interiores de habitações [1].

Edifícios climatizados			
Tipo de edifício / compartimento	Categoria de conforto*	Temperatura operativa (°C)	
		Mínima de aquecimento (Inverno) \cong 1 clo	Máxima de arrefecimento (Verão) \cong 0,5 clo
Residencial: espaços habitáveis (quarto, sala de estar, cozinhas, etc.) Atividade sedentária \cong 1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	18,0	27,0
Residencial: outros espaços (dispensas, corredores, etc.) Marcha \cong 1,6 met	I	18,0	-
	II	16,0	-
	III	14,0	-
Edifícios não climatizados			
Tipo de edifício / compartimento	Categoria de conforto*	Temperaturas (°C)	
		Para aquecimento \cong 1 clo	Para arrefecimento \cong 0,5 clo
Residencial: espaços habitáveis (quarto, sala de estar, cozinhas, etc.) Sedentário \cong 1,2 met	I	21,0 - 25,0	23,5 - 25,5
	II	20,0 - 25,0	23,0 - 26,0
	III	18,0 - 25,0	22,0 - 27,0
Residencial: outros espaços (dispensas, corredores, etc.) Marcha \cong 1,6 met	I	18,0 - 25,0	-
	II	16,0 - 25,0	-
	III	14,0 - 25,0	-

* - ver Tabela 2.3

A ASHRAE 55:2010 apresenta um método gráfico, onde cria limites para a zona de conforto, seja para Inverno, seja para Verão, em função da temperatura resultante, da humidade relativa, da atividade metabólica desenvolvida e da resistência térmica da roupa (Figura 2.8). Estas zonas de conforto são definidas segundo uma gama de temperaturas que proporcionam um ambiente térmico confortável, ou a uma combinação de condições que conduzem a um ambiente confortável.

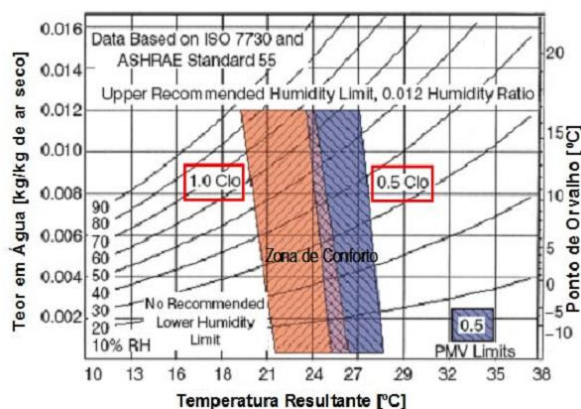


Figura 2.8 - Zonas de conforto de Inverno e de Verão de acordo com a ASHRAE 55 [adaptado 2].

A ASHRAE 55:2010 propõe para edifícios com ventilação natural, em que as condições térmicas do espaço são reguladas principalmente pelos ocupantes, através de abertura e fecho de janelas, um método para avaliar o conforto térmico. As temperaturas operativas permitidas para edifícios que atendem a esses critérios podem ser determinados a partir da Figura 2.9, considerando a temperatura exterior média mensal (média aritmética da temperatura mínima e máxima diária de todos os dias do mês em questão). É recomendada uma gama de valores para a temperatura operativa, para um nível de aceitabilidade de 80% e 90% dos ocupantes.

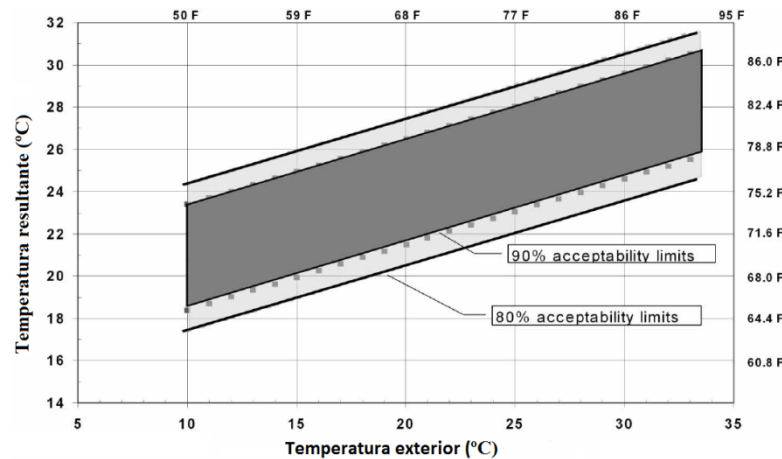


Figura 2.9 - Relação dos limites de temperatura resultante com a temperatura exterior [adaptado 2].

Contudo este método pode não representar as condições reais de utilização e não ser representativo do parque habitacional Português. Luís Matias:2010 desenvolveu um modelo adaptativo, tendo por base um estudo de diversos edifícios com diferentes tipos de utilização (habitações, escritórios, edifícios de ensino e lares). Este estudo defende que o conforto térmico se verifica apenas quando uma pessoa se sente neutra e em simultâneo mostre a preferência em manter essa neutralidade.

Este modelo inclui a grande maioria dos fatores que influenciam o estado de conforto térmico, tais como: a roupa; os sistemas de climatização usados, ou não, para alterar as condições ambientes interiores existentes; a expectativa térmica e o comportamento adotado pelos ocupantes face às condições térmicas (fatores que dependem da temperatura exterior).

Assim este modelo não estuda apenas parâmetros ambientais, mas também tem por base as sensações dos ocupantes. Para avaliar esta conjugação de parâmetros foi criado neste modelo um novo parâmetro a que foi designado Temperatura Interior de Conforto (T_{conf}), que procura

uma maior aproximação à realidade na estimativa das condições de conforto térmico [8]. Logo este modelo pode ser uma mais-valia na análise do conforto térmico no presente estudo.

Este modelo de conforto térmico só é válido dentro de gamas de valores, que caracterizam as condições físicas, apresentadas na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Requisitos físicos para a aplicação do modelo proposto [8].

Parâmetros	Gama de valores
Atividade metabólica (met)	Atividade ligeira: 1,0 met a 1,3 met
Resistência térmica associada ao vestuário (clo)	0,4 clo (Verão) a 1,4 clo (Inverno)
Velocidade do ar (m/s)	0 a 0,6 m/s
Temperatura operativa interior (°C)	10 °C a 35 °C
Temperatura exterior exponencialmente ponderada (°C)	5 °C a 30 °C

Ao contrário da regulamentação térmica atualmente em vigor o nosso País (RCCTE e RSECE) este modelo não estabelece as condições de conforto térmico como valores constantes (Figura 2.10). O gráfico da Figura 2.10 apresenta a gama de valores de temperatura para o qual se prevê que 90% dos ocupantes estejam confortáveis, temperatura de conforto, tanto para edifícios com climatização ou não climatizados. Como pode ser visto o desfaseamento em relação ao valor de temperatura ideal de conforto considerado neste modelo foi de ± 3 °C [8].

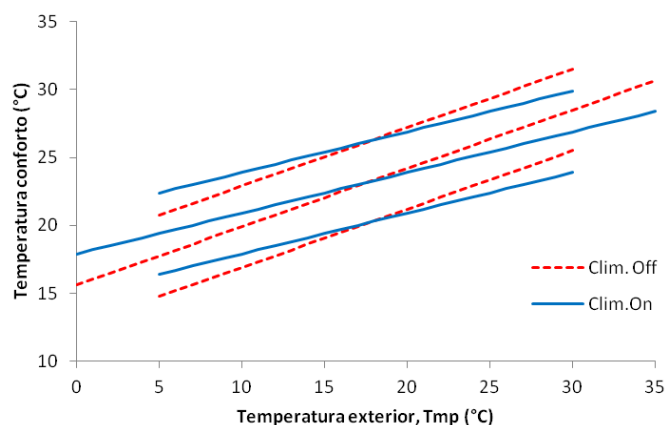


Figura 2.10 - Relação dos limites de temperatura conforto térmico (T_{conf}) com a temperatura exterior (T_{mp}) [adaptado 4].

Considerando o tempo característico que um indivíduo demora a ajustar-se totalmente face às alterações climáticas exteriores é de, aproximadamente, uma semana, a temperatura exterior

(T_{mp}) pode ser calculada, com base nos valores das temperaturas médias diárias da semana precedente, segundo a Equação (2.2) [1].

$$T_{mp} = \frac{(T_{n-1} + 0,8 \times T_{n-2} + 0,6 \times T_{n-3} + 0,5 \times T_{n-4} + 0,4 \times T_{n-5} + 0,3 \times T_{n-6} + 0,2 \times T_{n-7})}{3,8} \quad (2.2)$$

2.1.3 Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)

Em Portugal, nos anos 80, surgem os primeiros padrões de conforto, traduzidos pela fixação de valores limites para vários parâmetros. As Regras de Qualidade Térmica para Edifícios, nome da primeira norma, mais tarde foram substituídas pelo RCCTE:2006, que no início dos anos 90, impôs requisitos ao projeto de novos edifícios e de grandes remodelações salvaguardando a satisfação das condições de conforto térmico sem necessidades excessivas de energia [3].

Em 2006, já depois de ser atualizado, segundo o RCCTE:2006 "as condições ambientes de conforto de referência são uma temperatura do ar de 20°C para a estação de aquecimento e uma temperatura do ar de 25 °C e 50 % de humidade relativa para a estação de arrefecimento" [3].

2.2 Conforto Acústico

O conforto acústico nas habitações é uma condição importante na procura do bem-estar, da saúde e, conseqüentemente, para a longevidade do homem. O desconforto acústico tem uma grande influência sobre o homem e sobre a sua capacidade de concentração, sendo desde logo um elemento que condiciona a sua produtividade, tornando-se também um forte motivador de ação.

O ouvido humano, contudo não é capaz de responder a todos os níveis sonoros a que é sujeito, sendo a sua gama audível apresentada na Figura 2.11. O homem pode sofrer distúrbios de sono, stress e de saúde em geral devido à exposição a ruído. A partir dos 50 dB o homem começa a sentir-se desconfortável, a partir dos 65 dB(A), a saúde dos ocupantes está posta em causa, havendo um aumento no risco de enfarte, infeções, osteoporose, etc. [9].



Figura 2.11 - Gama audível [7].

As fontes do ruído podem ser divididas: fontes externas (tráfego), fontes internas (o próprio ocupante e as tarefas que realiza), estrutura e acabamentos (ruído de impacto em superfícies sólidas), e instalações e equipamentos especiais (ventilação mecânica) [4].

O conforto acústico nos edifícios depende das soluções construtivas escolhidas e da forma como são executadas. No processo conceptual do edifício existem dois momentos que determinam fortemente o conforto acústico: o primeiro quando se decide a localização e a orientação do edifício (sendo esta a escala do planeamento em que é possível evitar a exposição ao ruído e prevenir o seu impacto sobre os utilizadores finais); o segundo momento quando se definem as características de construção de toda a envolvente, pois através dela pode reduzir-se o impacto do ruído nos utilizadores finais. Alguns exemplos de melhorias que podem ser realizadas de forma a melhorar o comportamento acústico de um edifício são apresentados na Figura 2.12.

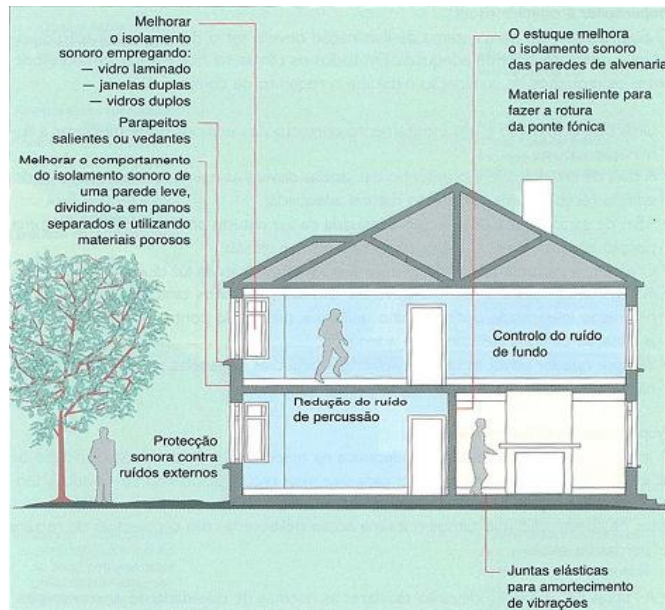


Figura 2.12- Possíveis melhorias do conforto acústico em habitações [4].

A escolha correta de soluções construtivas na fase de projeto, e uma execução de projeto cuidada, são passos importantes para que o edifício apresente um desempenho acústico adequado, em fase de ocupação.

A norma EN 15251:2007 estabelece diferentes níveis de pressão sonora, tendo em conta o tipo de edifício e em função ao tipo de espaço (Tabela 2.6) [1].

Tabela 2.6 - Gama de níveis de pressão sonora recomendados para edifícios residenciais [1].

Tipo de edifício	Tipo de espaço	Nível de pressão sonora dB(A)
Residencial	Sala	25 a 40
	Quarto	20 a 35

A prevenção e o controle da poluição sonora são estipulados pelo Regulamento Geral do Ruído (RGR) [10]. A regulamentação existente em Portugal que regula o comportamento acústico de edifícios é o Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios (RRAE) [11].

O Regulamento Geral do Ruído (RGR) estabelece o regime de prevenção e controlo da poluição sonora, como tentativa de salvaguardar a saúde humana e bem-estar das populações. Para isso é promovida uma distribuição adequada do uso do território, tendo em consideração as fontes de ruído existentes e previstas, trabalho da competência dos municípios (planos municipais de ordenamento do território) [10].

Segundo o RGR o território deve ser delimitado segundo duas zonas, zonas sensíveis e zonas mistas [10].

A zona sensível é vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período noturno [10].

A zona mista é a área cuja ocupação seja afectada a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível [10].

Para descrever o ruído ambiente a que uma zona pode estar exposta, é utilizado dois indicadores de ruído, o indicador de ruído diurno-entardecer-noturno (L_{den}) e o indicador de ruído noturno (L_n).

O L_{den} é o nível sonoro médio de longa duração determinado durante uma série de períodos diurnos, do entardecer e noturnos representativos de um ano.

O L_n é o nível sonoro médio de longa duração determinado durante uma série de períodos noturnos representativos de um ano.

Em função da classificação de uma zona como mista ou sensível, devem ser respeitados os seguintes níveis sonoros [10]:

- as zonas mistas não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicador L_{den} , e superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador L_n ;
- as zonas sensíveis não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador L_{den} , e superior a 45 dB(A), expresso pelo indicador L_n ;
- as zonas sensíveis em cuja proximidade exista em exploração, à data da entrada em vigor do presente Regulamento, uma grande infraestrutura de transporte não devem

ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicador L_{den} , e superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador L_n ;

- as zonas sensíveis em cuja proximidade esteja projetada, à data de elaboração ou revisão do plano municipal de ordenamento do território, uma grande infraestrutura de transporte aéreo não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicador L_{den} , e superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador L_n ;
- as zonas sensíveis em cuja proximidade esteja projetada, à data de elaboração ou revisão do plano municipal de ordenamento do território, uma grande infraestrutura de transporte que não aéreo não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 60 dB(A), expresso pelo indicador L_{den} , e superior a 50 dB(A), expresso pelo indicador L_n .

O Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios (RRAE) estipula requisitos para um conjunto de parâmetros, em função do tipo de edifício em análise, definindo o isolamento sonoro que os elementos construtivos da envolvente devem respeitar, em relação aos sons de condução aérea e aos sons de percussão [11].

O isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, $D_{2m,nT}$, é a diferença entre o nível médio da pressão sonora exterior, medido a 2 metros da fachada do edifício, e o nível médio da pressão sonora medido no local de receção, corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor.

O isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, D_{nT} , é a diferença entre o nível médio da pressão sonora medido no recinto emissor e o nível médio da pressão sonora medido no local de receção, corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor.

O nível sonoro de percussão padronizado, L'_{nT} , é o nível sonoro médio medido no compartimento recetor, proveniente de uma excitação de percussão normalizada exercida sobre um pavimento, corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor.

O nível de avaliação padronizado, $L_{ar,nT}$, é o nível sonoro equivalente, ponderado A, durante o intervalo de tempo T, adicionado das correções das características tonais do ruído, K, e corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor.

O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) aplica-se, entre outros, a edifícios e as suas frações que se destinem a usos habitacionais ou que, para além daquele uso, se destinem também a comércio, indústria, serviços ou diversão, estão sujeitos ao cumprimento dos seguintes requisitos acústicos [11] (Figura 2.13).

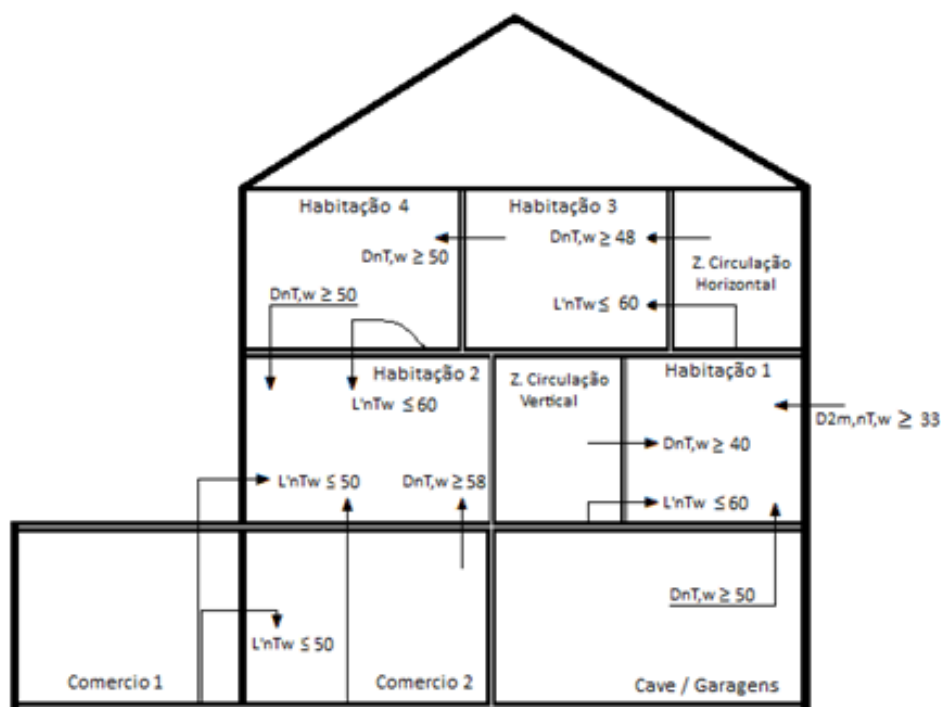


Figura 2.13 - Esquema representativo dos Requisitos Acústicos dos Edifícios [12].

Na Tabela 2.7 apresentam-se os requisitos acústicos para edifícios habitacionais e mistos segundo o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios [11].

Tabela 2.7 - Requisitos acústicos para edifícios habitacionais e mistos segundo o RRAE [11].

Índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado	
$D_{2m,nT,w}$	
Emissor: Exterior dos edifícios	
Recetores: quartos ou zonas de estar dos fogos	
Zona	Requisito
Sensível	≥ 28 dB
Mista	≥ 33 dB
$D_{nT,w}$	
Recetores: quartos ou zonas de estar dos fogos	
Local emissor	Requisitos
Compartimentos de um fogo	≥ 50 dB
Locais de circulação comum do edifício	≥ 48 dB
Garagem de estacionamento automóvel	≥ 50 dB
Caminho de circulação vertical (edifício com elevadores)	≥ 40 dB
Recetores: quartos ou zonas de estar dos fogos	
Local emissor	Requisitos
Locais dos edifícios destinados a comércio, indústrias, serviços ou diversão	≥ 58 dB
Índice de isolamento sonoro a sons percussão padronizado	
$L'_{nT,w}$	
Recetores: quartos ou zonas de estar dos fogos	
Local emissor	Requisitos
Outros fogos ou locais de circulação comum do edifício	≤ 60 dB
Locais dos edifícios destinados a comércio, industria e serviços ou diversão	≤ 50 dB
Nível de avaliação padronizado	
$L_{Ar,nT}$	
Emissores: Equipamentos coletivos do edifício (ascensores, grupos hidropressores, sistemas de climatização e ventilação mecânica, automatismos de portas de garagem, postos de transformação de corrente elétrica e instalações de escoamento de águas)	
Recetores: quartos ou zonas de estar dos fogos	
Particularidades	Requisitos
Funcionamento do equipamento intermitente	≤ 32 dB(A)
Funcionamento do equipamento contínuo	≤ 27 dB(A)
Grupo gerador elétrico de emergência	≤ 40 dB(A)

2.3 Conforto visual

A iluminação tem estado sempre intuitivamente ligada ao bem-estar e à saúde. Os ambientes luminosos são considerados mais confortáveis e saudáveis que os escuros. Existem dois sistemas de iluminação, natural e artificial, contudo a artificial só deve ser utilizada para colmatar a luz natural quando esta não seja adequada e não proporcione conforto aos seus ocupantes [13]. Os sistemas de iluminação podem ter várias classificações como mostra a Figura 2.14.

O projeto de iluminação deverá tomar em consideração as características climáticas predominantes no País, a influência do efeito de sistemas de sombreamento e dos sistemas de controlo da iluminação artificial, bem como a atitude dos ocupantes para com esses sistemas. Só assim é possível tirar os devidos proveitos da luz natural pois quando mal aproveitada pode originar encadeamento, desconforto térmico e consumo acrescido de energia.

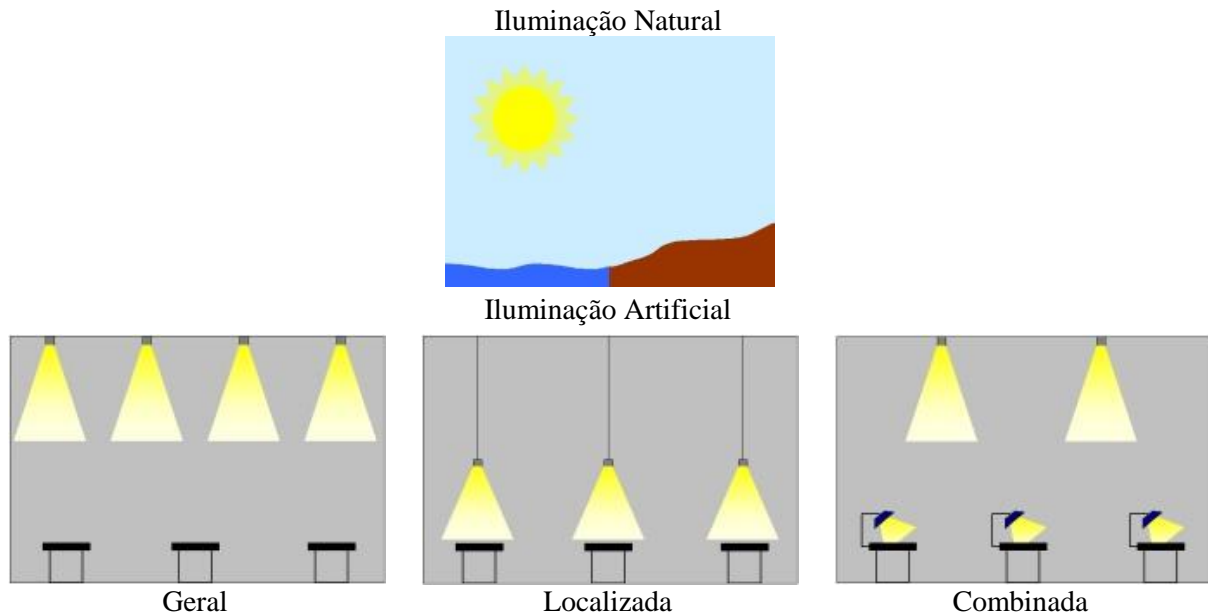


Figura 2.14 - Sistemas de iluminação.

Uma boa iluminação requer igual atenção à quantidade e à qualidade da iluminação. Embora seja necessário uma iluminação suficiente sobre a tarefa, em muitos casos, a visibilidade depende da maneira como a luz é distribuída, as características e cor da fonte de luz e das superfícies, juntamente com o nível de brilho do sistema. Os valores recomendados são considerados para representar um equilíbrio razoável, tendo em conta os requisitos para o desempenho de trabalho seguro, saudável e eficiente. Os valores podem ser conseguidos com soluções de energia prática e eficaz [14].

Na Figura 2.15 apresentam-se algumas medidas para obter condições de conforto lumínico.

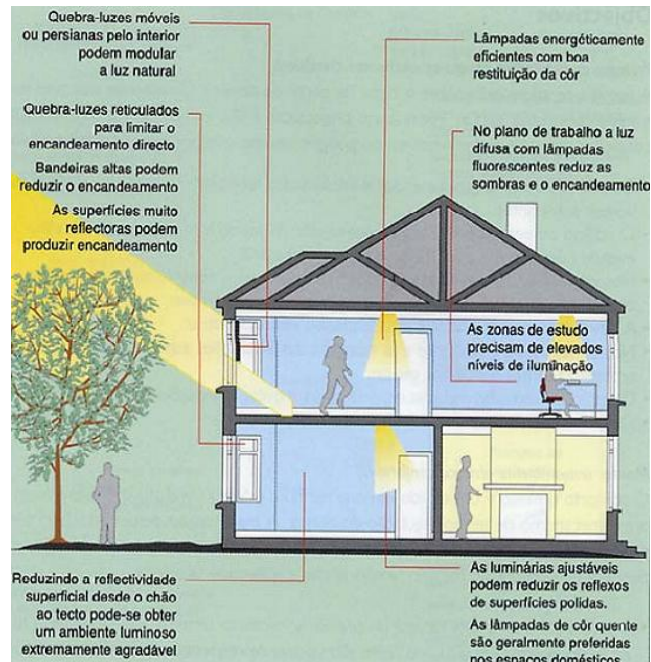


Figura 2.15- Medidas para obtenção de condições de conforto lumínico [4].

Há também parâmetros visuais ergonômicos como a capacidade perceptual e as características e atributos da tarefa, que determinam as habilidades visuais do ocupante, e, conseqüentemente, os níveis de desempenho. Em alguns casos uma pequena alteração destes fatores, pode melhorar o desempenho sem a necessidade de aumentar a iluminância. Por exemplo, melhorando o contraste na área da tarefa, ampliando a tarefa com o uso de óculos e pelo fornecimento de sistemas de iluminação especial com capacidade de iluminação local direcional [14].

A prática de uma boa iluminação para os locais de trabalho é mais do que apenas dar boa visibilidade à tarefa. É essencial que as tarefas sejam realizadas com facilidade e conforto. Assim, a iluminação deve satisfazer os aspectos quantitativos e qualitativos exigidos pelo ambiente. Na iluminação é de assegurar em geral [14]:

- conforto visual, onde os trabalhadores têm uma sensação de bem-estar;
- iluminação que crie um ambiente propício a um bom desempenho, onde os trabalhadores são capazes de realizar as suas tarefas visuais, rápida e com precisão, mesmo em circunstâncias difíceis e durante longos períodos;
- iluminação que crie um ambiente seguro, para que seja possível detetar possíveis riscos.

Para satisfazer estas condições, deve-se ter em atenção todos os parâmetros que contribuem para um bom meio ambiente luminoso. Sendo que os principais parâmetros são [14]:

- distribuição de luminosidade,
- iluminância,
- reflexo,
- direccionalidade da luz,
- aspeto e cor da luz e superfícies,
- fator luz do dia (FLD).

Além da iluminação existem outros parâmetros visuais que influenciam o desempenho visual dos ocupantes (sendo desnecessário uma maior iluminância), tais como [14]:

- as propriedades intrínsecas da tarefa (tamanho, forma, posição, cor e reflectância do pormenor e de fundo),
- capacidade oftálmica do ocupante (acuidade visual, percepção de profundidade, a percepção de cor).

A luz natural pode fornecer a totalidade ou parte da iluminação para tarefas visuais. A luz natural varia ao longo do dia, produzindo uma iluminação não uniforme, uma das principais características deste sistema de iluminação. A luz do dia apresenta uma distribuição de luminosidade muito específica, devido ao seu fluxo quase horizontal das janelas laterais. A luz natural pode ainda ser fornecida por claraboias e outros elementos de vidro.

A captação da luz natural tem vários fatores dos quais depende, nomeadamente o local de implantação, as aberturas e sua orientação e o próprio clima em que o edifício vai estar inserido.

A luz natural verificada no interior dos edifícios depende das condições de nebulosidade (por exemplo céu limpo), da hora do dia, das características geométricas dos compartimentos, das dimensões dos envidraçados e sua orientação, das possíveis obstruções exteriores e também das características das superfícies interiores dos compartimentos (por exemplo a cor).

A área de envidraçado é a área medida pelo interior, das zonas não opacas da envolvente de um edifício (ou fração autónoma) incluindo os respetivos caixilhos, multiplicada pela fração envidraçada para os diferentes tipos de caixilharia definidos no RCCTE [3].

Contudo a área de envidraçado não é o único fator que assegura a quantidade e qualidade de luz natural, as dimensões do compartimento, a orientação da fachada, o sistema de sombreamento, o tipo de caixilharia, as cores, os revestimentos interiores e as obstruções exteriores também afetam a luz natural [15].

As janelas também podem proporcionar um contacto visual com o mundo exterior, que é preferido pela maioria das pessoas. Porém é de evitar contraste excessivo e desconforto térmico causado pela luz solar direta nas áreas de trabalho. Devem existir formas de controlar a entrada de luz solar adequadas, tais como cortinas ou estores, de modo que a luz solar direta não atinja os trabalhadores e/ou superfícies dentro do seu campo de visão, evitando desta forma um contraste excessivo e desconforto térmico.

A iluminação natural apresenta inúmeras vantagens, entre elas a não utilização de energia para a produzir e por questões de saúde. Existem estudos recentes que ligam a depressão com trocas genéticas na composição química do organismo [16]. Estas trocas envolvem, geralmente, um desequilíbrio nos neurotransmissores, em particular a serotonina, em que é a luz que passa através da pupila que estimula a sua produção. Caso a luz seja escassa durante muito tempo, essa regulação hormonal não é correta e aumentam os casos de depressão [17].

Outro aspeto benéfico da luz natural está relacionado com os biorritmos do ser humano. Os biorritmos estão ligados ao ritmo das horas, ao decorrer do dia, à noite e ao amanhecer. A serotonina regula o “relógio interno” do ser humano que funciona como um coordenador de todas as funções a um determinado ritmo coincidente com um ciclo de 24 horas. Deste modo, determinam-se os ciclos de sono [17].

De forma a evitar a ocorrência destas patologias o projeto de iluminação deve proporcionar uma saudável interligação entre a iluminação artificial e natural, com o propósito de diminuir a fatura energética em eletricidade utilizada em iluminação e proporcionar aos seus ocupantes um nível de iluminação adequado.


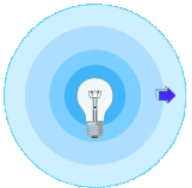
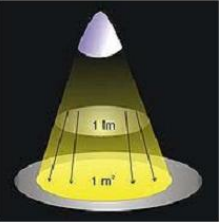
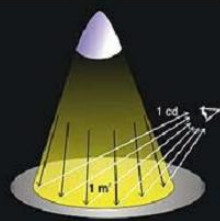
2.3.1 Princípios de iluminação

A norma ISO CIE 8995:2002 especifica requisitos de iluminação para interiores e locais de trabalho para as pessoas executarem as tarefas visuais de forma eficiente, com conforto e segurança durante todo o período de trabalho. Contudo esta norma não explica sistemas de iluminação ou técnicas a utilizar para otimizar soluções para os locais de trabalho específicos [14].

A norma EN 15251:2007, relativa à qualidade do ambiente interior, define também as condições de iluminação para a obtenção de conforto [1].

Existem várias grandezas fotométricas para avaliar e caracterizar a luminosidade, sendo as mais comuns as retratadas na Tabela 2.8.

Tabela 2.8 - Conceitos e unidades de algumas grandezas fotométricas [13].

Grandeza	Símbolo	Definição	Unidade	
Fluxo luminoso		Quantidade total de luz emitida por uma fonte luminosa ou a luz total incidente numa superfície, por unidade de tempo.	lumen (lm)	
Intensidade luminosa	I	Medida do fluxo luminoso emitido por uma fonte, numa determinada direção.	candela (cd)	
Iluminância	E	Medida do fluxo luminoso incidente por unidade de superfície.	lux (lx) (1 lux = 1 lm/m ²)	
Luminância	L	Intensidade luminosa emitida, transmitida ou refletida por unidade de superfície, é o fluxo luminoso que vem de uma superfície e chega aos olhos do observador.	candela por metro quadrado (cd/m ²)	

O nível de iluminância (que exprime o aspeto quantitativo da iluminação) recomendado para uma dada tarefa diz respeito à quantidade de luz que se considera necessária à boa execução dessa tarefa determinando também a qualidade da percepção visual.

O conforto e precisão visual é tanto mais adequado quanto mais próximo estiver do valor do nível superior que se considera adequado, assim sendo, o trabalho processa-se mais rápido e perfeito, provocando menos enganos e havendo um maior nível de segurança. Na Tabela 2.9 são apresentados os níveis de iluminação adequados a diversas condições.

Tabela 2.9 - Gamas de iluminância por diferentes compartimentos, tarefas ou atividades [14].

Gama de Iluminância (lx)	Tipos de compartimento, de Tarefas ou/e Atividade
100	Halls de entrada, zonas de circulação e corredores
150	Escadas.
200	Cozinhas, cantinas e Wc's.
100	Quartos.
500	Escritório, escrever, ler.

Contudo níveis superiores a 1 000 lx aumentam os riscos de reflexão, de sombras demasiado pronunciadas e de contraste excessivo. No caso dos escritórios, por vezes existem grandes superfícies demasiado brilhantes, observando-se depois fenómenos de reflexão, de encadeamento e de contrastes demasiado marcados que contribuem para um aumento do risco de problemas visuais.

Em espaços dotados de iluminação natural, o fator de luz do dia (FLD) pode ser usado como requisito em termos de iluminância. Este fator tem como principal vantagem o facto de considerar tanto a variabilidade como outras propriedades da luz natural.

O fator de luz do dia é o quociente entre a iluminância natural interior recebida num ponto do plano de referência (geralmente no plano de trabalho) e a iluminância exterior simultânea sobre uma superfície horizontal num ponto sem obstruções. Estes valores de iluminância são valores recebidos do mesmo céu [13].

Este conceito de FLD pode ser aplicado em qualquer situação de nebulosidade, contudo a Comissão Internacional de Iluminação (do francês Commission Internationale de l'Éclairage)

define como condições ideais o céu encoberto padrão. Sob estas condições os valores do FLD são independentes da orientação das superfícies envidraçadas, da estação do ano e da hora.

Alguns valores para este parâmetro são apresentados na Tabela 2.10, em função do tipo de compartimento, e na Tabela 2.10 e em função da profundidade do compartimento[15,18,19].

Tabela 2.10 - FLD recomendado para alguns tipos de espaços [15,18,19].

Espaço	FLD (%)	
	Média	Mínimo
Sala	1,5	0,5
Quarto	1,0	0,3
Cozinha	2,0	0,6

Tabela 2.11 - Valores recomendados FDL de acordo com o espaço e profundidade [15,18,19].

Compartimento	FDL (%)
Cozinhas	$\geq 2\%$ a 1/2 da profundidade do compartimento
Salas	$\geq 1\%$ a 1/2 da profundidade do compartimento
Quartos	$\geq 0,5\%$ a 3/4 da profundidade do compartimento

A iluminação natural tem associados dois problemas, o encadeamento e os ganhos térmicos, criando desde logo um desafio de maximizar a iluminação, minimizando os ganhos solares.

A norma ISO CIE 8995:2002 apresenta um conjunto de recomendações relativas à distribuição da luminância, à iluminância, encadeamento e reflexos [14].

A distribuição de luminância no campo de visão controla o nível de adaptação dos olhos, podendo afetar a visibilidade da tarefa. A adaptação bem equilibrada à luminância é necessária para aumentar:

- acuidade visual (nitidez da visão);
- sensibilidade ao contraste (discriminação das diferenças de luminância relativamente pequenas);
- a eficiência das funções oculares.

Distribuição variável de luminância no campo de visão também afeta o conforto visual, logo deve ser evitado:

- as luminâncias altas que podem dar origem a reflexos.
- contrastes de luminância altos irão causar fadiga visual, devido a readaptação contínua dos olhos.
- luminâncias muito baixas tem como resultado um ambiente sem brilho e não estimulante de trabalho.
- deve ser dada atenção à adaptação ao mover-se de zona para zona dentro de um edifício.

As luminâncias de todas as superfícies são importantes e serão determinadas pelo coeficiente de reflexão de iluminância de cada superfície. A gama de reflectâncias úteis para as principais superfícies interiores é apresentada na Tabela 2.12.

Tabela 2.12 - Reflectâncias recomendadas [14].

Compartimento	Reflectâncias
Teto	0,6 - 0,9
Paredes	0,3 - 0,8
Planos de trabalho	0,2 - 0,6
Piso	0,1 - 0,5

A iluminância e a sua distribuição nas áreas de tarefas e proximidades têm um grande impacto sobre quão rápido, com segurança e conforto a pessoa percebe e realiza a tarefa visual.

A iluminância média para realizar uma tarefa tem em consideração os seguintes fatores:

- requisitos mínimos para realizar a tarefa;
- segurança;
- aspetos psicofisiológicos como o conforto visual e bem-estar,
- economia;
- experiência da prática.

O valor de iluminância pode ser ajustado, se as condições visuais diferirem dos pressupostos normais. A iluminância deve ser aumentada quando:

- contrastes baixos estão presentes na tarefa;
- o trabalho visual é crítico;

- erros são dispendiosos para corrigir;
- exatidão ou maior produtividade é de grande importância;
- a capacidade visual do trabalhador é abaixo do normal.

A iluminância pode ser diminuída quando:

- os detalhes são de um tamanho invulgarmente grande ou alto contraste,
- a tarefa é realizada por um período de tempo muito curto.

Em áreas onde o trabalho é realizado em contínuo a iluminância não deverá ser inferior a 200 lx [14]. A iluminância das áreas imediatamente circundantes deve estar relacionada com a iluminância da área de tarefa e deve proporcionar uma distribuição de luminância bem equilibrada no campo de visão. As rápidas mudanças espaciais em iluminâncias em torno da área de tarefa podem levar ao stress visual e desconforto.

A iluminância das áreas circundantes pode ser inferior à iluminância da tarefa, mas não deve ser inferior aos valores indicados na Tabela 2.13.

Tabela 2.13 - Limites da iluminância das áreas circundantes a uma área de tarefa [14].

Iluminância no local da tarefa (lx)	Iluminância das áreas circundantes (lx)
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	Igual à do local da tarefa

A uniformidade da iluminação é a razão entre o valor mínimo e a média. A iluminância deve mudar gradualmente. A área de tarefa deve ser iluminada tão uniformemente quanto possível.

A uniformidade da iluminância no local de tarefa não deve ser inferior a 0,7. A uniformidade da iluminação das áreas de circundantes não deve ser inferior a 0,5 [14].

O encadeamento é a sensação visual produzida por áreas claras dentro do campo de visão. O encadeamento também pode ser causado por reflexos em superfícies especulares. É importante limitar o encadeamento para evitar erros de fadiga e acidentes.

O encadeamento é causado por luminâncias excessivas ou contrastes no campo de visão e pode prejudicar a visão de objetos. Pode ser evitado por exemplo com uma adequada proteção de lâmpadas ou através de sombreamento das janelas por cortinas.

As reflexões podem muitas vezes alterar a visibilidade da tarefa, geralmente negativamente. As reflexões podem ser prevenidas ou reduzidas através das seguintes medidas:

- arranjo dos equipamentos de iluminação e locais de trabalho;
- acabamento da superfície;
- iluminância dos equipamentos de iluminação (limite);
- aumento da área luminosa dos equipamentos de iluminação (amplia a área luminosa);
- superfícies, teto e parede (pintar de cor clara, evitar pontos de brilho).

A orientação da fachada tem grande influência no que diz respeito à iluminação natural. Contudo a orientação da fachada não é o único fator a influenciar a iluminação natural, a orientação dos envidraçados assim como os sistemas de sombreamento utilizados, também influenciam a iluminação natural.

As fachadas orientadas a Sul e a Norte apresentam uma maior eficiência para assegurar condições de iluminação natural sem a incidência de radiação solar comparativamente às fachadas Este e Oeste, isto deve-se à posição do sol ao longo do dia e à maior facilidade de controlo/proteção da entrada da radiação, usando sistemas de sombreamento fixos (palas) (Figura 2.16) [13].

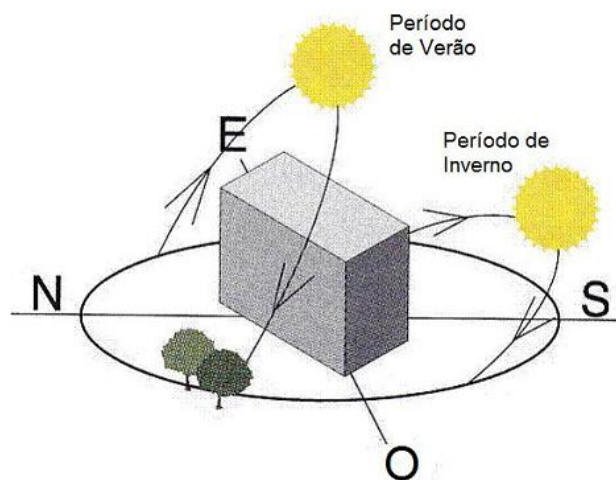


Figura 2.16 - Movimento do Sol ao longo do dia para os períodos de Verão e Inverno [4].

A orientação dos vãos envidraçados é uma questão importante para um bom aproveitamento da iluminação natural, porque [18]:

- os envidraçados a Norte apesar de permitir um bom aproveitamento da luz natural com ganhos térmicos reduzidos no Verão, contudo as perdas térmicas nos períodos de Inverno são significativas. Posto isto a orientação a Norte é a opção mais apropriada quando se pretende excluir a radiação solar direta.
- os envidraçados a Sul receberão um maior nível de radiação solar do que fachadas em outras orientações, sendo que no Verão é com facilidade que se protege a fachada Sul da radiação solar. Estes envidraçados possibilitam ainda o acesso a uma iluminação natural forte e contrastante. Desta forma os envidraçados orientados a Sul são os preferenciais.
- os envidraçados a Este e Oeste apresentam uma menor eficiência, sendo a sua iluminação desigual ao longo dos períodos do dia e a aplicação de sistemas de sombreamento pode ser problemática.
- envidraçados horizontais são os mais expostos à radiação solar direta no Verão, devendo ser alvo de particular atenção no controlo de ganhos solares.

A colocação de sistemas de sombreamento nos edifícios de habitação é fundamental. Por meio deles é possível controlar a luminosidade e, caso seja desejado, resguardar a atividade realizada no interior dos edifícios.

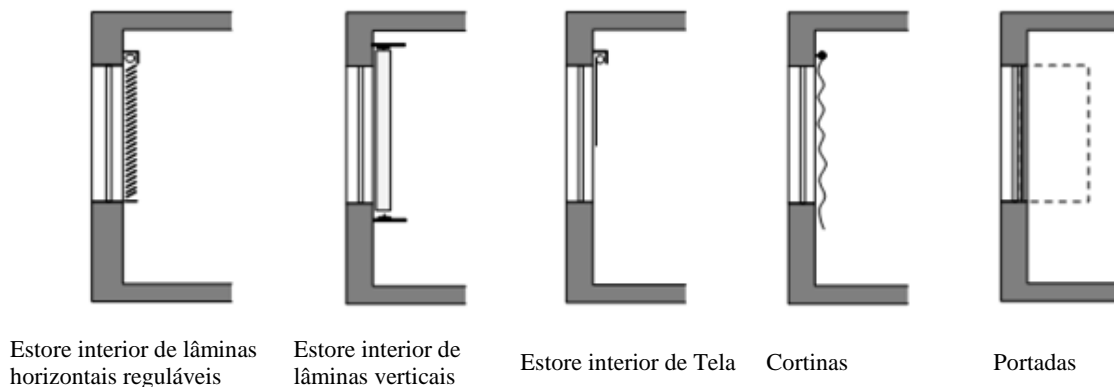
As proteções solares devem ter alta capacidade refletiva e baixa capacidade de absorção, refletindo assim a radiação solar e evitando a entrada excessiva de calor.

Os tipos de proteções solares mais utilizados em edifícios de habitação são os meios de sombreamento fixos (palas horizontais e verticais) e os dispositivos amovíveis, que podem ser ativados pelos utilizadores das habitações (estores, telas e portadas) e que tanto podem ser colocados pelo exterior como pelo interior, tal como está representada na Figura 2.17 e na Figura 2.18. O sombreamento também pode ser realizado recorrendo a vegetação.



- | | |
|--|--|
| 1 - Pala horizontal simples | 8 - Ecrã exterior de correr |
| 2 - Pala horizontal de lâminas verticais descontinuas | 9, 10 - Toldos |
| 2a - Pala horizontal e lâminas verticais descontinuas | 11 - Palas verticais |
| 3 - "Louvers" | 12 - Combinação de pala horizontal e pala vertical |
| 4 - Pala horizontal basculante | 13 - Quebra-Sol |
| 5 - Pala horizontal com elementos verticais basculantes ou deslizantes | 14 - Estores de lâminas verticais orientáveis |
| 6 - Estore de correr | 15 - Portada |
| 7 - Estores exteriores de lâminas horizontais móveis | 16 - Ecrã deslizante |

Figura 2.17 - Sistemas de sombreamento pelo exterior [7].



- | | | | | |
|---|--------------------------------------|-------------------------|----------|----------|
| Estore interior de lâminas horizontais reguláveis | Estore interior de lâminas verticais | Estore interior de Tela | Cortinas | Portadas |
|---|--------------------------------------|-------------------------|----------|----------|

Figura 2.18 - Sistemas de sombreamento pelo interior [7].

Os regulamentos existentes em Portugal, embora referenciem a iluminação (regulamentos de outras áreas) não existe regulamentação específica relativa à iluminação. Contudo os regulamentos de outras áreas condicionam e influenciam o acesso da iluminação aos edifícios [19].

2.4 Qualidade do ar interior

A qualidade do ar interior (QAI) é um parâmetro fulcral para a qualidade do ambiente interior. Quando o ar interior fica deteriorado/viciado a qualidade do ambiente interior é inferior. A QAI de edifícios apesar de ser uma preocupação que acompanha o homem desde há séculos, só desde há poucas décadas tem sido alvo de uma maior atenção. Porém a relevância da QAI foi crescendo com o aumento do tempo de permanência no interior de

edifícios (cerca de 90%). Para melhorar a QAI surgiram novas práticas construtivas, contudo por vezes devido à sua incorreta aplicação, ao invés de solucionar os problemas, tornavam-se potenciais geradoras de deficiências de carácter higrotérmico [20].

Na atualidade a preocupação com a QAI tem vindo a alargar-se verificando-se inclusive no local de trabalho, onde os funcionários esperam um ambiente confortável e saudável, o que também é favorável para a entidade patronal, visto a produtividade ser muito afetada por a QAI [21].

A qualidade inadequada do ar interior, além de desconforto, pode ainda provocar problemas de saúde, todavia os odores podem servir como indicadores de problemas nos edifícios (Tabela 2.14).

Tabela 2.14 - Odores como indicadores de problemas nos edifícios [22].

Descrição	Problema	Queixas
Exaustão de produtos de combustão, escape de veículos	Monóxido de carbono	Dores de cabeça, náuseas, cansaço, vertigens
Odores corporais	Sobrelotação, baixa taxa de ventilação (elevados níveis de dióxido de carbono)	Dores de cabeça, cansaço, falta de ar
Cheiro a mofo (bafio)	Material microbiano	Sintomas de alergia
Cheiro a químicos	Formaldeído, pesticidas, outros químicos	Irritação dos olhos, nariz e garganta
Cheiro a solventes, perfumes, outros	COVs	Odores, sintomas de alergia, vertigens, dores de cabeça
Cheiro a cimento molhado, pó, calcário	Partículas, falha do sistema de humidificação do ar	Olhos secos, problemas respiratórios, irritação do nariz e garganta, irritação na pele, tosse, espirros
Odor de gás de esgoto (efluente)	Falta de escorvamento de sifões da rede de esgotos	Cheiro a efluente doméstico

Estes sintomas/queixas quando se fazem sentir unicamente no interior dos edifícios e desaparecem pouco depois da saída do edifício, levantam uma nova problemática designada por Síndrome do Edifício Doente (SBS) [23].

O nome Síndrome do Edifício Doente, surge pela primeira vez nos anos 70, em edifícios de serviços que apresentavam situações em que os ocupantes apresentavam problemas de saúde associados à sua permanência no interior do edifício. Devido a estes problemas começou-se a

verificar que existia uma redução da eficiência do trabalho, um aumento nas pausas prolongadas e insatisfações frequentes por parte dos clientes e dos trabalhadores [7].

Em termos práticos a Síndrome é detetada quando cerca dos 20% dos ocupantes desses edifícios apresentam os sintomas [24].

Em edifícios com SBS normalmente os sintomas evidenciados por um número significativo de ocupantes são:

- irritação das mucosas do globo ocular, nariz e garganta;
- afeções cutâneas (pele seca e irritação);
- dores de cabeça; tonturas e náuseas;
- sintomatologia asmática;
- distúrbios neuropsiquiátricos;
- odor e gosto desagradáveis.

As causas do SBS não são de fácil definição, sendo normalmente uma associação e interação de vários fatores como: problemas no sistema de climatização artificial, substâncias químicas (gases, vapores, animais e formaldeídos) e físicas (poeiras e fibras libertadas) e microrganismos (fungos, bactérias e pólen).

A publicação da recente regulamentação Portuguesa na área da térmica de edifícios e qualidade do ar interior veio aumentar os níveis de exigência relativamente ao comportamento higrotérmico da envolvente dos edifícios e às condições de ventilação e da qualidade do ar interior. Na intervenção do Perito Qualificado (PQ) ao nível dos edifícios abrangidos pelo RCESE, o PQ deve realizar, no mínimo, as seguintes ações: recolha de informação relevante, realizar uma visita prévia, verificar expeditamente o nível de CO₂, e pré-avaliar as condições de higiene e manutenção do(s) sistema(s) de aquecimento, de ventilação e ar condicionado (AVAC) [25].

O PQ para recolher informação relevante deve diligenciar, junto do proprietário ou responsável do edifício, a memória descritiva e plantas atualizadas do edifício e da especialidade AVAC, identificação e caracterização de áreas com uso especial, número de

ocupantes e padrão de ocupação dos diferentes tipos de espaços e por ultimo os registo de queixas (se existirem) [22].

Para verificar o rigor e atualizar a informação previamente disponibilizada pelo proprietário ou responsável, o PQ deve realizar, pelo menos, uma visita prévia ao edifício, tendo como ajuda indicadores gerais (odores, sobrelotação, falta de condições sanitárias, pó ou partículas, problemas de humidade e presença de substancias químicas) que podem apontar para possíveis fontes poluentes.

Um outro parâmetro a verificar pelo PQ é o nível de CO₂, visto a qualidade do ar interior estar intimamente dependente da concentração de CO₂, que por sua vez está relacionada com a ventilação, já que quando se verifica elevadas concentrações deste composto pode ser indicador de uma deficiente ventilação dos espaços interiores.

Por fim, mas também condicionante da qualidade do ar interior, o PQ terá de realizar uma pré-avaliação das condições de higiene e manutenção do(s) sistema(s) de AVAC, que poderá ser realizada durante a visita prévia ao edifício.

A NT-SCE-02 fornece uma lista de poluentes e concentrações máximas de referência a medir (Tabela 2.15), com o objetivo de verificação de conformidade no âmbito das auditorias periódicas previstas no RSECE [22].

Tabela 2.15 - Concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios [22].

Parâmetro	Concentração máxima de referência
Partículas (PM10)	0,15 mg/m ³
Dióxido de carbono (CO ₂)	1800 mg/m ³
Monóxido de carbono (CO)	12,5mg/m ³
Ozono (O ₃)	0,2 mg/m ³
Formaldeído (HCHO)	0,1mg/m ³
Compostos orgânicos voláteis totais (COVtotais)	0,6 mg/m ³
Radão (Rn)	400 Bq/m ³ (Becquerel/m ³)
Bactérias	500 UFC/m ³ de ar (Unidades Formadoras de Colónias/m ³)
Fungos	500 UFC/m ³ de ar (Unidades Formadoras de Colónias/m ³)
Legionela	100 UFC/l de água (Unidades Formadoras de Colónias/l)

O dióxido de carbono (CO_2) é um gás incolor, inodoro e não inflamável, produzido por um processo de combustão completa de combustíveis fósseis e também por processos metabólicos. As principais fontes de dióxido de carbono nas habitações são: fogões a gás, aquecedores, seres humanos e animais de estimação [26].

O CO_2 por si só não causa problemas de saúde, contudo a sua concentração elevada num local fechado é um indicador da qualidade do ar interior. É um excelente indicador do desempenho da ventilação e pode ser usado para prever se outros contaminantes internos se acumulam ou não [26]. No entanto, esta previsão necessita algum cuidado, já que uma baixa concentração de CO_2 não implica que outro poluente tenha uma baixa concentração no espaço.

O monóxido de carbono (CO) é um gás incolor, inodoro e insípido. É produzido através de uma combustão incompleta, ou seja combustão de materiais que contenham carbono em um local com deficiência de oxigénio [26]. A exaustão de veículos em garagens, aquecedores a gás, lareiras, fogões e qualquer outro aparelho que haja combustão são as principais fontes de CO em habitações [26].

O CO atua como um agente asfíxiante, afetando as partes do corpo que mais necessitam de oxigénio (cérebro e coração). As pessoas mais idosas, crianças ou pessoas com problemas cardiovasculares ou doenças pulmonares são particularmente sensíveis a elevadas concentrações de CO [26].

Em concentrações baixas os sintomas não são muito específicos, sendo semelhantes a uma gripe. Com o aumento da concentração pode surgir vertigens, dor de cabeça, náuseas, zumbidos nos ouvidos, palpitação cardíaca e respiração irregular e quando a concentração é muito elevada pode induzir inconsciência, danos ao nível do sistema nervoso central e ao sistema circulatório e à morte [27].

Os compostos orgânicos voláteis (COV) são todos aqueles que contêm carbono e hidrogénio e que se volatilizam à temperatura ambiente. As fontes mais prováveis de COV são as pinturas, tabaco, máquinas fotocopadoras, tapetes, processos de combustão, adesivos, gasolina e papel de parede [26].

Os principais sintomas relacionados com a presença deste poluente são: cansaço, dores de cabeça, tonturas, fraqueza, sonolência, irritação dos olhos e pele.

Um outro facto importante é que um composto pode interagir com outro e fazer com que os efeitos à saúde sejam agravados, ou seja o efeito é dos gases juntos é pior do que a soma dos efeitos dos gases isolados [26].

O formaldeído é um COV, que devido à sua importância e elevada toxicidade é estudado em separado. É utilizado em uma larga variedade de produtos químicos, materiais de construção e produtos de limpeza, sendo normalmente introduzido no edifício durante a construção. É solúvel em água e altamente reativo, podendo ser encontrado em três estados físicos: gás, solução aquosa e como polímero sólido [26].

Sendo muito solúvel em água o formaldeído pode irritar qualquer parte do corpo que contenha humidade, como exemplo os olhos, a garganta e o nariz. Pode ainda destruir o revestimento do nariz, impedindo-o de reter partículas do ar e micróbios, entre outros problemas.

A emissão deste poluente aumenta com o aumento da temperatura e é diretamente proporcional à humidade.

As partículas suspensas no ar (PM) são uma mistura física e química de diversas substâncias presentes em suspensão no ar em forma sólida ou líquida (gotículas). Este é o poluente mais visível da poluição, sendo de fácil deteção. O seu tamanho pode variar de 0,005 100 micrómetros [26].

As PMs apresentam uma composição química muito variável, sendo constituída por amianto, fibras minerais, fibras sintéticas, esporos fúngicos, restos de insetos e resíduos alimentares, pólen e produtos utilizados pelos ocupantes.

As principais fontes de partículas no interior de habitações são: cozinhar, aspirar e fumar. As PMs provocam problemas respiratórios, uma vez que quando inaladas, as partículas depositam-se na traqueia ou na zona pulmonar.

O ozono (O_3) pode ser considerado como um poluente secundário visto ser produzido através da reação de dois poluentes, tais como VOCs e óxidos de nitrogénio (NO_x) na presença de fontes de calor e da luz solar. É um gás à temperatura ambiente, altamente radioativo e oxidante que pode reagir com outros químicos existentes no ambiente interior.

As principais fontes são: fotocopiadoras, impressoras a laser e filtros eletrónicos.

A exposição ao ozono pode tornar as pessoas mais susceptíveis a infeções respiratórias, a irritações dos olhos e pele, dores de cabeça e agravar problemas respiratórios já existentes como o asma.

Os agentes biológicos podem ser um problema sério, sendo vários os fatores que permitem o seu crescimento e formação. A humidade relativa alta, ventilação insuficiente, edifícios estanques, sistemas de aquecimento, ventilação ou ar condicionado que possua água ou condensações em algumas partes permitem o crescimento e a distribuição de diversos microrganismos. Destes fatores a humidade relativa alta é um dos mais importantes, pois permite o aumento das populações de ácaros e o crescimento de fungos sobre superfícies húmidas [26].

Estes agentes podem ser causadores de doenças que vão desde infeções a doenças causadas por microrganismos invasores dos tecidos humanos (tuberculose e hipersensibilidade) e a toxicidade [26].

A legionela encontra-se frequentemente em reservatórios de água e cresce em água quente. Os sistemas de distribuição de água quente e as torres de arrefecimento dos equipamentos de ar condicionado são identificados como as principais fontes de infeção. São conhecidas várias espécies de legionela, sendo a legionela pneumophila uma das mais relevantes.

A legionela pode provocar pneumonias, a doença do legionário e afecta os pulmões e outros órgãos. Os sintomas podem ser muito variados, mas incluem tipicamente tosse não produtiva, mialgia, fraqueza e temperaturas corporais superiores a $40^{\circ}C$.

A Tabela 2.16 resume as principais fontes e efeitos na saúde dos poluentes mais relevantes que afetam a qualidade do ar interior [23,26,29].

Tabela 2.16 - Fontes e efeitos na saúde de poluentes que afetam a qualidade do ar interior [21].

Poluente	Principais fontes	Efeitos na saúde
CO (Monóxido de Carbono)	Processos de combustão (aquecedores, esquentadores, fogões, lareiras, braseiras) Fumo de tabaco, escape de veículos	Carboxihemoglobinemia (impede a captação de oxigénio), dores de cabeça, náuseas e cansaço, efeitos no sistema nervoso central e do sistema cardiovascular
CO₂ (Dióxido de Carbono)	Ocupantes (suor/transpiração, respiração, digestão da boca, estômago e canal intestinal - Bioefluentes) e o fumo de tabaco.	Efeitos no sistema nervoso central e do sistema cardiovascular Dores de cabeça, irritação de olhos e garganta, fadiga e falta de ar.
HCHO (Formaldeído)	Desinfetantes, pesticidas, produtos derivados de madeira, conservantes de madeira, espumas de isolamento, materiais de construção, mobiliário, material têxtil, isolantes, adesivos, colas e tintas, fumo de tabaco, solventes de lacas e resinas.	Irritação dos olhos, nariz, garganta e pele, dores de cabeça, enjoos, fadiga e problemas respiratórios.
COV's (Compostos orgânicos voláteis)	Solventes, tintas, colas, resinas, vernizes, produtos de limpeza, aglomerado de cortiça, desinfetantes, desodorizantes, perfumes, inseticidas, pesticidas, fungicidas, material de construção, mobiliário, fumo de tabaco, bombas de gasolina e outras atividades.	Odores, sintomas de alergia, náuseas, leucemia, cancro da pele e pulmão, olhos vermelhos, secura das mucosas do nariz e garganta, dores de cabeça, fadiga e vertigens.
O₃ (Ozono)	Fotocopiadoras, impressoras a laser, aparelhos de limpeza, reações fotoquímicas e desinfetante de água.	Problemas respiratórios, irritação nos olhos, dores de cabeça, alteração da vigilância e da atuação, edema pulmonar se exposição for prolongada ou repetida, pressão no peito, tosse, reações asmáticas, alérgicas e secura da boca e garganta.
PM10	Processos de combustão, ocupantes, sistemas AVAC e o fumo de tabaco e papel.	Problemas respiratórios, tosse e espirros, olhos secos, asma, alergias, irritação da pele e mucosas e doenças profissionais (metais).
Radão	Solo de zonas graníticas, materiais de construção, rochas graníticas nas fundações do edifício (a libertação de radão está condicionada pela permeabilidade e porosidade dos solos e rochas e também pela pressão atmosférica, temperatura e humidade).	Aumenta o risco de cancro no pulmão (o perigo é aumentado pelo facto de ser um gás não detectável pelos nossos sentidos)
NO₂ (Dióxido de azoto)	Processos de combustão.	Problemas respiratórios e bronquite crónica, irritação dos olhos e garganta, tosse, cansaço e cansaço.
Benzeno	Produtos derivados de madeira, e fumo de tabaco.	Cancro
Naftaleno	Fumo de tabaco e naftalina	Irritação dos olhos e irritação do sistema respiratório.
Bactérias, Fungos, Legionela	Sistemas AVAC, materiais de construção e decoração, alcatifa, pólen, pelos, penas, excrementos de insetos, zonas húmidas do edifício, ocupantes, água estagnada (legionela e fungos) e ar insuflado.	Alergias (rinite, sinusite, asma), infeções (tuberculose, pneumonia, critococose), dores de cabeça, febre, efeitos irritantes (olhos, nariz, garganta e pele), doença do legionário, febre pontiac, irritação cutânea, fadiga e dores musculares.

De seguida apresentam-se de uma forma mais pormenorizada os principais fatores que caracterizam a QAI.

2.4.1 Ventilação

A ventilação é em geral entendida como o movimento do ar dentro do edifício ou a introdução de ar proveniente do exterior. Ventilação é na verdade mais do que isso, é uma combinação de processos que resultam não só no abastecimento de ar exterior, mas também na retirada do ar viciado de o interior de um edifício. Estes processos envolvem normalmente a entrada de ar exterior e mistura do ar por todas as partes do edifício e a exaustão de alguma parcela do ar interno.

Esta necessidade de ventilar os espaços está diretamente associada à saúde e ao conforto dos seus ocupantes. A qualidade do ar interior na maioria dos casos é degradada através do metabolismo dos próprios ocupantes, das atividades desenvolvidas e dos equipamentos presentes. Uma forma de prevenir este acontecimento é a ventilação, que no caso de habitações deve ser geral e permanente, podendo ela ser dividida em duas, ventilação natural e ventilação mecânica. Como os seus nomes indicam a diferença entre elas passa pela não utilização/utilização de meios mecânicos para a extração do ar interior.

2.4.2 Ventilação Natural

A ventilação natural usa as forças da natureza para originar diferenças de pressão que promovem a circulação do ar. Essas forças por norma são as diferenças de temperatura entre o interior e o exterior do edifício, e a ação do vento. O projeto de ventilação natural pretende então, através do domínio e utilização destes princípios colmatar as necessidades de ventilação de cada espaço [28].

Como a grande maioria dos edifícios possuem janelas que podem ser abertas, a ventilação natural é de mais fácil emprego. Ou seja, assim que os utilizadores se sentiam desconfortáveis era prática comum a abertura de todas as janelas, renovando desta forma o ar viciado. Atualmente, com a arquitetura a mudar surgem cada vez mais edifícios sem janelas operáveis, dificultando assim a ventilação natural. Desta forma não é possível aos ocupantes abrir as janelas assim que se sentem desconfortáveis. Quando num edifício não é possível abrir as

janelas, para realizar a renovação de ar, pode recorrer-se a outras formas de ventilação natural, uma delas é a aplicação de aberturas de admissão de ar em paredes de fachada. Este sistema consiste na aplicação de dispositivos que abrem uma comunicação direta o exterior/interior da habitação [28].

A ventilação natural pode ser realizada de diversas formas, sendo as principais (Figura 2.19):

- aberturas instaladas nas fachadas (unilateral e cruzada);
- ventilação cruzada assistida por torres de vento;
- ventilação cruzada assistida por tubagens;
- ventilação por tiragem térmica assistida por chaminé solar;
- ventilação por tiragem térmica assistida por fachada dupla;
- ventilação por tiragem térmica assistida por zonas de transição.

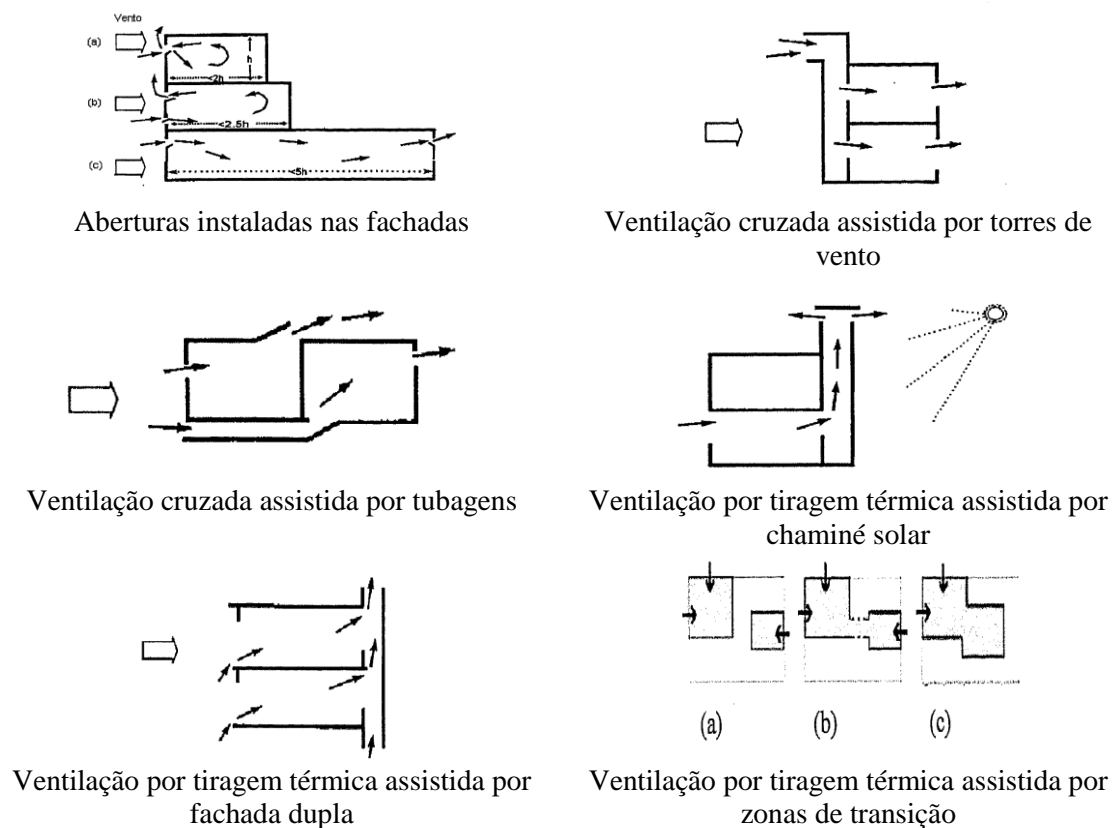


Figura 2.19 - Formas de ventilação natural [29].

A ventilação natural tem várias vantagens, entre elas a possibilidade que o ocupante tem de poder controlar as características do ambiente interior, o que acaba por funcionar como um estímulo psicológico tornando os ocupantes mais tolerantes ao ambiente, mesmo quando as condições de conforto recomendadas estão longe de ser atingidas. Normalmente a gama de temperaturas de conforto é entre os 20 °C a 25 °C, contudo Lambert defende que na presença de ventilação natural a temperatura máxima de conforto pode chegar perto dos 30 °C (Figura 2.20). Por isso com a ajuda da ventilação é de prever que os ocupantes considerarem um ambiente confortável, mesmo com temperaturas acima dos 25 °C previstos pelo RCCTE:2006, desde que não exceda os 30 °C [30].

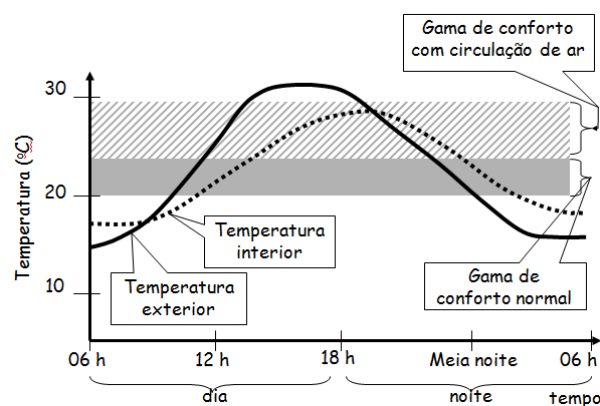


Figura 2.20 - Gama de temperaturas de conforto na presença de ventilação natural [30].

Esta solução é mais económica, olhando aos seus custos de instalação, de operação (não consomem energia para o seu funcionamento) e de manutenção serem substancialmente reduzidos. Para além disso não provoca tanto ruído e tem menos riscos de provocar problemas de saúde [28].

Por norma a sua utilização nos edifícios é relativamente mais fácil, já que não ocupa tanto espaço. Também é de salientar que permite um maior contacto do homem com as forças dinâmicas da natureza, sendo isto positivo para o equilíbrio psicológico deste e é uma tecnologia limpa, inócua para o meio ambiente.

Contudo também tem desvantagens, passando elas por um difícil controlo dos caudais de ar, devido ao carácter aleatório das forças da natureza envolvidas (por exemplo no Verão quando não existe vento a ventilação é muito diminuta e em contrapartida no Inverno a ventilação

pode ser excessiva) e quando se aplica em grandes edifícios, em especial baixos e abrigados do vento, a sua eficiência pode não ser satisfatória.

As técnicas de recuperação de calor são de difícil utilização, não é possível filtrar o ar para retirar as partículas existentes no exterior e em muitos ambientes urbanos tanto o ruído como a qualidade do ar exterior são inadequados transmitindo-se ao interior dos edifícios.

As dimensões das tubagens, quando necessárias, são de maiores diâmetros, pois o escoamento é feito a baixa pressão logo é necessária uma maior permeabilidade interior do edifício. Estas tubagens podem provocar riscos de segurança e conflitos com a regulamentação de segurança contra incêndio. Por fim os modelos matemáticos para prever o seu estudo são muito mais complicados e falíveis em comparação com os métodos utilizados para a ventilação mecânica (como já foi dito não se conseguem obter caudais constantes ou com uma variação cíclica devido ao carácter aleatório de fenómenos naturais).

A ventilação natural tem ainda de cumprir exigências, sendo elas definidas NP 1037-1:2002, que são quantificadas através de caudais-tipo [31].

Para a obtenção do caudal-tipo é necessário ter em atenção o volume dos compartimentos a ventilar e as suas respectivas exigências mínimas de renovação de ar (uma renovação por hora nos compartimentos principais e quatro renovações por hora nos compartimentos de serviço).

Existem situações de exceção, no caso das instalações sanitárias com banheira ou duche, o caudal de ar de ventilação nunca poderá ser inferior a $45\text{m}^3/\text{h}$, nas instalações sanitárias sem banheira nem duche, o caudal de ar de ventilação mínimo será $30\text{m}^3/\text{h}$, e no caso das cozinhas o caudal mínimo de ventilação será $60\text{m}^3/\text{h}$.

Na Tabela 2.17 são apresentados a título indicativo os caudais-tipo a respeitar para os compartimentos de serviço, considerados individualmente, em função do seu volume. No Tabela 2.18 são indicados os caudais-tipo a respeitar para os compartimentos principais que integram o mesmo sector de ventilação, em função do respectivo volume total.

Tabela 2.17 - Caudais-tipo a extrair nos compartimentos de serviço [31].

Compartimento		Volume				
		até 8 m ³	de 8 m ³ a 11 m ³	de 11 m ³ a 15 m ³	de 15 m ³ a 22 m ³	de 22 m ³ a 30 m ³
Cozinha e outros espaços para instalação de aparelhos a gás		*	17 l/s (60 m ³ /h)		25 l/s (90 m ³ /h)	33 l/s (120 m ³ /h)
Instalação sanitária	com banheira ou duche	13 l/s (45 m ³ /h)		17 l/s (60 m ³ /h)	25 l/s (90 m ³ /h)	**
	sem banheira nem duche	8 l/s (30 m ³ /h)	13 l/s (45 m ³ /h)	17 l/s (60 m ³ /h)	**	**
Espaços para lavandaria		8 l/s (30 m ³ /h)	13 l/s (45 m ³ /h)	17 l/s (60 m ³ /h)	**	**

* Volumes para os quais não é permitida a instalação de aparelhos a gás dos tipos A e B.

** Volumes pouco usuais em compartimentos deste tipo em relação aos quais se recomenda o dimensionamento caso a caso tendo em conta as exigências acima referidas.

Tabela 2.18 - Caudais-tipo a admitir nos compartimentos principais [31].

Volume (m ³)		até 30	de 30 a 60	de 60 a 90	de 90 a 120	de 120 a 150	de 150 a 180	de 180 a 210	de 210 a 240
Caudal-tipo	(l/s)	8	17	25	33	42	50	58	67
	(m ³ /h)	30	60	90	120	150	180	210	240

2.4.3 Ventilação Mecânica

Em alguns casos, ou em certos compartimentos (cozinha e instalações sanitárias), a ventilação natural não é suficiente para se cumprirem as exigências mínimas. Quando este incumprimento se verifica é recorrente a instalação de sistemas de ventilação mecânica, para controlar a qualidade do ar interior. Porém também é possível a aplicação de sistemas de ventilação mecânica em conjunto com a natural, designando-se então por ventilação híbrida ou mista, sendo esta aplicada em grande parte das habitações [28].

Tipicamente, as cozinhas e as instalações sanitárias (edifícios de habitação), dispõem de exaustores mecânicos para controlar os odores e ocasionalmente a humidade. O projeto desses sistemas deve ter em conta vários parâmetros como o caudal - que é uma função da velocidade do ventilador e do tamanho da sua secção - e o nível de ruído. Se as condutas para os ventiladores atravessarem espaços não aquecidos, as tubagens deverão ser isoladas para evitar a condensação no seu interior.

Os principais tipos de sistemas de ventilação mecânica são [28]:

- a extração mecânica;
- a insuflação mecânica;
- os sistemas balanceados de insuflação e exaustão mecânica.

Além do tipo de ventilação, a poluição do ar exterior é outro fator importante para a qualidade do ambiente interior, uma vez que o ar exterior vai substituir o ar viciado que se encontra no interior. Caso o ar exterior se encontre poluído, ao invés de melhorar vai deteriorar a qualidade do ar interior.

2.4.4 Poluição do ar exterior

Na atualidade todo o planeta está preocupado com a qualidade do ar exterior, sendo mesmo uma das principais preocupações na saúde ambiental. No que diz respeito à União Europeia já existem políticas interventivas no sentido de serem atingidos níveis de qualidade do ar que não acarretem riscos para a saúde humana.

Um dos primeiros passos para isso foi a "Declaração de Estocolmo sobre o Meio Ambiente", que defendia o facto de a poluição ser apenas um sintoma e não uma causa, e que tanto as organizações não-governamentais como os políticos teriam de ter uma atenção crescente em relação ao meio ambiente.

Após esta declaração surgiram outras medidas, tentando sempre sensibilizar a população mundial do problema a "poluição". As principais declarações são o "Relatório de Brundtland", "Declaração do Rio - Agenda XXI", "Protocolo de Quioto" e as normas que estabelecem diretrizes sobre a área de gestão ambiental dentro de empresas (ISO 14000:1993) e guias para implementação de sistemas de gestão de segurança e higiene ocupacional (OHSAS 18000:2007) [32]. As principais medidas implementadas por estes documentos incidem, nomeadamente, no controlo da emissão das fontes fixas (chaminés de unidades industriais) e das fontes móveis (veículos automóveis) com o objetivo de controlar a poluição atmosférica (ar exterior).

No ar exterior, por vezes, detetam-se concentrações de poluentes (dióxido de azoto, pólen e dióxido de enxofre) superiores às do ar interior [33]. Ao fazer as trocas de ar interior com o ar

exterior, estes poluentes entram e depositam-se no interior das habitações, poluindo a qualidade do ambiente interior.

2.4.5 Materiais de construção

Os materiais de construção estão entre as maiores fontes de contaminação do ar interior principalmente devido aos compostos orgânicos voláteis. Os problemas provenientes dos materiais de construção são mais sentidos durante um período inicial, logo após a sua instalação. Para mitigar o efeito destes, fará sentido reavaliar o modo como os edifícios são projetados, construídos e as características dos materiais utilizados [33]. Contudo os problemas com os edifícios já existentes são normalmente difíceis de ultrapassar. Os arquitetos e construtores deverão passar a ser devidamente informados sobre as implicações na QAI da escolha dos materiais de construção, de modo a que possam passar a construir estruturas menos contaminantes.

A seleção dos materiais é uma tarefa difícil, porque nem todos os fabricantes de materiais conhecem ou divulgam os níveis de emissão de compostos voláteis dos seus materiais.

Existem materiais que já são rotulados com a sua percentagem de composto orgânicos voláteis (COV), por exemplo a *British Coatings Federation Ltd.* que desenvolveu um sistema de rotulagem que classifica os produtos de acordo com cinco intervalos de conteúdo de COV para tintas e vernizes, impondo assim um valor máximo para o conteúdo de COV [34]. Em Portugal o Decreto-Lei nº 181/2006 fixa os valores limites para o teor máximo de COV para tintas decorativas, vernizes e para produtos de retoque de veículos.

Sistemas como este surgem da imposição de Diretivas da União Europeia, que com este processo de rotular os materiais promove e facilita uma boa escolha de materiais.

A permeabilidade dos materiais das superfícies em contacto com o ar interior também tem um papel relevante na qualidade do ambiente interior, fazendo com que o edifício "respire" entre o exterior e interior, por outras palavras, se as envolventes dos edifícios são compostas por materiais "permeáveis" ao ar, promovem as trocas de ar exterior com o interior, evitando assim o aparecimento de possíveis patologias, nomeadamente o aparecimento de manchas. Além da permeabilidade das superfícies no que diz respeito ao vapor, é também importante

que os materiais tenham a capacidade de absorver humidade (aquando a sua formação no interior) e devolve-la *a posteriori*, é por isso necessário existir uma inércia hídrica adequada aos espaços.

2.4.6 Fontes de combustão

Em todas as habitações existe uma ou varias fontes de combustão, já que, em geral, os fogões, aquecedores, esquentadores, lareiras ou até o fumo de tabaco são possíveis fontes de dióxido de carbono e monóxido de carbono, influenciando a qualidade do ambiente interior.

Os gases libertados na combustão (CO e CO₂) são incolores, inodoros e de difícil deteção, são ambos produzidos através de um processo de combustão (quer completa (CO₂) como incompleta (CO) existindo deficiência de oxigénio).

Posto isto, e sabendo que pelo menos uma destas fontes é utilizada na grande maioria das habitações praticamente todos os dias, é preciso evitar uma elevada concentração destes gases (através da utilização de ventilação adequada, exaustores por exemplo), já que ela é prejudicial à saúde.

A inalação de dióxido de carbono e de monóxido de carbono em excesso pode provocar carboxihemoglobinemia (impede a captação de oxigénio), dores de cabeça, náuseas, cansaço e efeitos no sistema nervoso central e do sistema cardiovascular que podem levar à morte [21].

2.4.7 Equipamentos

Os equipamentos que mais influenciam a qualidade do ar interior são os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC), que nem sempre cumprem a função para que foram concebidos (fornecer ar de qualidade aos espaços interiores confinados), ou não são alvo de uma manutenção adequada.

Quando os sistemas AVAC não são corretamente projetados, têm uma má instalação ou manutenção inadequada, podem tornar-se potenciais fontes de poluição, contrariando a finalidade para a qual foram concebidos e instalados (tratar o ar com qualidade). Estes sistemas são sujeitos a uma avaliação das condições de higiene e da capacidade de filtragem.

Esta avaliação deve ser realizada por um Perito Qualificado e segundo o Nota Técnica NT-SCE-02:2008 [22]. Segundo esta norma os Peritos Qualificados devem verificar o cumprimento de vários requisitos relacionados com as condições de higiene e capacidade de filtragem do sistema AVAC, entre eles a existência de uma correta filtragem, a acessibilidade a todas as unidades de tratamento de ar para efeitos de manutenção, a independência permanente do caudal de ar em relação à perda de carga dos filtros, o valor para as partículas depositadas nas condutas de ar a 1g/m^2 e por fim verificar se à garantia de sobrepessão do lado da insuflação nas unidades de tratamento de ar [22].

Para além dos sistemas AVAC os vários equipamentos utilizados no interior das habitações também deterioram a qualidade do ambiente interior. Entre estes os equipamentos de escritório, por exemplo impressoras e faxes, que são equipamentos presentes e utilizados frequentemente nas habitações [20].

2.4.8 Ocupantes

Os ocupantes/utilizadores com a sua atividade produzem uma variedade de contaminantes muito grande, que lesa o bom ambiente interior dos edifícios. Fumar pode ser considerada como a principal atividade poluente realizada por um ocupante. Os fumadores expõem-se a uma maior concentração de fumo, contudo as pessoas ao redor dos fumadores (os fumantes passivos) estão involuntariamente sujeitos a quantidades significativas de partículas inaláveis, monóxido de carbono, compostos orgânicos voláteis, formaldeído, óxidos de nitrogénio e diversos outros poluentes.

A atividade metabólica humana por si só altera a qualidade do ambiente interior por diminuir a concentração de oxigénio e aumentar a de dióxido de carbono.

A respiração, a transpiração e a preparação de alimentos adicionam vapor de água, bem como outras substâncias que geram odores à atmosfera interna.

Ambientadores, ceras, produtos de higiene pessoal (como desodorizantes) e produtos de limpeza frequentemente utilizados em ambientes residenciais são também eles produzem químicos orgânicos e inorgânicos. Os trabalhadores expostos a contaminantes no seu trabalho podem trazê-los para dentro de casa [26].

Outro parâmetro está relacionado com as preferências do ocupante, existência ou não de animais de estimação nas habitações, que podem criar agentes biológicos (fungos e bolores), produzem dióxido de carbono e por vezes chegam a transmitir doenças aos seus donos [35].

Por tudo isto os ocupantes têm uma responsabilidade acrescida relativamente à QAI, podendo até ajudar a minimizar os efeitos das suas atividades. Há edifícios em que os ocupantes têm o controlo sobre o sistema de ventilação, natural ou mecânica, podendo assim melhorar a QAI com um simples ato de abrir uma janela [20].

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são descritos os edifícios que foram estudados neste trabalho, os equipamentos para a realização dos ensaios *in situ* e a metodologia utilizada nas medições.

O principal objetivo deste trabalho foi caracterizar/avaliar as condições de qualidade do ambiente interior (Indoor Environmental Quality, IEQ) dos edifícios em estudo. Para avaliar o conforto global nos edifícios é necessário verificar se os ocupantes se sentem satisfeitos/confortáveis com o ambiente que o edifício proporciona. Para tal é necessário avaliar os parâmetros, conforto térmico, acústico, lumínico e a qualidade do ar interior, para saber se o edifício oferece os requisitos mínimos para um ambiente confortável [1].

Na avaliação dos edifícios foram realizados ensaios *in situ* em algumas habitações. Os parâmetros medidos foram, a temperatura ambiente, a temperatura do bolbo negro, a humidade relativa, a velocidade do ar, para avaliar o conforto térmico e a iluminância para o conforto lumínico. Foi também medida a concentração de poluentes (dióxido e monóxido de carbono, ozono, formaldeído, partículas respiráveis) para avaliar a Qualidade do Ar Interior e o nível sonoro contínuo para avaliar o conforto acústico.

Para a realização deste estudo foram necessários diversos equipamentos, sendo eles:

- sistemas de aquisição e armazenamento de dados (data-loggers);
- estação de conforto térmico;
- equipamento para avaliação da qualidade do ar (sensores de O₃, HCHO, CO₂, CO e PM10);
- luxímetros;
- fonte sonora;
- microfone;
- sonómetro integrador com a classe de precisão I.

As características dos equipamentos utilizados nos ensaios *in situ* estão descritos no Anexo I. As medições foram realizadas no mês de Junho, Julho e Setembro. Em seguida serão apresentados os edifícios onde as medições *in situ* foram realizadas.

3.1 Descrição dos edifícios analisados

Numa primeira fase foi realizada uma pesquisa de habitações onde seria possível realizar os ensaios. Após essa pesquisa, foram selecionadas três habitações tendo em consideração vários fatores, entre eles o ano de construção do edifício (diferentes décadas), optou-se ainda por habitações com diferentes soluções construtivas e em que os seus ocupantes tinham rotinas diferentes.

Neste subcapítulo também serão descritas as principais características das habitações em estudo, designadas por Habitações j (j - designação do edifício). Cada compartimento vai ser designado segundo o tipo (cozinha, sala ou quarto), contudo devido à existência de diversos quartos foi necessário criar uma designação específica, Qj.ih (Q - quarto; j - identificação da habitação; i - identificação do compartimento; h - orientação do compartimento), por exemplo Q1.2N é um quarto da Habitação 1, designado como 2º orientado a Norte.

3.1.1 Habitação 1

A Habitação 1 pertence a um edifício multifamiliar, construído na década de 1970, de tipologia T3 e localiza-se no 1º andar (Figura 3.1). A fração encontra-se orientado a Norte, localiza-se na cidade de Guimarães, numa zona urbana com uma circulação automóvel significativa e com uma exposição ao vento reduzida.



Figura 3.1 - Vista aérea e planta da Habitação 1.

A Habitação 1 é ocupada durante o dia por cinco pessoas e durante a noite por três. Durante o dia chegam a estar presentes 4 fumadores na habitação e é frequente fumar no seu interior.

A habitação possui extractores nas instalações sanitárias e um exaustor na cozinha, funcionando ambos de forma pontual.

Na Tabela 3.1 na Tabela 3.2 e na Tabela 3.3 são apresentadas as principais características da Habitação 1.

Tabela 3.1 - Características dos compartimentos da Habitação 1.

Compartimento	Conteúdo	Material de revestimento paredes - pavimento
Sala	1 sofá, mobiliário em madeira, televisão, 3 computadores, maquina de café	Tinta - mosaico
Q1.1N e Q1.1E	Mobiliário em madeira	Tinta - mosaico

Tabela 3.2 - Reflectância das superfícies interiores da Habitação 1.

Superfície Interior	Cor	Textura	Reflectância (%)
Paredes	Branco	Reboco liso	86
Tectos	Branco	Reboco liso	86
Pavimento (Sala e Q1.1N)	Cinzento claro	Mosaico	40
Pavimento (Q1.1E)	Castanho	Mosaico	20

Tabela 3.3 - Dimensões dos envidraçados dos compartimentos estudados - Habitação 1.

Característica do envidraçado	Compartimento	
	Sala	Q1.1N e Q1.1E
Altura (m)	2,00	1,10
Largura (m)	1,50	1,50
Tipo de vidro	Simplex	Simplex
Cor	Incolor	Incolor
Sombreamento	Estores exteriores; Não existem cortinas	

Nesta habitação todos os envidraçados existentes são de vidro simples transparente com uma transmitância de 90%. A caixilharia é de correr, em alumínio e sem corte térmico. O sistema de sombreamento em todos os compartimentos estudados é constituído por estores exteriores (de cor branca) e não existem cortinas.

O Q1.1E é afetado pelo sombreamento, devido a uma árvore de folhagem perene e a um edifício vizinho, desta forma nunca recebe radiação solar direta no seu interior.

Durante o período de medições, meses de Verão, os ocupantes abrem, em geral, as janelas dos quartos durante a manhã, enquanto as portas da sala e cozinha (envidraçadas) estão praticamente todo o dia abertas.

A envolvente do edifício possui:

- paredes exteriores duplas de tijolo cerâmico furado, com 7 cm + 15 cm, sem isolamento na caixa-de-ar de 5 cm. As paredes são rebocadas no interior e pintadas de cor branca, no exterior as paredes são revestidas com material cerâmico ($U=1,19\text{W/m}^2\text{C}$);
- paredes entre frações são simples de tijolo cerâmico de 15 cm, rebocadas em ambas as faces, excepto na cozinha e nas instalações sanitárias em que o revestimento é de material cerâmico;
- paredes divisórias simples de tijolo cerâmico de 11 cm, rebocadas em ambas as faces, excepto na cozinha e nas instalações sanitárias em que o revestimento é de material cerâmico;

3.1.2 Habitação 2

A Habitação 2 pertence a um edifício multifamiliar, de tipologia T3 e localiza-se no 5º andar (Figura 3.2). Encontra-se orientado a Noroeste e Sudoeste, localiza-se na cidade de Penafiel, numa zona urbana com uma circulação automóvel moderada e com uma exposição ao vento elevada.

Nas imediações está a ser construído um novo edifício multifamiliar, refletindo-se na análise acústica realizada à habitação.



Figura 3.2 - Vista aérea e planta da Habitação 2.

A Habitação 2 é ocupada por 3 pessoas, que trabalham na habitação, logo passam praticamente todo o dia no seu interior. Dois dos ocupantes são fumadores, contudo não fumam no interior da habitação.

A habitação possui extractores nas instalações sanitárias e um exaustor na cozinha, que funcionam de forma pontual. As características mais relevantes para o estudo da Habitação 2, estão apresentadas na

Tabela 3.4, na Tabela 3.5 e na Tabela 3.6.

Tabela 3.4 - Características dos compartimentos da Habitação 2.

Compartimento	Conteúdo	Material de revestimento paredes - pavimento
Sala	1 sofá, mobiliário em madeira, televisão, 3 computadores, 2 tapetes, lareira com recuperador de calor	Tinta - soalho
Q2.1SO E Q2.1NE	Mobiliário em madeira	Tinta - soalho
Cozinha	Mobiliário em madeira, fogão, exaustor, frigorífico, micro-ondas, máquina de café	Azulejo - mosaico

Tabela 3.5 - Reflectância das superfícies interiores da Habitação 2.

Superfície Interior	Cor	Textura	Reflectância (%)
Parede (sala e quartos)	Branco	Reboco liso	85
Parede (cozinha)	Branco	Vidrado	60
Tectos	Branco	Reboco liso	85
Pavimento (sala e quartos)	Castanho claro	Madeira polida	50
Pavimento (cozinha)	Cinzento claro	Vidrado	40

O sistema de sombreamento em todos os compartimentos estudados é constituído por estores interiores de tela, não existem cortinas. A porta envidraçada da cozinha não apresenta qualquer tipo de sistema de sombreamento. A porta envidraçada do Q2.1SO tem ainda uma pala vertical como sistema de sombreamento.

A Habitação 2 apresenta, na Sala e Quartos, caixilharia dupla em alumínio e com corte térmico. As fachadas não possuem obstáculos exteriores significativos que impeçam a entrada da iluminação natural.

Os ocupantes abrem, em geral, as janelas dos quartos durante a manhã, nos restantes compartimentos não existe um padrão para a abertura das janelas.

Tabela 3.6 - Dimensões dos envidraçados dos compartimentos estudados da Habitação 2.

Característica do envidraçado	Compartimento			
	Sala	Q2.1SO	Q2.1NE	Cozinha
Altura (m)	1,90	1,90	1,90	1,00
Largura (m)	4,50	2,05	2,10	1,50
Tipo de vidro (em ambas as Caixilharias)	Duplo	Duplo	Duplo	Duplo
Cor	Incolor	Incolor	Incolor	Incolor
Sombreamento	Estores interiores; Não existem cortinas			

A envolvente é constituída por:

- paredes exteriores duplas de tijolo cerâmico furado, com 11 cm + 20 cm, com 3 cm de poliestireno expandido extrudido preenchendo parcialmente a caixa-de-ar de 6 cm. As paredes são rebocadas em ambas as faces e pintadas de cor branca ($U = 0,51 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- paredes duplas entre frações são em tijolo cerâmico furado, com 11 cm + 11 cm, com 3cm de poliestireno expandido extrudido preenchendo completamente a caixa-de-ar. As paredes são rebocadas em ambas as faces e pintadas de cor branca ($U=0,61\text{W/m}^2\text{°C}$);
- paredes divisórias simples de tijolo cerâmico de 11 cm, rebocadas em ambas as faces, excepto na cozinha e nas instalações sanitárias em que o revestimento é de material cerâmico.

3.1.3 Habitação 3

A Habitação 3 localiza-se na vila de Lousada, numa zona com circulação automóvel significativa. É um edifício multifamiliar e a Habitação 3 localiza-se no 4º andar, sendo a sua orientação Oeste (Figura 3.3).

O edifício encontra-se exposto ao vento, uma vez que não existem edifícios ou obstáculos naturais das mesmas dimensões, na sua vizinhança. É de salientar que um dos edifícios vizinhos é um hipermercado.



Figura 3.3 - Vista aérea e planta da Habitação 3.

A ocupação da habitação restringe-se unicamente ao pernoitar de dois ocupantes não fumadores, ou seja só se encontra ocupada das 20h às 08h.

Quanto à ventilação a habitação é equipada com extractores nas instalações sanitárias e por um exaustor na cozinha, que funciona de forma pontual. As restantes características da Habitação 3 estão apresentadas na Tabela 3.7, na Tabela 3.8 e na Tabela 3.9.

Tabela 3.7 - Características dos compartimentos da Habitação 3.

Compartimento	Conteúdo	Material de revestimento paredes - pavimento
Sala	1 sofá, mobiliário em madeira, televisão, 2 tapetes, lareira com recuperador de calor	Tinta - soalho
Q3.1E e Q3.3E	Mobiliário em madeira	Tinta - soalho
Cozinha	Mobiliário em madeira, fogão, exaustor, frigorífico, micro-ondas, maquina de café	Azulejo - mosaico

Tabela 3.8 - Reflectância das superfícies interiores da Habitação 3.

Superfície Interior	Cor	Textura	Reflectância (%)
Parede (Sala e Quartos)	Branco	Reboco liso	85
Parede (Cozinha)	Cinzento claro	Azulejo	40
Tectos	Branco	Reboco liso	85
Pavimento (Sala e Quartos)	Castanho claro	Soalho	50
Pavimento (Cozinha)	Cinzento claro	Mosaico	40

Os envidraçados desta habitação têm caixilharia de correr, em alumínio com corte térmico e o sistema de sombreamento é estores exteriores de cor cinzenta. A Habitação 3 tem cortinas opacas de cor branca em todos os envidraçados, excepto nos envidraçados da cozinha. Um dos envidraçados da cozinha também não tem estores, logo não apresenta qualquer tipo de sistema de sombreamento.

Durante o período de medições, os ocupantes, em geral, abriam as janelas dos quartos de manhã e assim permaneciam todo o dia, os restantes compartimentos não existia um padrão para a abertura das janelas.

Tabela 3.9 - Dimensões dos envidraçados dos compartimentos estudados da Habitação 3.

Característica do envidraçado	Compartimento				
	Sala	Q3.1E	Q3.3E	Cozinha	
Altura (m)	2,00	1,05	1,05	1,05	1,30
Largura (m)	2,30	1,50	1,50	1,40	1,43
Tipo de vidro	Duplo	Duplo	Duplo	Duplo	
Cor	Incolor	Incolor	Incolor	Incolor	
Sombreamento	Estores exteriores; Com cortinas opacas de cor clara				

O edifício não possui qualquer obstáculo exterior significativo que prejudique a entrada da iluminação natural.

A envolvente da Habitação 3 é constituída por:

- paredes exteriores duplas de tijolo cerâmico furado, com 11 cm + 15 cm, com 4 cm de poliestireno expandido extrudido preenchendo parcialmente a caixa-de-ar de 6 cm. As paredes são rebocadas em ambas as faces e pintadas de cor branca ($U=0,51 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
- paredes entre fracções são simples de tijolo cerâmico de 15 cm, rebocadas em ambas as faces, excepto na cozinha e nas instalações sanitárias em que o revestimento é de material cerâmico;
- paredes divisórias simples de tijolo cerâmico de 7 cm, rebocadas em ambas as faces, excepto na cozinha e nas instalações sanitárias em que o revestimento é de material cerâmico.

3.2 Avaliação do comportamento Higrotérmico

A avaliação do conforto térmico como qualquer outra noção de conforto, resultante de sensações humanas onde intervém uma forte componente subjetiva, a noção de conforto térmico, não é de fácil definição, dependendo de vários fatores (físicos, fisiológicos e psicológicos).

A avaliação das condições higrotérmicas e do conforto térmico de um edifício pode ser realizada através de medições *in situ* dos valores da humidade relativa, da temperatura ambiente, da temperatura das superfícies envolventes e/ou da temperatura do bolbo negro, que também considera a temperatura superficial dos elementos da envolvente.

Na avaliação do conforto térmico, efetuou-se a medição da temperatura do ar, da humidade relativa, da temperatura do bolbo negro e da velocidade do ar, de acordo com o definido pelas normas EN ISO 7730:2005, EN 15251:2007 e ASHRAE 55:2010 [1,3,5].

A EN ISO 7730:2005 apresenta métodos que definem a sensação térmica geral e o grau de desconforto dos ocupantes. Este métodos permitem o cálculo do PMV e PPD, valores que analisados e interpretados indica as condições de conforto térmico em que os ocupantes se encontram [2].

O período de medição das condições térmicas foi de 15 minutos nas cozinhas e quartos e de 20 minutos nas salas, e iniciado, preferencialmente com a presença dos ocupantes. As medições foram realizadas a cerca de 1,10 metros de altura.

Dos resultados dos ensaios foram obtidos os valores médios de temperatura ambiente, humidade relativa, velocidade do ar e temperatura do bolbo negro. A temperatura ambiente e a humidade relativa foram comparadas com os valores recomendados, respetivamente, 20 °C a 25 °C (definida no RCCTE) e 30% a 70%, para evitar o aparecimento de condensações, bolores e ácaros.

Na análise dos resultados foi efetuado o cálculo dos índices PMV e PPD, segundo a norma EN ISO 7730:2005 e EN 15251:2007, tendo em consideração as variáveis físicas médias (temperatura do ar, humidade relativa, temperatura média de radiação e a velocidade do ar) e as variáveis humanas, o metabolismo (foi considerado 1,2 met já que os ocupantes se encontravam em atividades sedentárias) e o isolamento térmico das roupas, definidas pela EN 15251:2007. Foi ainda utilizado o método de conforto térmico adaptativo para a realidade Portuguesa desenvolvido por Luís Matias (2010), que tem ainda em consideração a temperatura exterior dos 7 dias anteriores às medições. Esta temperatura foi registada com recurso a data-loggers, que registaram a temperatura ambiente exterior de hora a hora.

A descrição dos equipamentos utilizados encontra-se no Anexo I.

3.3 Avaliação do comportamento Acústico

O comportamento acústico de um edifício resume-se à sua capacidade de reduzir, para níveis considerados confortáveis os sons e ruídos no seu interior. Sejam estes provenientes do exterior ou sejam gerados no próprio interior da habitação.

O conforto acústico, tal como o conforto térmico, está também ele ligado aos hábitos e práticas culturais, sendo muito subjetivo, porém pode ser realizada uma avaliação da qualidade acústica de edifícios, baseada em critérios físicos mesuráveis como forma de prever se os ocupantes se encontram em conforto.

A avaliação acústica de um edifício deve ser realizada por meio de ensaios *in situ* que determinam os índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea e a sons de precursão, normalizados de acordo com o tempo de reverberação, de cada elemento construtivo e também o nível sonoro medido nos quartos e zonas de estar, segundo a normalização nacional e europeia.

Os ensaios *in situ* foram realizados de acordo com a normalização em vigor, NP 1730-1:1996 e com a EN 15251:2007, para a avaliação do nível sonoro medido no quarto, na sala e na cozinha [1,41]. Para a avaliação do isolamento sonoro dos elementos construtivos foi utilizada a NP EN ISO 140, Parte 5, para as paredes de fachada [36].

Na avaliação do comportamento acústico de cada compartimento em análise foram realizadas três medições, em pontos distintos para o cálculo do nível sonoro contínuo equivalente (L_{Aeq}), como está definido na norma EN 15251:2007 [1].

Foi ainda determinado, sempre que possível, o isolamento sonoro a sons aéreos. As medições acústicas foram realizadas de acordo com a NP EN ISO 140:2000, Parte 5, para as paredes de fachada [36].

O $D_{2m,nT,w}$, índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e o interior padronizado, foi adotados pela regulamentação Portuguesa para a avaliação do isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e um espaço no interior de um edifício [11].

Para determinar o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre o exterior e interior foi necessário determinar o valor emitido pela fonte no recinto onde esta se encontrava, L_1 , ou no exterior, $L_{1,2m}$, e no recinto recetor de som, L_2 , em função da frequência. Posteriormente realizou-se uma correção do isolamento sonoro do elemento de separação entre os recintos através da medição dos tempos de reverberação, T_2 , e do ruído de fundo, B_2 , no recinto recetor e para as diversas frequências centrais das bandas de 1/3 de oitava que se estendem desde os 100 Hz aos 4000 Hz.

Estas medições realizaram-se, em três pontos em cada compartimento, com o microfone situado a uma altura de 1,20 m afastado de qualquer superfície em pelo menos 0,5 m e afastado entre si de no mínimo 1 m.

A descrição dos equipamentos utilizados encontra-se no Anexo I.

O nível de pressão sonora do recinto recetor, L_2 , é corrigido em função do ruído de fundo, B_2 , da forma indicada na Tabela 3.10.

Tabela 3.10 - Correção do nível sonoro no recinto recetor em função do ruído de fundo.

Situação	L_2 Corrigido (dB)
$L_2 - B_2 > 10 \text{ dB}$	$L_{2corr} = L_2$
$6 \text{ dB} < L_2 - B_2 < 10 \text{ dB}$	$L_{2corr} = 10 \times \text{Log} \left[10^{\frac{L_2}{10}} - 10^{\frac{B_2}{10}} \right]$
$L_2 - B_2 < 6 \text{ dB}$	$L_{2corr} = L_2 - 1,26$

O valor do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado ($D_{2m,nT,w}$) é obtido seguindo o método apresentado na norma ISO 140-5:2000. Baseia-se no cálculo do valor do índice de atenuação sonora (D_{nT}) para cada frequência central das bandas de 1/3 de oitava compreendidas entre 100 Hz e os 3150 Hz, calculo realizado através da Equação (3.1) [36].

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + \log\left(\frac{T}{T_0}\right) \quad (3.1)$$

Onde:

- D_{nT} – isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado (dB)
- L_1 – nível médio de pressão sonora no espaço emissor (dB)
- L_2 – nível médio de pressão sonora no espaço recetor (dB)

- T – tempo de reverberação no espaço recetor (s)
- T_0 – tempo de reverberação de referência (s), tomando um valor igual a 0,5 s no caso de edifícios residenciais.

De seguida efetua-se um processo de ajuste entre os valores de isolamento sonoro referente ao elemento construtivo em análise (curva real) e os valores de referência definidos na ISO 717-1 (curva de referência, Figura 3.4) [37]. Este processo efetua-se utilizando um critério de limitação do somatório das diferenças aritméticas dos valores relevantes. Como o objetivo deste procedimento é passar a representar a curva real através da curva de referência, só quando o valor medido do isolamento sonoro é inferior ao valor de referência é que a diferença é relevante - conceito de desvio desfavorável para sons aéreos.

Na prática começou-se por se arbitrar um valor (inteiro) para uma dada banda de frequências da curva de referência, a partir do qual é possível construir toda a curva e calculados desvios desfavoráveis face à curva real.

Considera-se que o ajuste está terminado (processo iterativo) quando o somatório dos desvios desfavoráveis é inferior a 32 dB, para bandas de 1/3 de oitava.

Considera-se que o desvio desfavorável numa dada frequência corresponde ao valor da diferença entre as duas curvas quando a curva de valores medidos se situa abaixo da curva de referência.

Com estes requisitos satisfeitos, o valor de $D_{2m,nT}$ é encontrado no valor da ordenada da curva de referência para a frequência de 500 Hz.

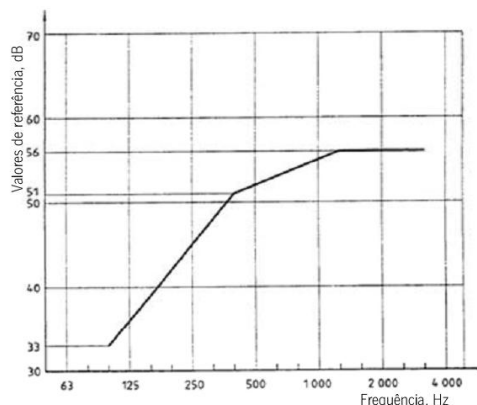


Figura 3.4 - Curva de referência definida na ISO 717-1 para a avaliação do isolamento sonoro a sons de condução aérea por bandas de 1/3 oitava (16 bandas entre 100 e 3150 Hz) [37].

3.4 Avaliação do comportamento Lumínico

A avaliação do comportamento lumínico passa pela determinação do FLD, que envolve a utilização de dois sensores de iluminâncias, um situado no interior do compartimento (plano de trabalho) e outro colocado no exterior, num plano horizontal não obstruído. Devido à dificuldade de acesso a superfícies horizontais não obstruídas, em geral a cobertura, foi necessário realizar as medições da iluminância no exterior num plano vertical próximo do envidraçado do compartimento em estudo.

Desta forma o sensor de iluminâncias exterior foi colocado verticalmente na face exterior e nos centro geométrico do vão envidraçado. A luz refletida pelo solo foi obstruída através de um ecrã obstrutor de cor negra e de dimensões pelo menos 10 vezes superiores às da célula fotossensível (Figura 3.5).

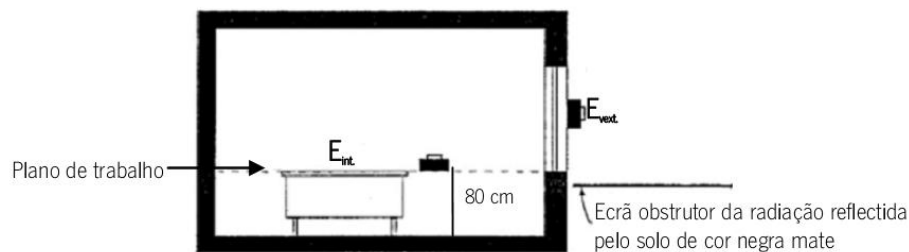


Figura 3.5 - Método de medição do FLD [7].

As medições da iluminância interior (E_{int}) e exterior ($E_{V_{ext}}$) foram efetuadas em simultâneo. Assim, o FLD será calculado pela Equação (3.2) [18]:

$$FLD (\%) = \left[\frac{E_{int}}{E_{V_{ext}}} \times 0,396 \right] \times 100 \quad (3.2)$$

Em que:

- E_{int} - Iluminância interior num ponto do plano de trabalho no interior de um compartimento (lux);
- $E_{V_{ext}}$ - Iluminância exterior simultânea (lux).

A descrição dos equipamentos utilizados encontra-se no Anexo I.

3.5 Avaliação da Qualidade do Ar Interior

A avaliação da QAI dos edifícios em estudo foi realizada através de medições *in situ* de um conjunto de parâmetros, associados a poluentes químicos (dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), formaldeído (HCHO), partículas respiráveis (PM10) e ozono (O₃)). Os compostos orgânicos voláteis embora importantes para a avaliação da QAI, não foram analisados, devido a indisponibilidade do equipamento. Os fatores microbiológicos (bactérias, fungos e legionela) também não foram medidos, tal como o radão, uma vez que a duração das medições é longa.

Na avaliação da Qualidade do Ar Interior foram estudados para cada uma das habitações, dois quartos, a sala e a cozinha (à exceção da Habitação 1, em que não foram realizadas medições na cozinha, uma vez que o período de ocupação era muito reduzido). Em cada um desses compartimentos foram realizadas 3 medições de 5 minutos em pontos distintos, respeitando a condição imposta pela Nota Técnica NT-SCE-02 [22].

Os ensaios foram efetuados de porta fechada e sempre que possível realizados de manhã no quarto, na sala durante o período de ocupação e na cozinha depois das refeições.

Os poluentes avaliados foram os seguintes: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), formaldeído (HCHO), ozono (O₃) e partículas suspensas no ar com diâmetro inferior a 10 µm (PM10).

A descrição dos equipamentos utilizados encontra-se no Anexo I.

As medições foram realizadas nas três habitações em estudo, no Capítulo 4 são apresentados os resultados e estudadas as possíveis origens de cada poluente. Os valores das medições são comparados com os valores regulamentares indicados no RSECE [38]. Apesar de este regulamento ter como alvo os edifícios de serviços e este trabalho tenha como alvo edifícios habitacionais, utilizar-se-ão os seus valores como referência, até porque não existe regulamentação a este nível para edifícios de habitação.

As concentrações dos poluentes CO₂, CO, O₃, HCHO, foram medidas em ppm e convertidas em mg/m³ e normalizado para os valores de referência de pressão e temperatura (293K, 1010,3 kPa).

Na Tabela 3.11 são apresentados os fatores de conversão de gases em frações molares em partes por milhão (ppm) para concentrações (mg/m^3) normalizados à temperatura de 293 K e à pressão de 101,3 kPa (NT-SCE-02) [22].

Tabela 3.11 - Fatores de conversão de gases [22].

Parâmetro	Fatores de conversão
Dióxido de carbono (CO_2)	1ppm = 1,83 mg/m^3 1 mg/m^3 = 0,54 ppm
Ozono (O_3)	1ppm = 2 mg/m^3 1 mg/m^3 = 0,5 ppm
Formaldeído (HCHO)	1ppm = 1,25 mg/m^3 1 mg/m^3 = 0,8 ppm
Monóxido de carbono (CO)	1ppm = 1,164 mg/m^3 1 mg/m^3 = 0,86 ppm

A concentração normalizada ($C_{\text{normalizada}}$) será dada pela Equação (3.3) [22]:

$$C_{\text{normalizada}} = C_{\text{medida}} \times \frac{P_{\text{medida}}}{P_{\text{normalizada}}} \times \frac{T_{\text{normalizada}}}{T_{\text{medida}}} \quad (3.3)$$

Em que:

- $C_{\text{normalizada}}$ - concentração normalizada do poluente (mg/m^3), obtida pela Equação(3.4);
- C_{medida} - concentração normalizada do poluente medida (mg/m^3);
- P_{medida} - pressão atmosférica medida (kPa);
- $P_{\text{normalizada}}$ - pressão normalizada (101,3 kPa);
- $T_{\text{normalizada}}$ - temperatura normalizada (293 K);
- T_{medida} - temperatura medida (K).

Então:

$$C_{\text{normalizada}} = C_{\text{medida}} \times \frac{P_{\text{medida}}}{101,3} \times \frac{293}{T_{\text{medida}}} \quad (3.4)$$

4 RESULTADOS OBTIDOS NA AVALIAÇÃO *IN SITU*

Neste capítulo serão apresentados e analisados os resultados dos ensaios *in situ*, ou seja a avaliação do comportamento higrotérmico, acústico e lumínico e a avaliação da qualidade do ar interior.

4.1 Resultados da avaliação do comportamento higrotérmico *in situ*

Para a avaliação do conforto térmico, efetuou-se a medição da temperatura do ar, da humidade relativa, da temperatura de bolbo negro e da velocidade do ar, de acordo com o definido pelas normas EN ISO 7730:2005 e EN 15251:2007 [1,3].

4.1.1 Habitação 1

As medições de caracterização das condições de conforto térmico na Habitação 1 foram efetuadas no dia 26 de Junho de 2012 com o céu limpo, vento fraco e temperatura média exterior de 27 °C.

A temperatura ambiente interior medida no Q1.1E o Q1.1N foi de aproximadamente 25 °C nos dois comportamentos, por sua vez a humidade relativa era de 63% e 61%, respetivamente. Na Sala as temperaturas medidas eram inferiores a 26,1 °C e a humidade relativa medida era 58%.

No Q1.1E os ocupantes, encontravam-se numa situação de conforto térmico com sensação neutra (PMV = 0,2 e PPD = 5,8), acontecendo o mesmo no Q1.1N (PMV = 0,1 e PPD = 5,2) e Sala (PMV = 0,30 e PPD = 6,87), este já próximo do ligeiramente frio.

Na Figura 4.1 apresentam-se os valores de temperatura ambiente e humidade relativa medidos, ao longo do período de medição no Q1.1E.

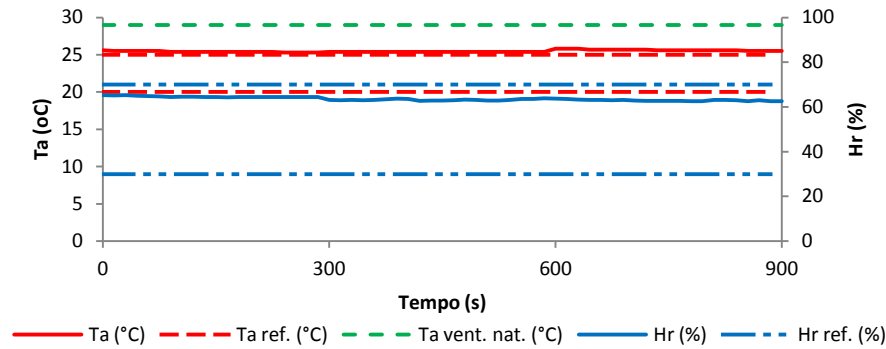


Figura 4.1 - Condições higrotérmicas no Q1.1E.

Analisando o gráfico da Figura 4.1 é possível verificar que a temperatura ambiente encontra-se um pouco mais alta que a de referencia definida pelo RCCTE. Contudo tendo em consideração o facto da Habitação 1 ser ventilada naturalmente a temperatura de conforto pode subir um pouco, chegando perto dos 30 °C, encontrando-se assim dentro da gama de temperaturas de conforto.

As condições de conforto também podem ser verificadas analisando os gráficos da Figura 4.2 e Figura 4.3, onde se verifica que, em ambos os modelos, a conclusão é a mesma, os ocupantes encontravam-se dentro da gama de valores recomendados para as condições de conforto.

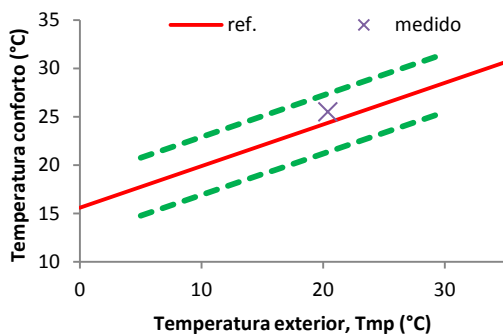


Figura 4.2 - Representação das condições de conforto térmico no Q1.1E (T_{mp} e T_{conf}).

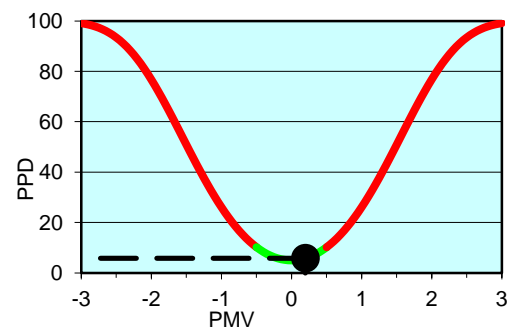


Figura 4.3 - Representação das condições de conforto térmico no Q1.1E (PMV e PPD).

Na Tabela 4.1 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores das T_a e H_r medidos no Q1.1E registados ao longo do período de medição, bem como a temperatura resultante, o PMV e o PPD calculados.

Tabela 4.1 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no Q1.1E.

Medido	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	25,3	25,5	25,8
Temperatura de bolbo negro (°C)	25,4	25,5	25,7
Velocidade do ar (m/s)	0,0	0,0	0,02
Humidade relativa (%)	62,6	63,6	65,3
Vestuário (clo)		0,4	
Metabolismo (met)		1,2	
Calculado			
Temperatura resultante (°C)		25,5	
PMV		0,2	
PPD (%)		5,8	

Como se pode observar no gráfico da Figura 4.4, a temperatura ambiente encontra-se ligeiramente superior ao definido pelo RCCTE, mas abaixo da gama de temperaturas para edifícios com ventilação natural proposta por Lambert [30].

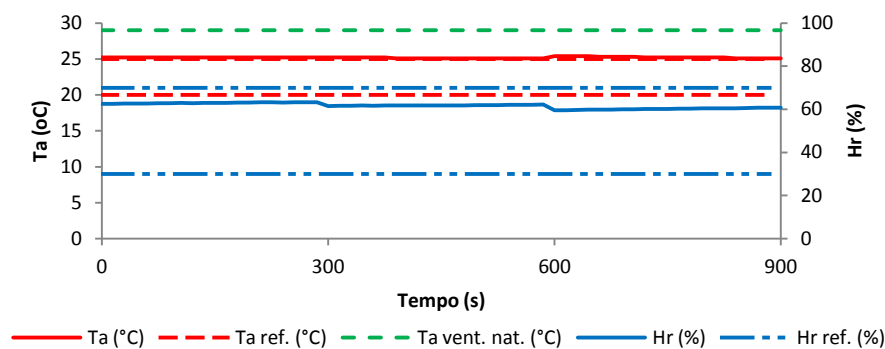


Figura 4.4 - Condições higrotérmicas no Q1.1N.

Devido ao ligeiro decréscimo, quer da temperatura, quer da humidade, os ocupantes do Q1.1N encontram-se em conforto sensação neutra, $PMV = 0$ (Figura 4.5 e Figura 4.6). Todos os dados das medições podem ser vistos de uma forma sucinta na Tabela 4.2.

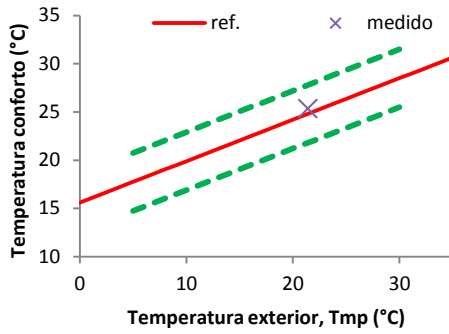


Figura 4.5 - Representação das condições de conforto térmico no Q1.1N (T_{mp} e T_{conf}).

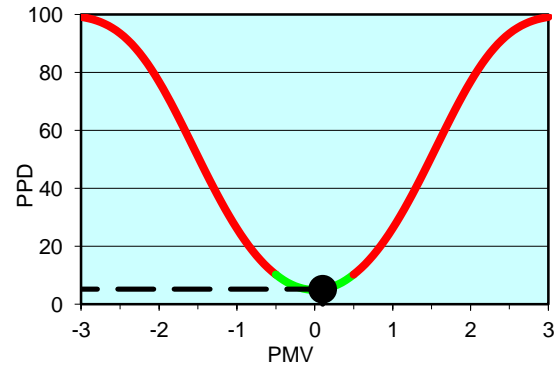


Figura 4.6 - Representação das condições de conforto térmico no Q1.1N (PMV e PPD).

Tabela 4.2 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no Q1.1N.

Medido	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	25,1	25,2	25,4
Temperatura de bolbo negro (°C)	24,9	25,2	26
Velocidade do ar (m/s)	0,0	0,0	0,01
Humidade relativa (%)	59,6	61,7	63,3
Vestuário (clo)		0,4	
Metabolismo (met)		1,2	
Calculado			
Temperatura resultante (°C)		25,4	
PMV		0,1	
PPD (%)		5,2	

Na Habitação 1 dos compartimentos em análise o que apresentou uma temperatura ambiente mais alta foi a Sala (Figura 4.7), contudo ainda se encontra bem abaixo para a temperatura de referência para edifícios ventilados naturalmente. A humidade relativa apresentava-se dentro dos parâmetros definidos pelo RCCTE:2006.

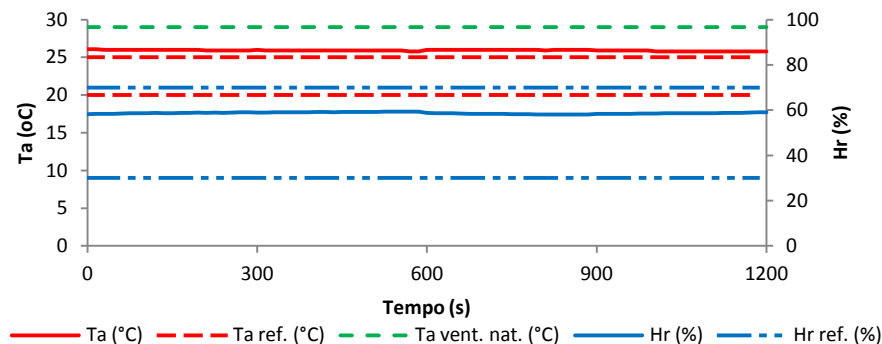


Figura 4.7 - Condições higrotérmicas na Sala.

Com o aumento verificado na temperatura era de prever uma alteração nas condições de conforto térmico, como se pode observar nos gráficos da Figura 4.8 e Figura 4.9, continuando a verificar-se que os requisitos de conforto eram observados.

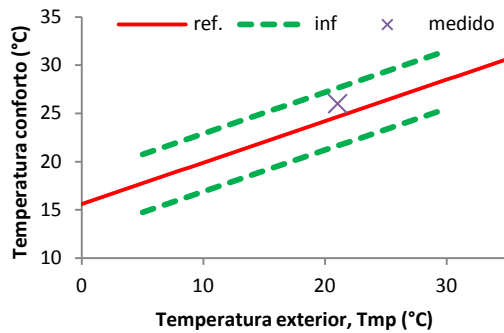


Figura 4.8 - Representação das condições de conforto térmico na Sala (T_{mp} e T_{conf}).

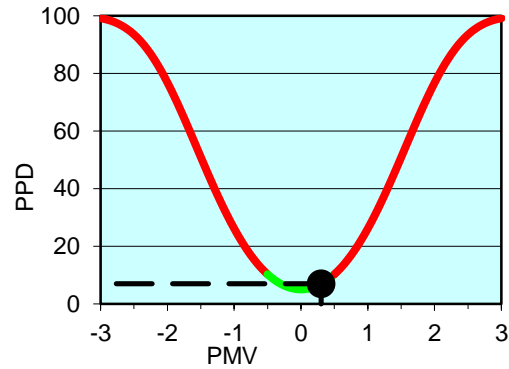


Figura 4.9 - Representação das condições de conforto térmico na Sala (PMV e PPD).

Na Tabela 4.3 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos (temperatura ambiente e de bolbo negro, velocidade do ar e humidade relativa) na Sala ao longo do período de medição, bem como a temperatura resultante, o PMV e o PPD calculados.

Tabela 4.3 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na Sala.

Medido	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	25,8	25,9	26,1
Temperatura de bolbo negro (°C)	25,7	26,1	26,5
Velocidade do ar (m/s)	0,0	0,00	0,06
Humidade relativa (%)	58	58,7	59,3
Vestuário (clo)		0,4	
Metabolismo (met)		1,2	
Calculado			
Temperatura resultante (°C)		26,0	
PMV		0,3	
PPD (%)		6,9	

4.1.2 Habitação 2

Na Habitação 2 a temperatura ambiente registada nos Quartos e Cozinha foi de aproximadamente 27 °C, apenas superada na Sala onde a temperatura registada rondou 28 °C. Relativamente à humidade relativa na sala registou-se valores próximos de 48%, enquanto os restantes compartimentos 52%.

A Sala foi o compartimento que proporcionava piores condições de conforto térmico com $PMV = 1,00$ e $PPD = 26,12$, enquanto no Q2.1SO o $PMV = 0,5$ e o $PPD = 10,53$.

Os ensaios foram realizados no dia 26 de Julho de 2012, o céu encontrava-se limpo e no exterior a temperatura 29,6 °C.

Na Cozinha da Habitação 2 como se pode verificar na Figura 4.10 a humidade relativa encontra-se dentro dos parâmetros definidos pelo RCCTE:2006. A temperatura registada foi superior à definida pelo RCCTE:2006, 27 °C, contudo segundo Lambert, uma habitação com ventilação natural a gama de temperaturas de conforto recomendada aproxima-se dos 30 °C, desta forma é de prever que, apesar das altas temperaturas, os ocupantes da Cozinha estejam em conforto térmico.

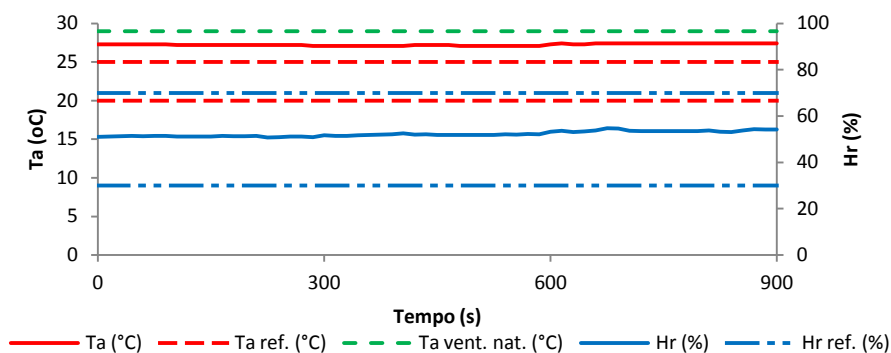


Figura 4.10 - Condições higrotérmicas na Cozinha.

Como se pode confirmar através do gráfico da Figura 4.11 segundo o modelo adaptativo para Portugal, verifica-se que estão cumpridas as condições para o conforto térmico, estando mesmo muito perto da linha de temperatura de conforto. Contudo segundo a Figura 4.12 é de prever que os ocupantes deste edifício se encontrassem num estado de conforto correspondente a uma sensação de ligeiramente quente.

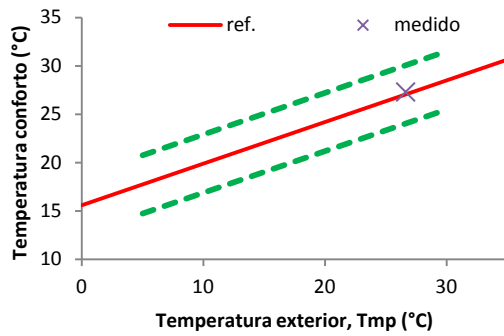


Figura 4.11 - Representação das condições de conforto térmico na Cozinha (T_{mp} e T_{conf}).

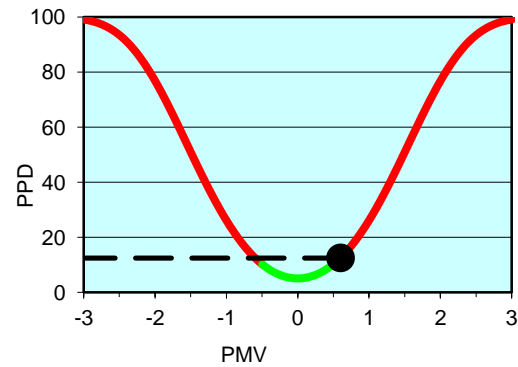


Figura 4.12 - Representação das condições de conforto térmico na Cozinha (PMV e PPD).

Na Tabela 4.4 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos (temperatura ambiente e de bolbo negro, velocidade do ar e humidade relativa) na Cozinha da Habitação 2 ao longo do período de medição.

Tabela 4.4 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na Cozinha.

Medido	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	27,1	27,3	27,4
Temperatura de bolbo negro (°C)	27,3	27,4	27,7
Velocidade do ar (m/s)	0,0	0,01	0,15
Humidade relativa (%)	50,8	52,3	54,8
Vestuário (clo)		0,32	
Metabolismo (met)		1,20	
Calculado			
Temperatura resultante (°C)		27,3	
PMV		0,6	
PPD (%)		12,6	

Como se pode verificar no gráfico da Figura 4.13 verificou-se que a humidade relativa se encontrava dentro da gama de valores recomendados, enquanto a temperatura ambiente apresentava valores acima da gama definida pelo RCCTE:2006, mas dentro da gama proposta por Lambert para edifícios com ventilação natural.

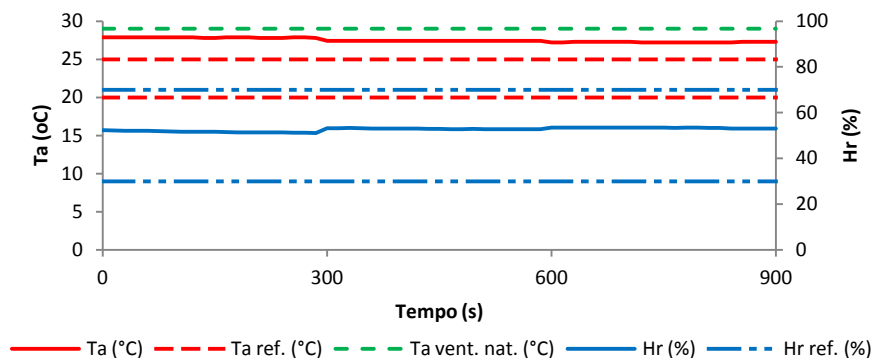


Figura 4.13 - Condições higrotérmicas no Q2.1NE.

Neste compartimento os ocupantes encontravam-se num estado de conforto térmico correspondente a uma sensação ligeiramente quente, considerando o PMV e PPD (Figura 4.15), enquanto quando se considera a T_{mp} e T_{conf} o compartimento cumpre os requisitos, e mais uma vez muito próximo da linha da temperatura de conforto (Figura 4.14).

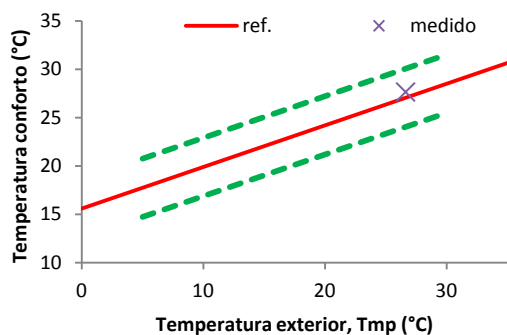


Figura 4.14 - Representação das condições de conforto térmico no Q2.1NE (T_{mp} e T_{conf}).

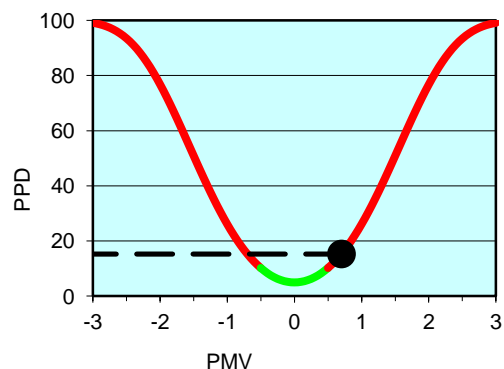


Figura 4.15 - Representação das condições de conforto térmico no Q2.1NE (PMV e PPD).

Na Tabela 4.5 é apresentado um resumo dos valores obtidos (temperatura ambiente e de bolbo negro, velocidade do ar e humidade relativa) nos ensaios *in situ* deste compartimento.

Tabela 4.5 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no Q2.1NE.

Medido	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	27,2	27,5	27,9
Temperatura de bolbo negro (°C)	27,2	27,8	29,1
Velocidade do ar (m/s)	0,0	0,0	0,07
Humidade relativa (%)	51,1	52,7	53,5
Vestuário (clo)		0,32	
Metabolismo (met)		1,20	
Calculado			
Temperatura resultante (°C)		27,7	
PMV		0,7	
PPD (%)		15,3	

Analisando o gráfico da Figura 4.16 verifica-se, como em todos os outros compartimento da Habitação 2, no Q2.1SO registava-se uma temperatura superior à temperatura máxima definida no RCCTE:2006, contudo dentro da gama de valores definida por Lambert para edifícios com ventilação natural.

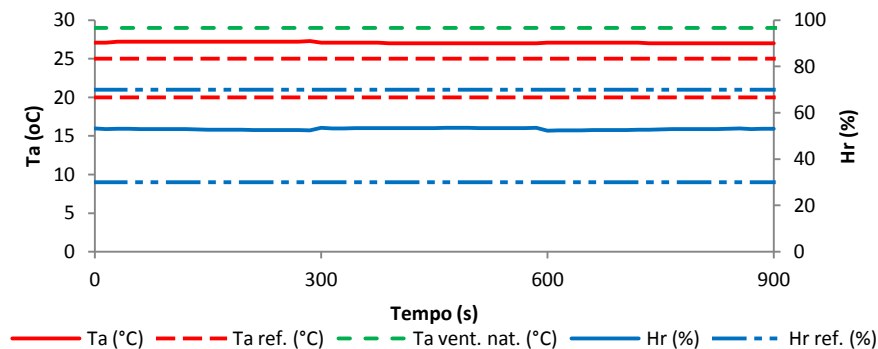


Figura 4.16 - Condições higrotérmicas no Q2.1SO.

Este compartimento como já foi dito é o único da Habitação 2, em que segundo o PMV e PPD os ocupantes se encontravam num estado de conforto térmico a uma sensação de conforto neutra (Figura 4.18). Considerando a T_{mp} e T_{conf} os ocupantes estão confortáveis, como se pode observar no gráfico da Figura 4.17.

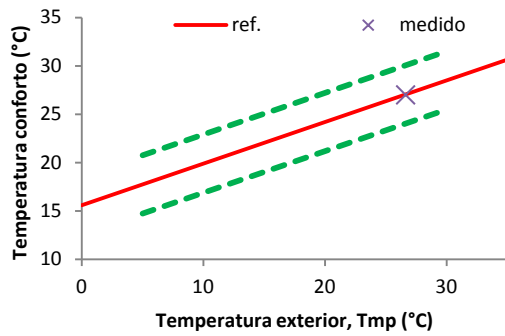


Figura 4.17 - Representação das condições de conforto térmico no Q2.1SO (T_{mp} e T_{conf}).

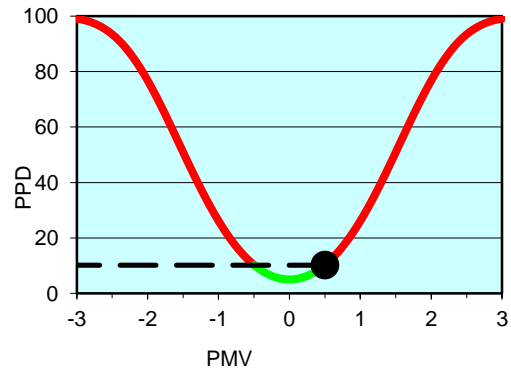


Figura 4.18 - Representação das condições de conforto térmico no Q2.1SO (PMV e PPD).

Na Tabela 4.6 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos (temperatura ambiente e de bolbo negro, velocidade do ar e humidade relativa) no Q2.1SO da Habitação 2 ao longo do período de medição.

Tabela 4.6 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no Q2.1SO.

Medido	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	27	27,1	27,3
Temperatura de bolbo negro (°C)	26,8	26,9	27,2
Velocidade do ar (m/s)	0,0	0,0	0,03
Humidade relativa (%)	52,3	52,9	53,5
Vestuário (clo)		0,32	
Metabolismo (met)		1,2	
Calculado			
Temperatura resultante (°C)		27,0	
PMV		0,5	
PPD (%)		10,2	

A Sala é de todos os compartimentos da Habitação 2 a que apresenta uma temperatura ambiente mais alta, aproximando-se da temperatura de referência para edifícios com ventilação natural definida por Lambert. A humidade relativa encontrava-se dentro dos valores definidos pelo RCCTE:2006 (Figura 4.19).

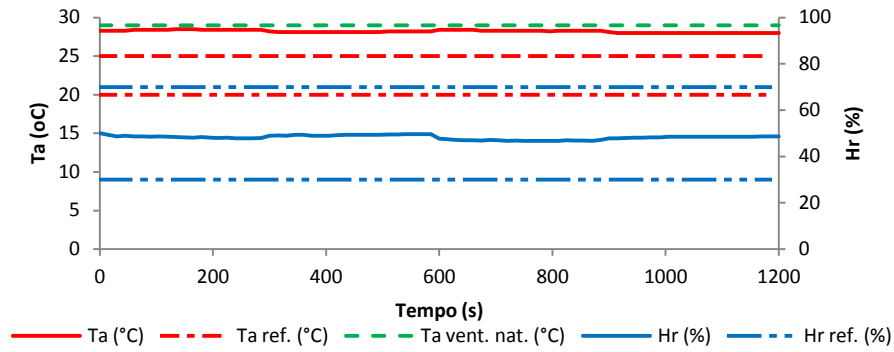


Figura 4.19 - Condições higrotérmicas na Sala.

Segundo o modelo adaptativo, adaptado à realidade Portuguesa, as condições térmicas neste compartimento estão dentro dos parâmetros de um ambiente confortável (Figura 4.20). Contudo segundo o gráfico da Figura 4.21 o ambiente já é ligeiramente quente, encontrando-se fora da zona de conforto.

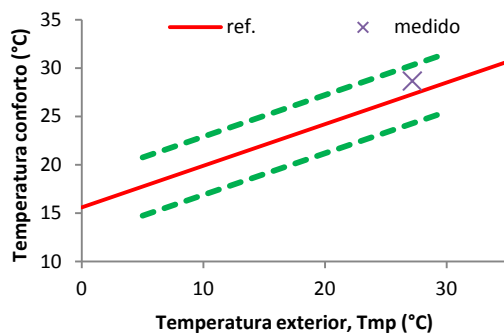


Figura 4.20 - Representação das condições de conforto térmico na Sala (T_{mp} e T_{conf}).

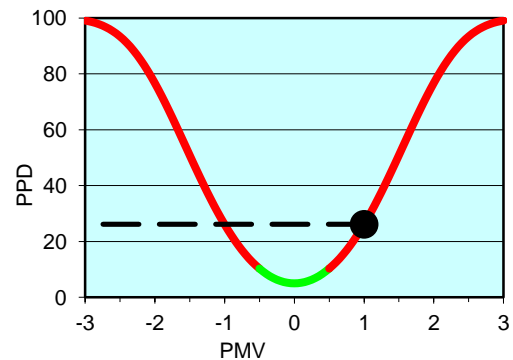


Figura 4.21 - Representação das condições de conforto térmico na Sala (PMV e PPD).

Na Tabela 4.7 é apresentado um resumo dos valores obtidos, da temperatura ambiente e bolbo negro, da velocidade do ar e da humidade relativa nos ensaios *in situ* deste compartimento.

Tabela 4.7 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na Sala.

Medido	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	28	28,2	28,5
Temperatura de bolbo negro (°C)	28,2	29,1	30,3
Velocidade do ar (m/s)	0,0	0,02	0,15
Humidade relativa (%)	46,7	48,3	50,1
Vestuário (clo)		0,32	
Metabolismo (met)		1,2	
Calculado			
Temperatura resultante (°C)		28,7	
PMV		1,0	
PPD (%)		26,1	

4.1.3 Habitação 3

A temperatura ambiente exterior no dia em que a avaliação das condições de conforto forma realizadas, 14 de Setembro de 2012, na Habitação 3 era de 24 °C, e o céu estava limpo.

Na Habitação 3 a temperatura ambiente interior variou entre 24 °C (Cozinha e Sala) e os 25 °C (Quartos). A humidade relativa registada variou entre 35% e 40%, em que o valor mais alto registou na Sala.

As condições térmicas medidas na Habitação 3 são muito similares e proporcionavam um estado de conforto térmico situado na zona de conforto ($PMV = -0,1$ e $PPD = 5,4$, no pior dos casos).

Analisando o gráfico da Figura 4.22 é possível observar que na Cozinha tanto a temperatura ambiente como a humidade relativa estão dentro dos valores definidos pelo RCCTE:2006, apesar de a temperatura estar muito próxima do valor limite.

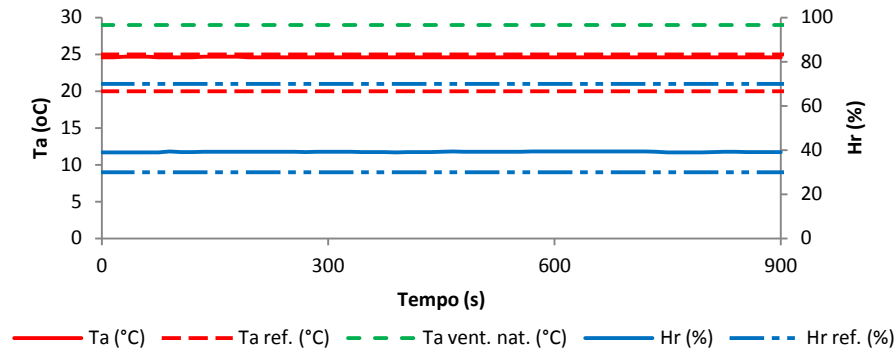


Figura 4.22 - Condições higrotérmicas na Cozinha.

Verifica-se através da análise do gráfico da Figura 4.24 que os ocupantes se encontravam num estado de conforto térmico a uma sensação neutra, situação que se confirma considerando a Figura 4.23.

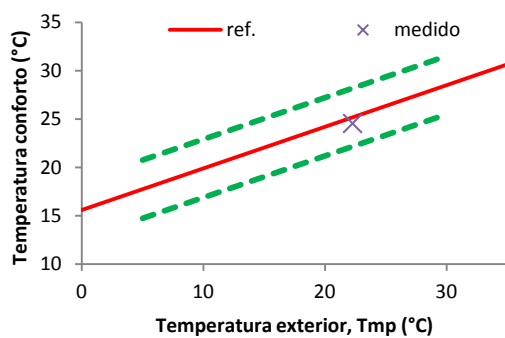


Figura 4.23 - Representação das condições de conforto térmico na Cozinha (T_{mp} e T_{conf}).

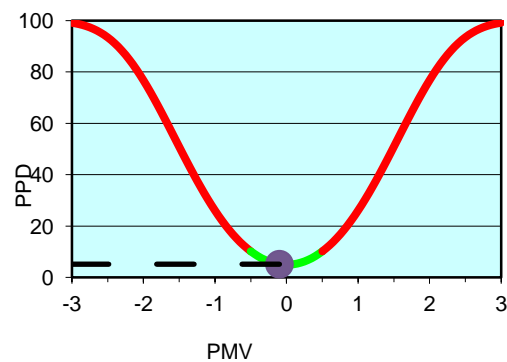


Figura 4.24 - Representação das condições de conforto térmico na Cozinha (PMV e PPD).

Na Tabela 4.8 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos (temperatura ambiente e de bolbo negro, velocidade do ar e humidade relativa) na Cozinha da Habitação 3 ao longo do período de medição.

Tabela 4.8 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na Cozinha.

Medido	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	24,6	24,6	24,7
Temperatura de bolbo negro (°C)	24,3	24,5	24,6
Velocidade do ar (m/s)	0,0	0,0	0,0
Humidade relativa (%)	38,9	39,2	39,4
Vestuário (clo)		0,50	
Metabolismo (met)		1,20	
Calculado			
Temperatura resultante (°C)		24,6	
PMV		-0,1	
PPD (%)		5,2	

Analisando os resultados referentes às condições higrotérmicas do Q3.1E, apresentados na Figura 4.25 a temperatura ambiente média é praticamente igual à temperatura definida pelo RCCTE:2006. A humidade relativa apresenta valores próximos dos 35%, logo dentro dos valores definidos no RCCTE:2006.

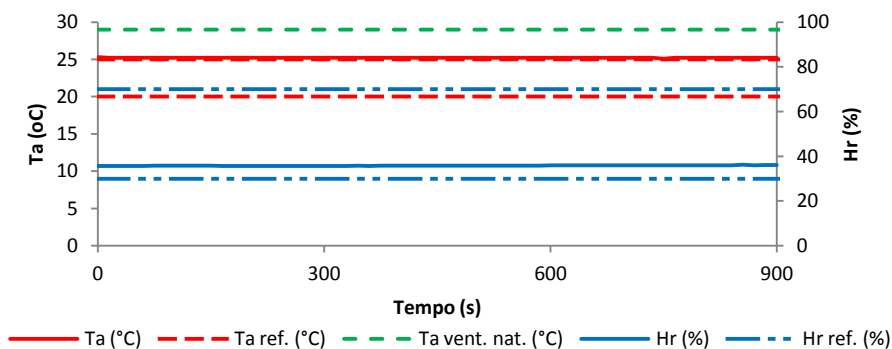


Figura 4.25 - Condições higrotérmicas no Q3.1E.

Verifica-se através da análise da Figura 4.26 e Figura 4.27 que as condições térmicas medidas no Q3.1E proporcionavam um estado de conforto térmico correspondente a uma sensação neutra.

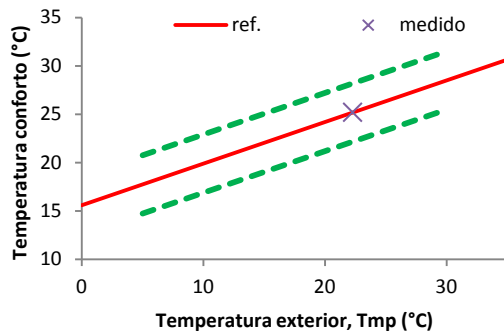


Figura 4.26 - Representação das condições de conforto térmico no Q3.1E (T_{tmp} e T_{conf}).

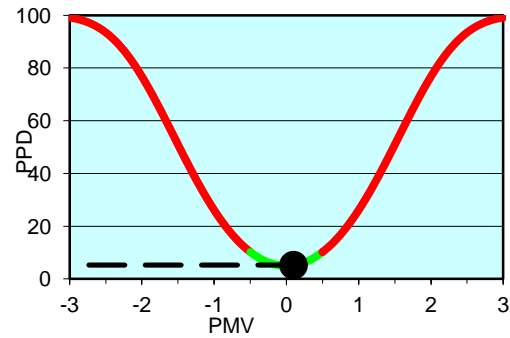


Figura 4.27 - Representação das condições de conforto térmico no Q3.1E (PMV e PPD).

Na Tabela 4.9 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos (temperatura ambiente e de bolbo negro, velocidade do ar e humidade relativa) no Q3.1E da Habitação 3 ao longo do período de medição.

Tabela 4.9 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no Q3.1E.

Medido	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	25,1	25,2	25,3
Temperatura de bolbo negro (°C)	25,2	25,2	25,3
Velocidade do ar (m/s)	0,0	0,0	0,01
Humidade relativa (%)	35,6	35,8	36,2
Vestuário (clo)		0,50	
Metabolismo (met)		1,20	
Calculado			
Temperatura resultante (°C)		25,2	
PMV		0,1	
PPD (%)		5,2	

No Q3.3E os resultados referentes às condições higrotérmicas (Figura 4.28), mostram que a temperatura ambiente é muito próxima da definida como limite pelo RCCTE:2006, contudo ainda inferior dos valores máximos para edifícios cuja ventilação é feita naturalmente.

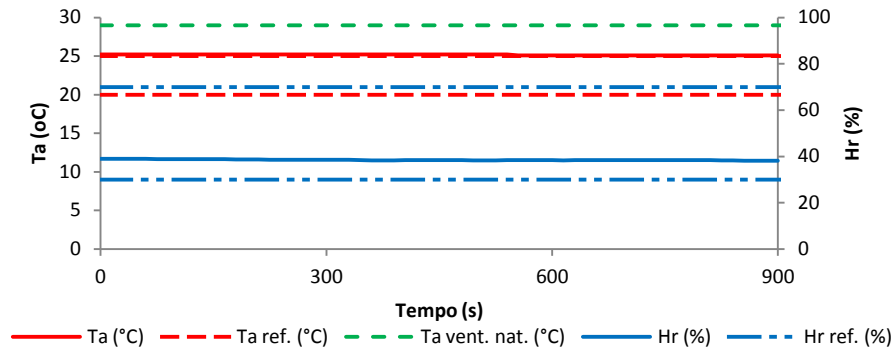


Figura 4.28 - Condições higrotérmicas no Q3.3E.

Verifica-se através da análise da Figura 4.29 e Figura 4.30 que os ocupantes do Q3.3E se encontravam num estado de conforto térmico correspondente a um sensação neutra.

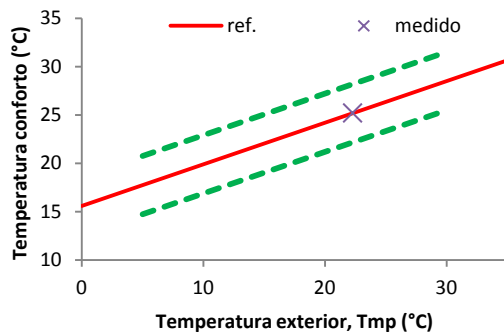


Figura 4.29 - Representação das condições de conforto térmico no Q3.3E (T_{mp} e T_{conf}).

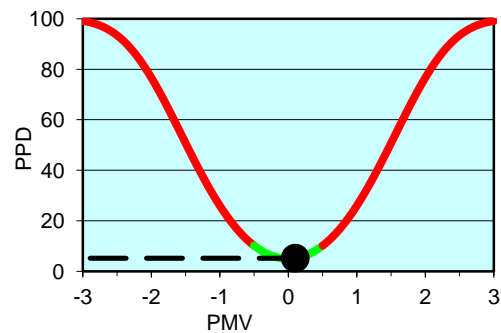


Figura 4.30 - Representação das condições de conforto térmico no Q3.3E (PMV e PPD).

Na Tabela 4.10 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos (temperatura ambiente e de bolbo negro, velocidade do ar e humidade relativa) no Q3.3E da Habitação 3 ao longo do período de medição.

Tabela 4.10 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico no Q3.3E.

Medido	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	25,1	25,2	25,2
Temperatura de bolbo negro (°C)	24,9	25,2	25,3
Velocidade do ar (m/s)	0,0	0,0	0,0
Humidade relativa (%)	38,2	38,5	39,0
Vestuário (clo)		0,50	
Metabolismo (met)		1,20	
Calculado			
Temperatura resultante (°C)		25,2	
PMV		0,1	
PPD (%)		5,2	

Da análise dos resultados das medições *in situ* realizadas na Sala (Figura 4.31), é possível verificar que apesar de próxima, a temperatura ambiente não ultrapassa os 25 °C definidos pelo RCCTE:2006. A humidade relativa apresentou-se próxima dos 40 %.

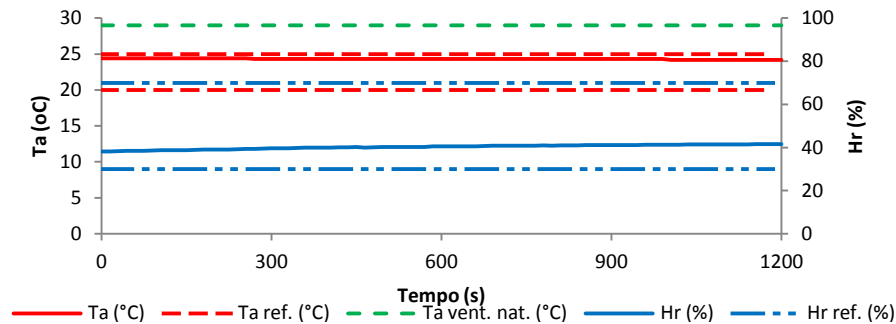


Figura 4.31 - Condições higrotérmicas na Sala.

Na Sala da Habitação 3, como se pode observar na Figura 4.32 e Figura 4.33, os ocupantes encontravam-se num estado de conforto térmico correspondente a uma sensação neutra.

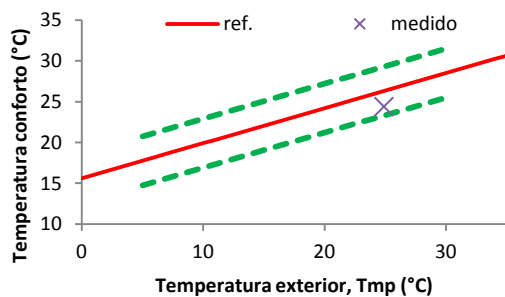


Figura 4.32 - Representação das condições de conforto térmico na Sala (T_{mp} e T_{conf}).

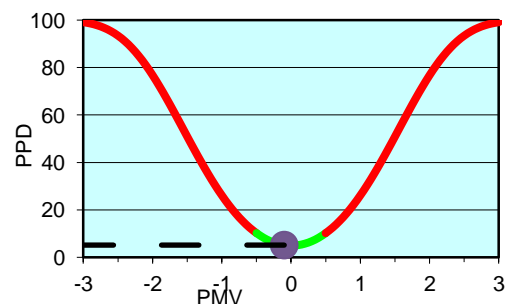


Figura 4.33 - Representação das condições de conforto térmico na Sala (PMV e PPD).

Na Tabela 4.11 apresentam-se os valores mínimos, máximos e médios dos valores medidos (temperatura ambiente e de bolbo negro, velocidade do ar e humidade relativa) na Sala da Habitação 3 ao longo do período de medição.

Tabela 4.11 - Resultados obtidos nas medições do conforto térmico na Sala.

Medido	Mínimo	Média	Máximo
Temperatura ambiente (°C)	24,3	24,3	24,4
Temperatura de bolbo negro (°C)	24,3	24,5	25,1
Velocidade do ar (m/s)	0,0	0,0	0,02
Humidade relativa (%)	38,1	39,9	41,1
Vestuário (clo)		0,50	
Metabolismo (met)		1,20	
Calculado			
Temperatura resultante (°C)		24,4	
PMV		-0,1	
PPD (%)		5,2	

De seguida apresenta-se a avaliação do comportamento acústico das habitações em estudo.

4.2 Resultados da Avaliação das Condições de Conforto Acústico

Na avaliação da qualidade acústica das habitações utilizou-se a metodologia e os valores definidos na EN 15251:2007 (Tabela 2.6).

Em cada compartimento foram realizadas três medições, em pontos distintos, segundo as regras definidas na norma NP 1730-1:1996, sendo mais tarde calculado o nível sonoro em cada compartimento, através da média logarítmica das três medições realizadas.

4.2.1 Habitação 1

Na Habitação 1, apartamento de tipologia T3, localizado junto a uma via com elevada circulação automóvel, foram registados os valores de nível sonoro contínuo equivalente ponderado (A), apresentados na Tabela 4.12.

Os ensaios foram realizados no dia 12 Junho de 2012.

Tabela 4.12 - Valores de L_{Aeq} , em dB(A), medidos na Habitação 1.

	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Médio	Ruído Predominante	Valores Ref.	Verif.
Sala	35,33	37,97	35,96	36,57	Exterior	25 - 40	Sim
Q1.1N	44,24	45,09	43,39	44,29	Exterior	20 - 35	Não
Q1.1E	46,81	44,60		45,84	Exterior	20 - 35	Não

Como se pode verificar na Tabela 4.12 os níveis sonoros medidos nos quartos não cumpriam as recomendações da EN 15251:2007, enquanto a Sala cumpria.

Nesta habitação a fonte de ruído predominante é o exterior, e uma vez que está inserida numa zona urbana com elevada circulação automóvel e como a qualidade acústica da envolvente demonstrou-se desajustada para o ruído exterior nos quartos. A Sala apesar de ter a mesma orientação do Q1.1N, apresentou um nível sonoro bastante mais baixo, este facto deveu-se à marquise que a varanda da Habitação 1 tinha implantada. No Q1.1E na terceira medição verificou-se que tinha ocorrido um erro (overload occurred), posto isso e devido à impossibilidade de utilizar de novo a habitação para novas medições esse compartimento só foi analisado tendo por base duas medições.

4.2.2 Habitação 2

A Habitação 2, é um apartamento de tipologia T3 localizado no 5º andar de um edifício multifamiliar numa zona de circulação automóvel moderada. Na Tabela 4.13 apresentam-se os valores do nível sonoro contínuo equivalente ponderado (A) medido. Os ensaios foram realizados no dia 29 de Julho de 2012.

Tabela 4.13 - Valores de L_{Aeq} , em dB(A), medidos na Habitação 2.

	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Médio	Ruído Predominante	Valores Ref.	Verif.
Cozinha	34,53	36,79	39,54	36,45	Frigorífico e exterior	25 - 40	Sim
Sala	37,43	35,71	35,05	36,18	Exterior	25 - 40	Sim
Q2.1SO	25,95	22,76	23,27	24,23	Exterior	20 - 35	Sim
Q2.1NE	22,83	24,75	22,69	23,53	Exterior	20 - 35	Sim

Pela análise da Tabela 4.13 verifica-se que os resultados obtidos cumpriam as recomendações da EN 15251:2007.

Na Habitação 2 a principal fonte de ruído era a circulação automóvel e a construção de um edifício nas proximidades, apesar destas fontes potenciadoras de criar desconforto aos ocupantes, o nível sonoro medido encontrava-se dentro dos intervalos recomendados, revelando assim uma boa qualidade acústica da envolvente, apesar da elevada área de envidraçado existente.

4.2.3 Habitação 3

Na Tabela 4.14 é apresentado o nível sonoro contínuo equivalente (A) medido na Habitação 3, apartamento de tipologia T3 localiza próximo de uma via de moderada circulação automóvel, situado no quarto piso. Os ensaios foram realizados no dia 31 de Julho de 2012.

Tabela 4.14 - Valores de L_{Aeq} , em dB(A), medidos na Habitação 3.

	Med. 1	Med. 2	Med. 3	Médio	Ruído Predominante	Valores Ref.	Verif.
Cozinha	42,07	37,87	38,24	39,84	Frigorífico e exterior	25 - 40	Sim
Sala	36,46	38,91	32,63	36,70	Exterior	25 - 40	Sim
Q3.3E	35,94	28,48	26,56	32,29	Exterior	20 - 35	Sim
Q3.1E	28,75	26,39	26,53	27,72	Exterior	20 - 35	Sim

Tal como mostram os resultados na Tabela 4.14, a Habitação 3 apresentava níveis sonoros inferiores à gama recomendada pela EN 15251:2007. A Cozinha apresentou um valor próximo do limite, este valor deveu-se ao facto da Cozinha apresentar como fonte de ruído predominante não só o ruído exterior mas também o produzido pelo frigorífico.

4.2.4 Resultados da Avaliação do isolamento acústico *in situ*

No presente trabalho a avaliação do isolamento acústico *in situ* devido a diversas dificuldades foi apenas realizada a avaliação do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado ($D_{2m, nT,w}$) de fachadas da Habitação 2. Os ensaios foram realizados no dia 29 Julho de 2012.

De seguida são apresentados os resultados obtidos.

Parede de fachada

Os dados relativos aos compartimentos onde a medição foi realizada estão representados na Tabela 4.15.

Tabela 4.15 - Dados relativos aos compartimentos recetores.

Elemento Construtivo	Área do Elemento Construtivo	Área do Envidraçado	Área do Compartimento Recetor	Volume do Compartimento Recetor
Parede Sala	5,9 m ²	8,5 m ²	24,5 m ²	62,4 m ³
Parede Q2.1SO	1,6 m ²	3,9 m ²	15,1 m ²	38,5 m ³

Na Tabela 4.16 e na Figura 4.34 são apresentados os resultados das medições para avaliar o isolamento da parede de fachada.

Tabela 4.16 - Dados relativos às medições acústicas da Parede de fachada.

Frequência (Hz)	Parede Sala		Parede Q2.1SO	
	D _{2m,nT} (dB)	D _{2m,nT,w} (dB)	D _{2m,nT} (dB)	D _{2m,nT,w} (dB)
100	28,7	21	36,5	21
125	28,4	24	28,0	24
160	30,8	27	30,2	27
200	25,8	30	31,4	30
250	34,7	33	33,2	33
315	35,3	36	31,7	36
400	32,1	39	30,7	39
500	32,7	40	34,8	40
630	41,6	41	39,7	41
800	40,7	42	43,5	42
1000	42,3	43	43,9	43
1250	41,9	44	42,5	44
1600	40,6	44	39,6	44
2000	44,0	44	39,4	44
2500	45,0	44	44,8	44
3150	46,6	44	47,4	44
D _{2m, n, Tw}	40		40	

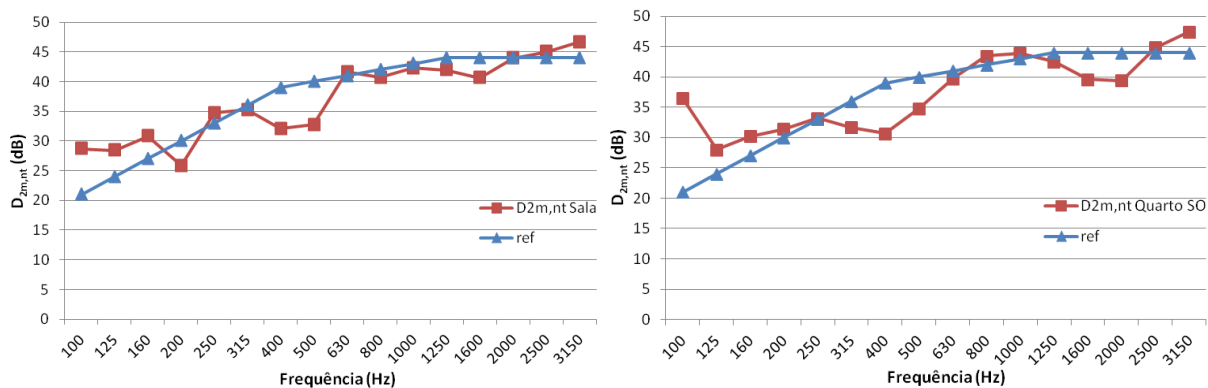


Figura 4.34 - Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado da parede de fachada Sala e Q2.1SO.

Analisando a Figura 4.34 e a Tabela 4.16 pode-se verificar que ambas as paredes cumprem os requisitos definidos no RRAE ($D_{2m, nT, w} \geq 28$ dB, zonas sensível). Nas duas paredes analisadas verificou-se que o resultado era o mesmo, $D_{2m, nT, w} = 40$ dB. Podia-se prever um melhor comportamento na Parede Sala devido a uma menor área de envidraçado (na sala 60% da parede é envidraçada, enquanto que no quarto é 70 %), contudo isso não se verificou, revelando um bom comportamento dos envidraçados (caixilharia dupla com vidro duplo).

4.3 Resultados da Avaliação da Qualidade do Ar Interior

Neste item são apresentados os resultados dos ensaios *in situ* realizados em três habitações dos cinco poluentes analisados (CO_2 , CO, HCHO, PM10 e O_3). Sempre que necessário os resultados serão comentados e estudadas as possíveis origens e indicadas estratégias de mitigação.

4.3.1 Habitação 1

Os ensaios na Habitação 1 foram realizados no dia 12 Junho d 2012. Na Habitação 1 em todos os compartimentos o CO_2 surge com valores muito próximos do máximo de referência (Figura 4.35, Figura 4.36 e Figura 4.37). Estes valores já levantam algumas preocupações, e podem ser melhorados com o simples facto de os ocupantes deixarem de fumar no interior da habitação (atendendo ao comportamento dos ocupantes, o fumo do tabaco é a principal fonte de CO_2).

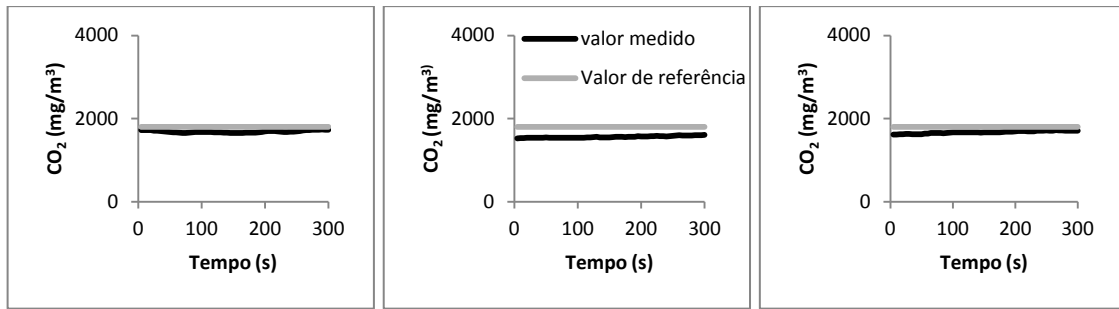


Figura 4.35 - Concentração de CO₂ no Q1.1E da Habitação 1.

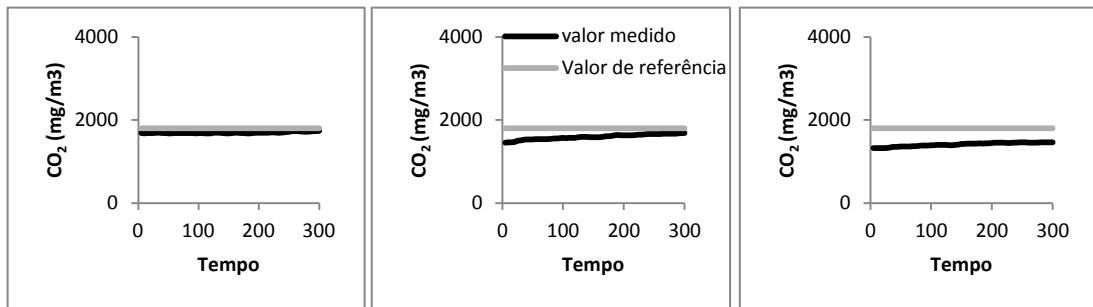


Figura 4.36 - Concentração de CO₂ no Q1.1N da Habitação 1.

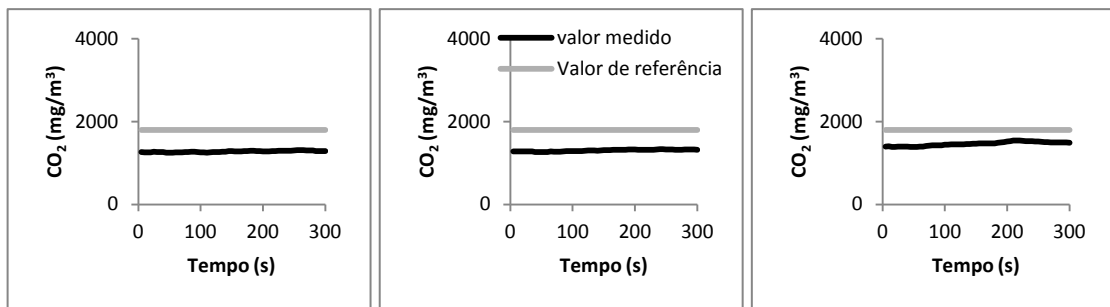


Figura 4.37 - Concentração de CO₂ na Sala da Habitação 1.

Os valores de CO são praticamente sempre nulos (Figura 4.38, Figura 4.39 e Figura 4.40), apenas no Q1.1E se registaram concentrações baixas como mostra a Figura 4.38, provavelmente devido ao ocupante fumar no seu interior.

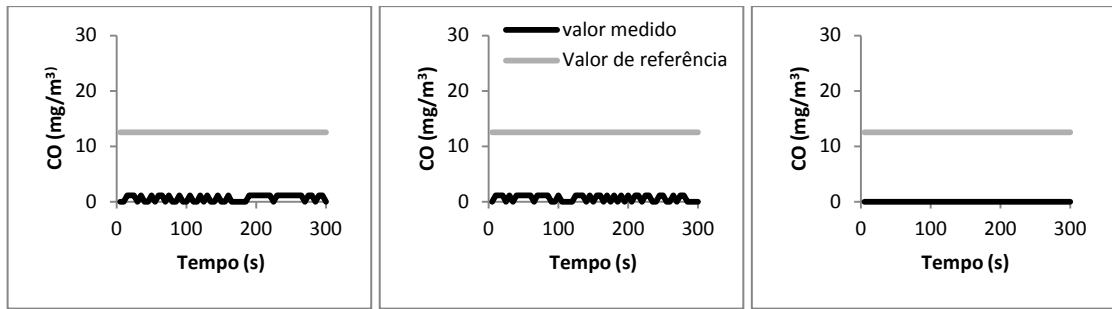


Figura 4.38 - Concentração de CO no Q1.1E da Habitação 1.

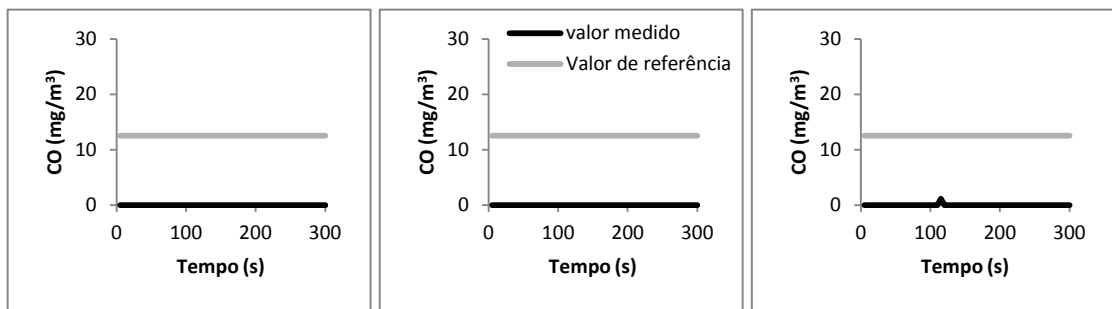


Figura 4.39 - Concentração de CO no Q1.1N da Habitação 1.

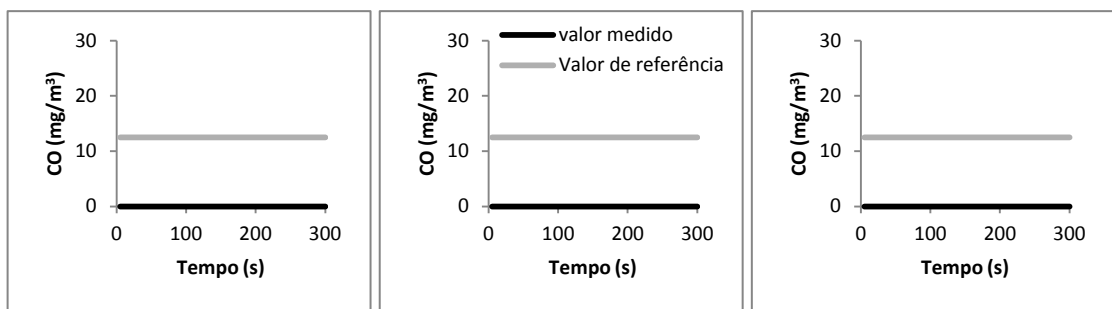


Figura 4.40 - Concentração de CO na Sala da Habitação 1.

A concentração de formaldeídos medida nesta habitação é praticamente nula em todos os compartimentos (Figura 4.41, Figura 4.42 e Figura 4.43) surgindo apenas uma variação num dos pontos do Q1.1N possivelmente devido ao uso de um produto de higiene (Figura 4.42).

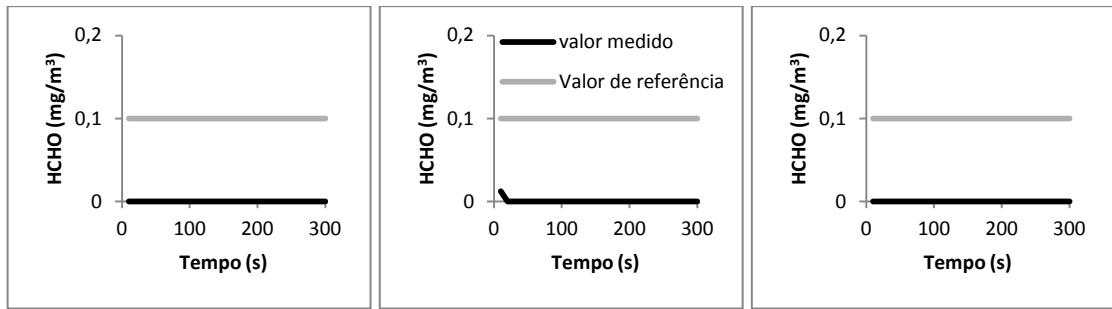


Figura 4.41 - Concentração de HCHO no Q1.1E da Habitação 1.

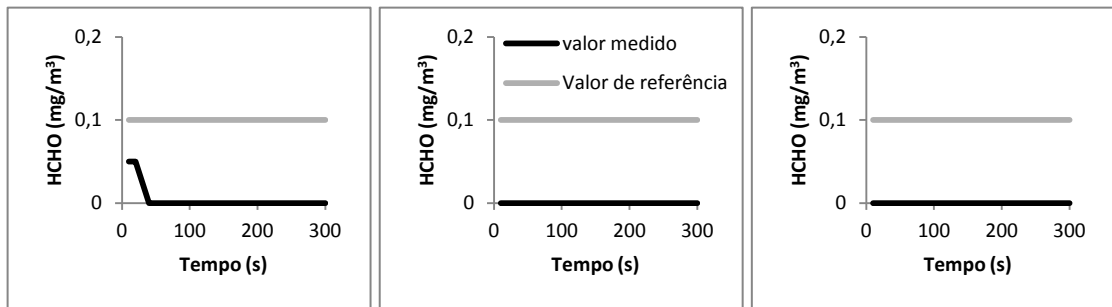


Figura 4.42 - Concentração de HCHO no Q1.1N da Habitação 1.

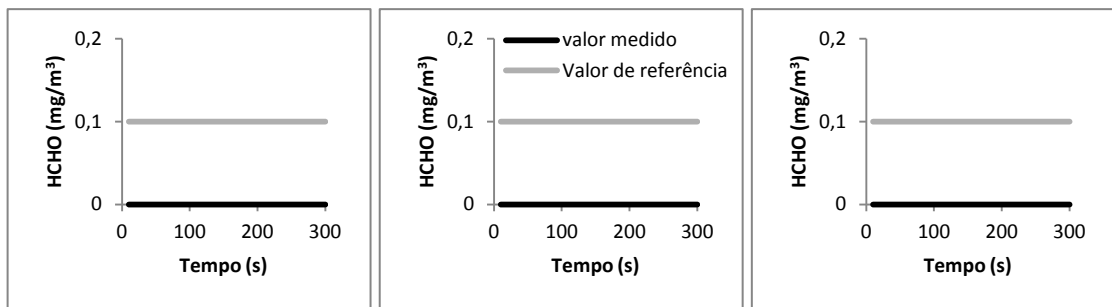


Figura 4.43 - Concentração de HCHO na Sala da Habitação 1.

A concentração de O_3 em todos os compartimentos era superior ao valor máximo de referência definido no RSECE como mostram a Figura 4.44, Figura 4.45 e Figura 4.46. A principal fonte deste poluente é o ar exterior (escapes dos automóveis e indústrias).

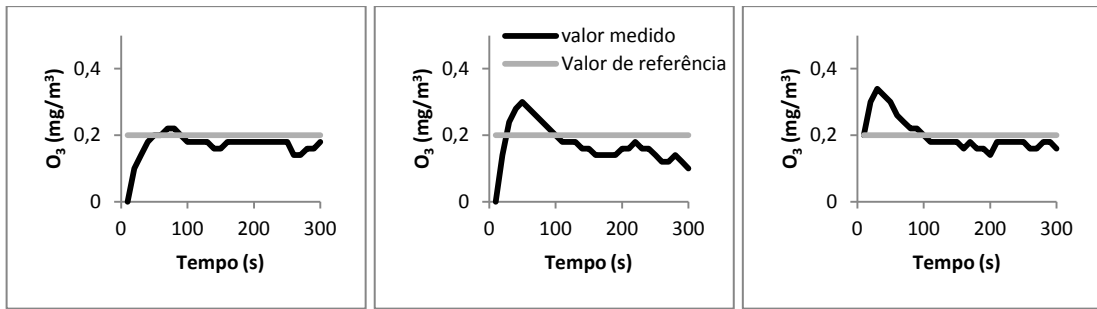


Figura 4.44 - Concentração de O₃ no Q1.1E da Habitação 1.

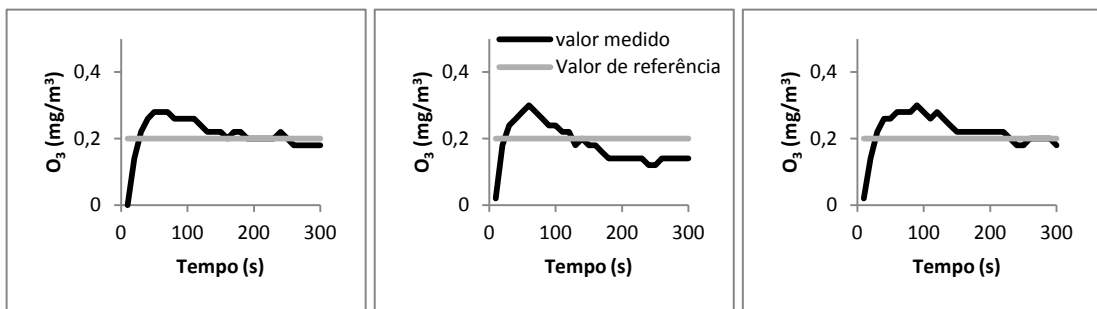


Figura 4.45 - Concentração de O₃ no Q1.1N da Habitação 1.

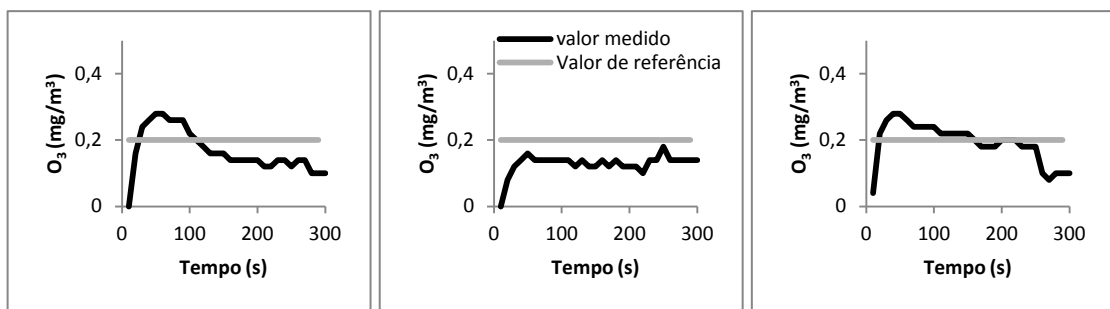


Figura 4.46 - Concentração de O₃ na Sala da Habitação 1.

A concentração de partículas suspensas no ar detectadas nos compartimentos desta habitação não foi muito alta como se pode verificar na Figura 4.47, na Figura 4.48 e na Figura 4.49.

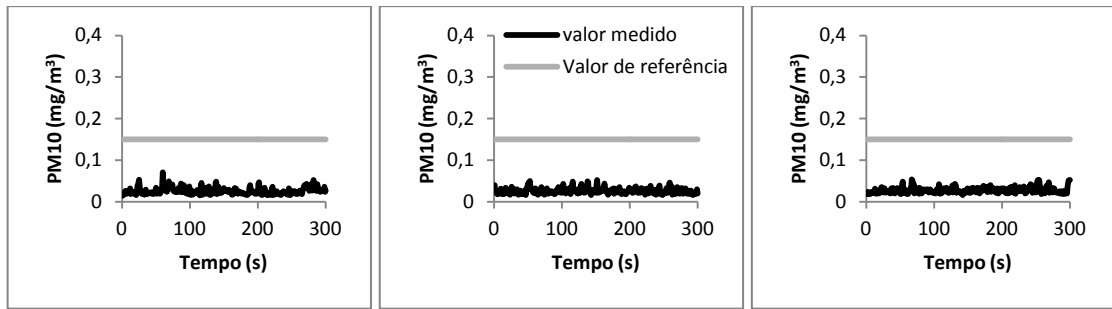


Figura 4.47 - Concentração de PM10 no Q1.1E da Habitação 1.

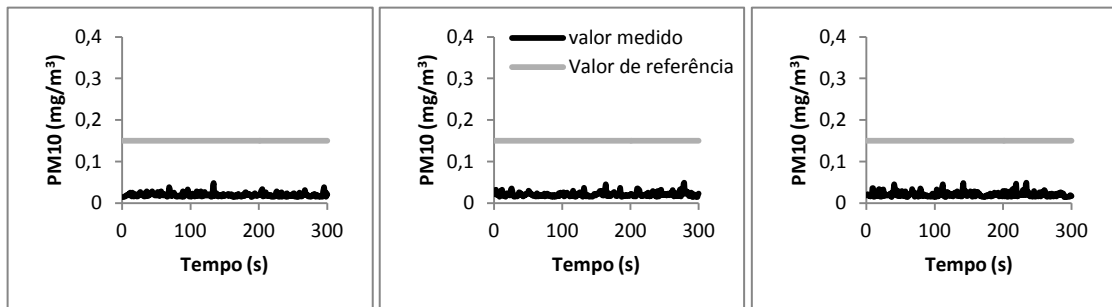


Figura 4.48 - Concentração de PM10 no Q1.1N da Habitação 1.

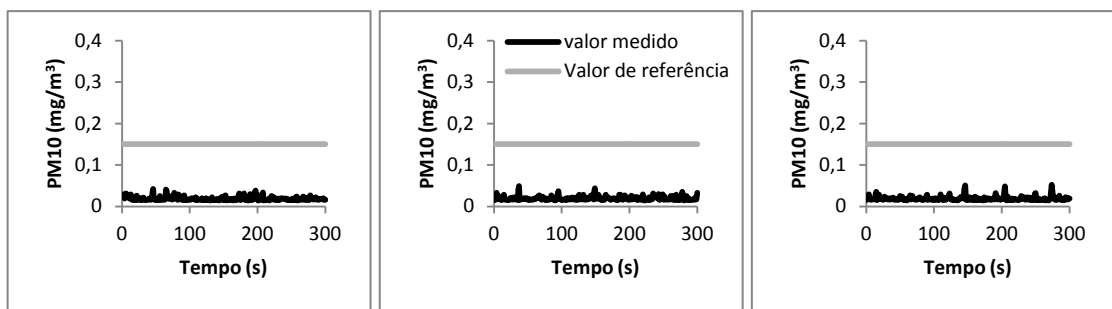


Figura 4.49 - Concentração de PM10 na Sala da Habitação 1.

4.3.2 Habitação 2

Os ensaios para a avaliação da qualidade do ar foram realizados no dia 19 de Julho de 2012. A concentração de dióxido de carbono medido na Habitação 2 encontra-se abaixo do valor máximo de referência definido no RSECE:2006, mas próximo (Figura 4.50, Figura 4.51, Figura 4.52 e Figura 4.53). A ocupação humana permanente pode ser uma das razões para as concentrações medidas.

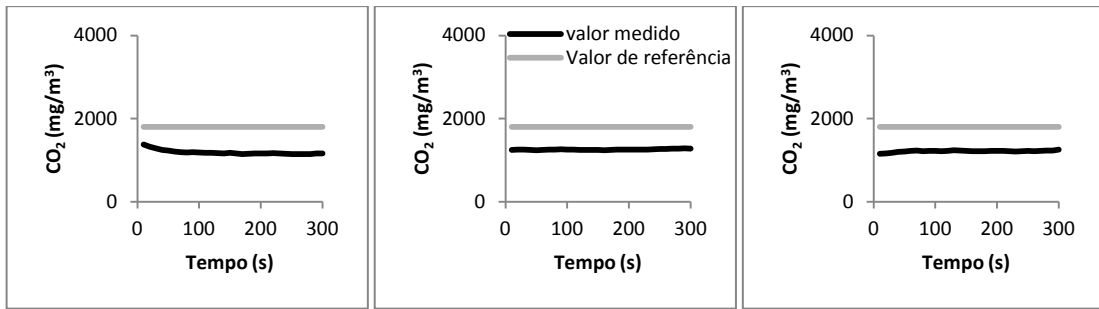


Figura 4.50 - Concentração de CO₂ na Cozinha da Habitação 2.

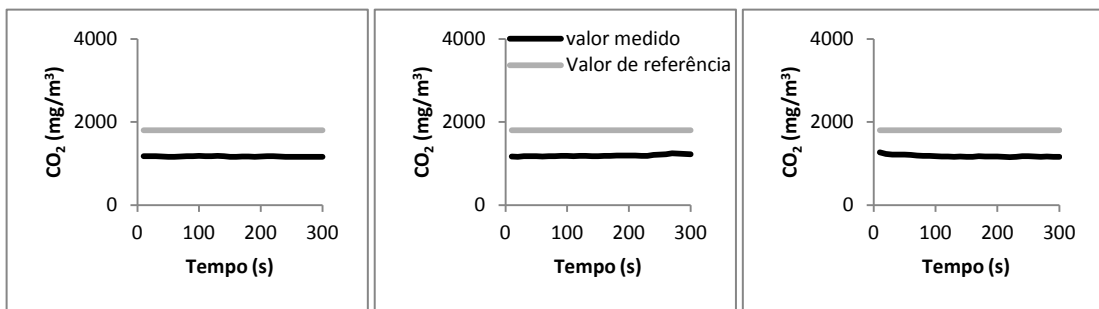


Figura 4.51 - Concentração de CO₂ no Q2.1NE da Habitação 2.

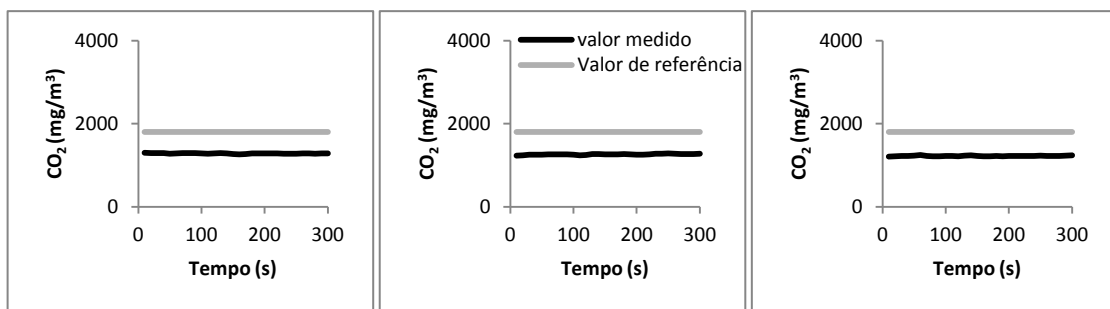


Figura 4.52 - Concentração de CO₂ no Q2.1SO da Habitação 2.

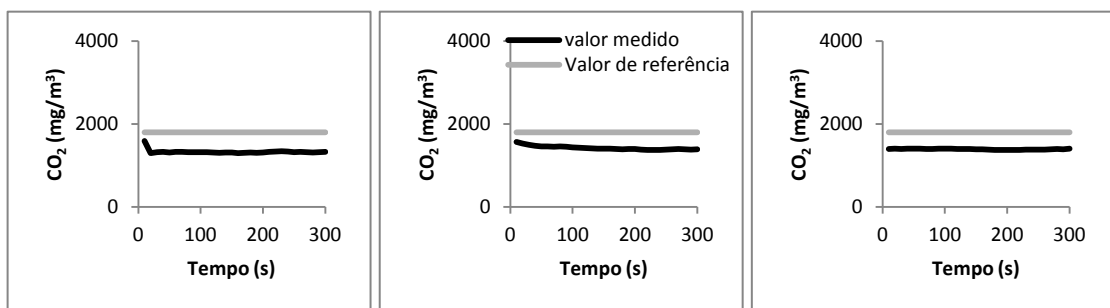


Figura 4.53 - Concentração de CO₂ na Sala da Habitação 2.

Na Habitação 2 não foi detectada a presença de monóxido de carbono na Cozinha e Quartos (Figura 4.54, Figura 4.55 e Figura 4.56), verificando-se pequenas concentrações apenas na Sala (Figura 4.57). As possíveis causas da presença de monóxido de carbono neste compartimento podem estar relacionadas com o facto de um dos moradores ser fumador e fumar, pontualmente, à porta deste compartimento.

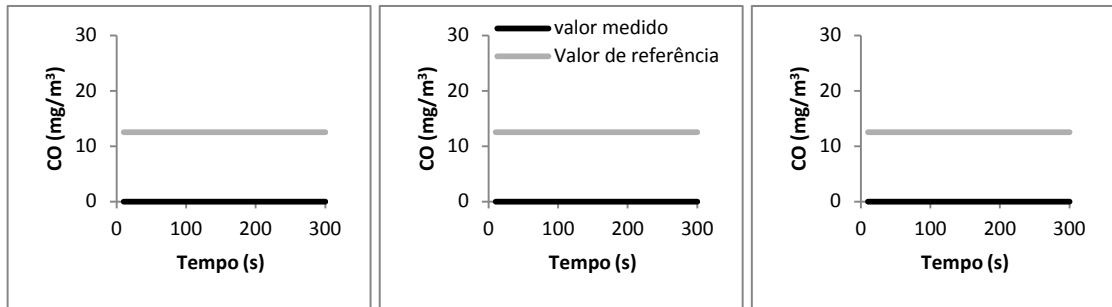


Figura 4.54 - Concentração de CO na Cozinha da Habitação 2.

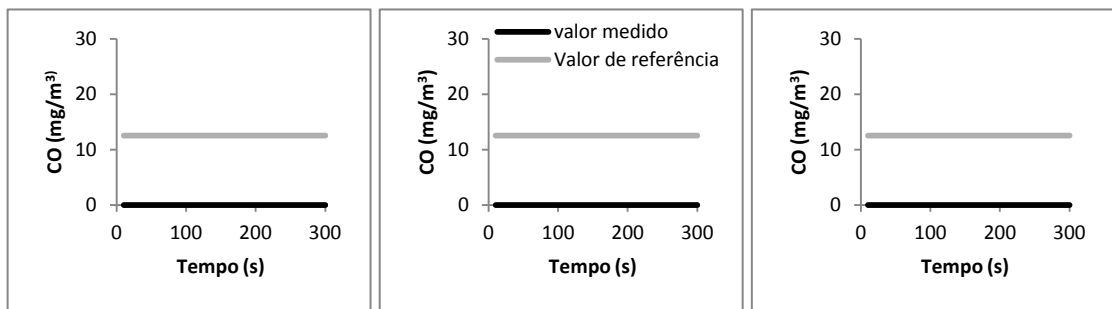


Figura 4.55 - Concentração de CO no Q2.1NE da Habitação 2.

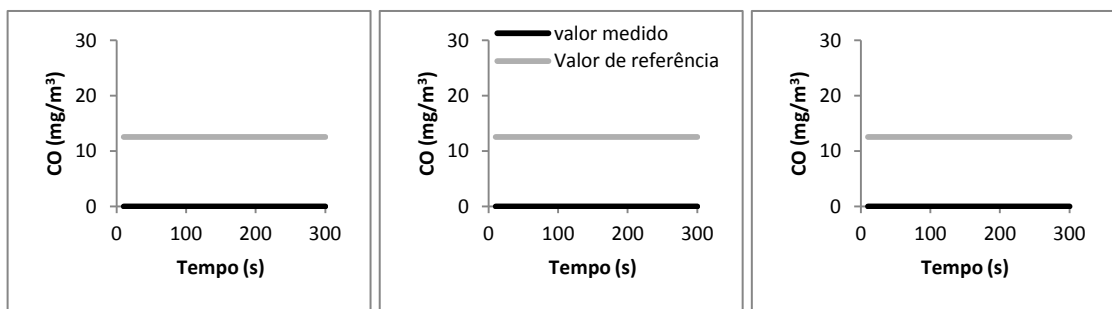


Figura 4.56 - Concentração de CO no Q2.1SO da Habitação 2.

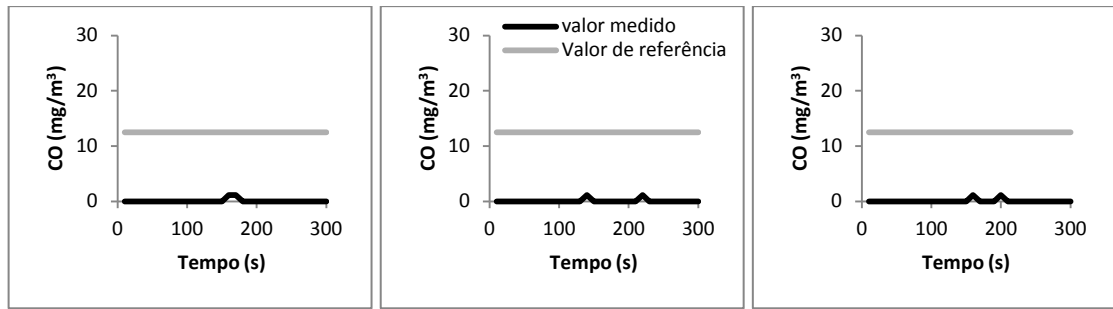


Figura 4.57 - Concentração de CO na Sala da Habitação 2.

Na Figura 4.58, na Figura 4.59, na Figura 4.60 e na Figura 4.61, são apresentados os resultados das medições de formaldeído na Cozinha, no Q2.1NE, no Q2.1SO e na Sala, respectivamente. A Sala é o único compartimento em que se registou uma concentração de formaldeídos superior ao valor máximo de referência e apenas num ponto (Figura 4.61), provavelmente esta concentração deveu-se ao uso de algum produto de limpeza na mesa, local de medição com a concentração mais elevada.

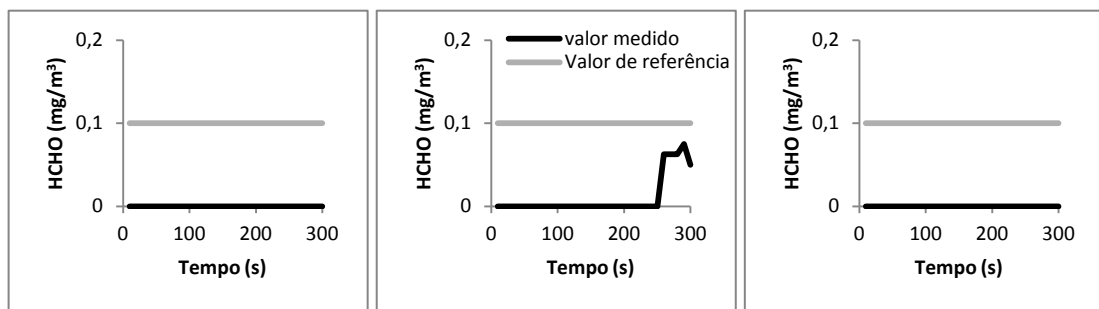


Figura 4.58 - Concentração de HCHO na Cozinha da Habitação 2.

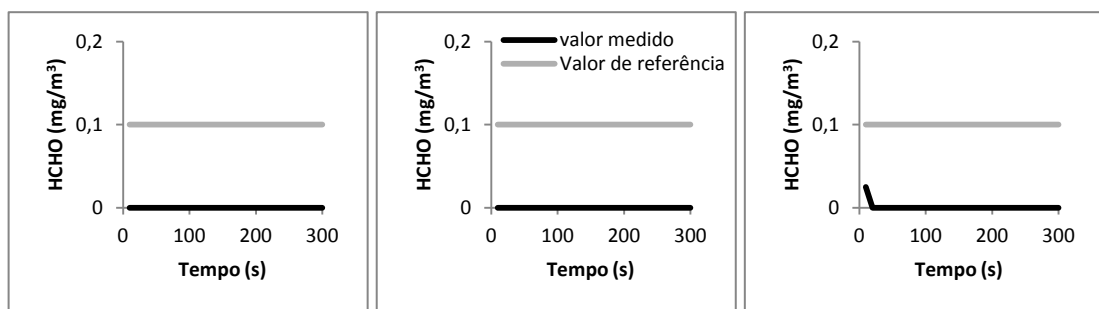


Figura 4.59 - Concentração de HCHO no Q2.1NE da Habitação 2.

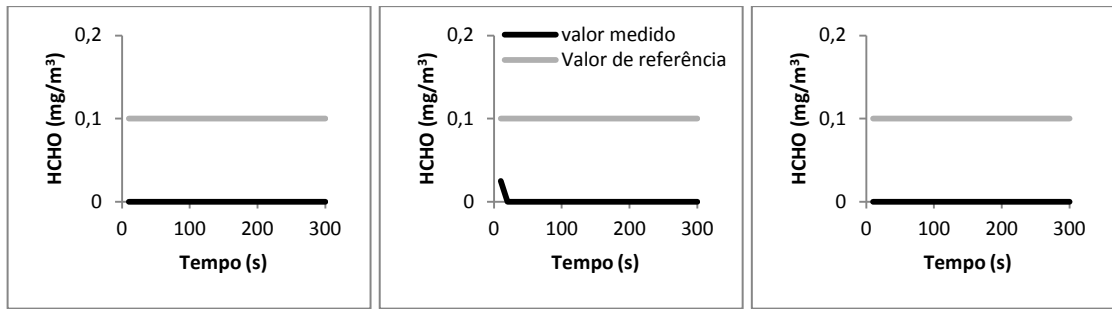


Figura 4.60 - Concentração de HCHO no Q2.1SO da Habitação 2.

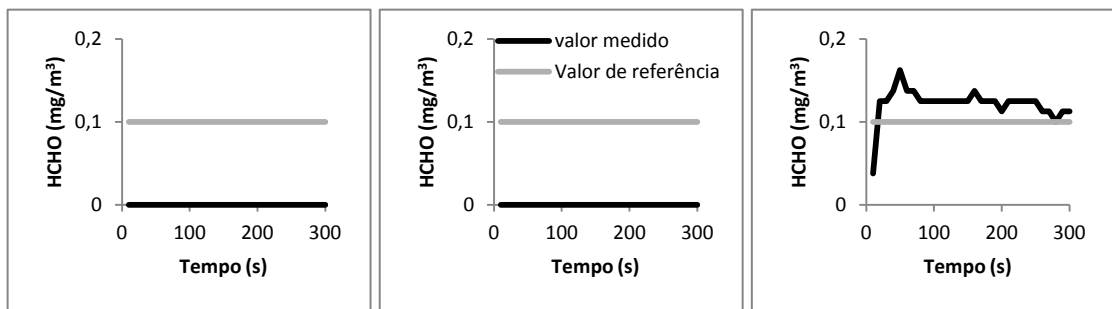


Figura 4.61 - Concentração de HCHO na Sala da Habitação 2.

Tal como mostram a Figura 4.62, a Figura 4.63, a Figura 4.64e a Figura 4.65 foi detectada a presença de ozono em todos os compartimentos da Habitação 2 estudados. O ar exterior poderá ser a principal fonte de ozono, porém a concentração de ozono era maior na Cozinha e na Sala (Figura 4.62 e Figura 4.65). Esta concentração mais elevada resultou de uma concentração de equipamentos informáticos, enquanto na cozinha prevê-se que deve-se às reações ionizantes decorrentes dos vários eletrodomésticos existentes no espaço (fogão, frigorífico, micro-ondas, etc.).

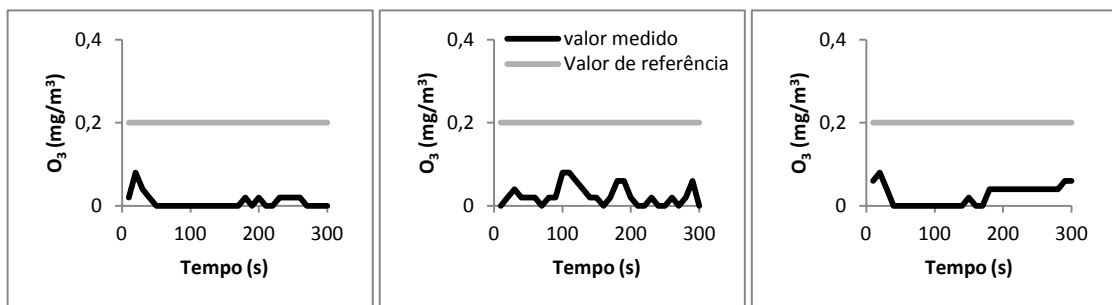


Figura 4.62 - Concentração de O₃ na Cozinha da Habitação 2.

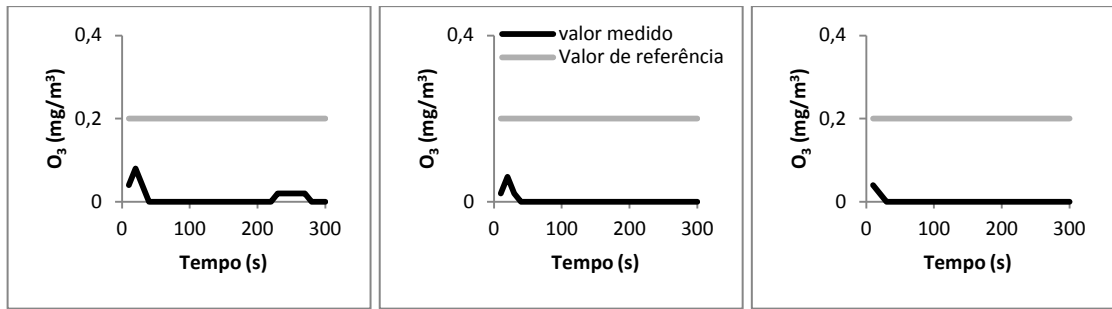


Figura 4.63 - Concentração de O₃ no Q2.1NE da Habitação 2.

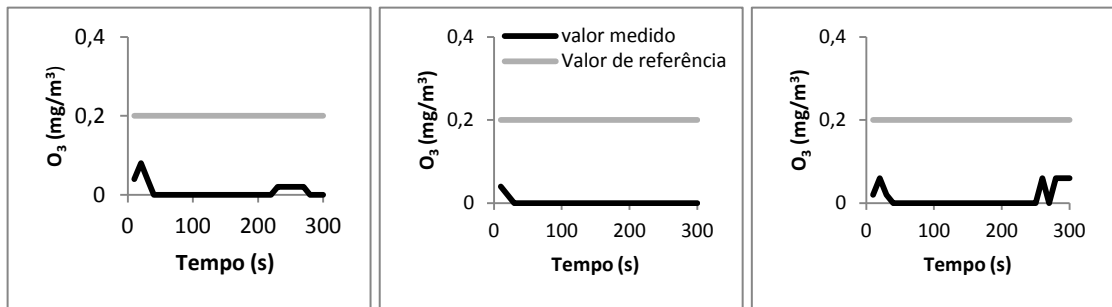


Figura 4.64 - Concentração de O₃ no Q2.ISO da Habitação 2.

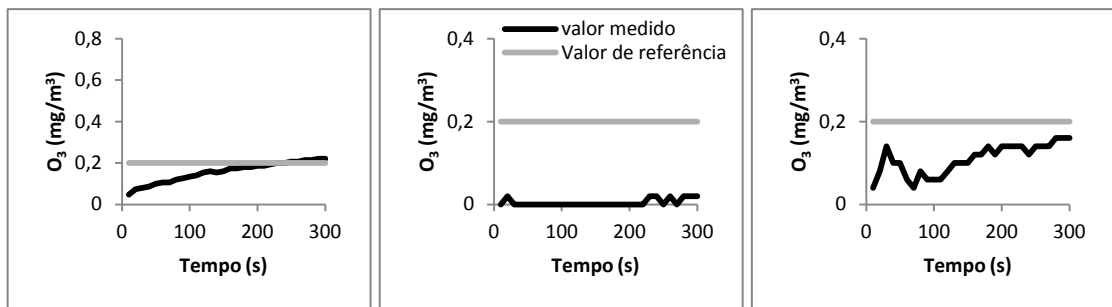


Figura 4.65 - Concentração de O₃ na Sala da Habitação 2.

As concentrações de partículas respiráveis medidas na Habitação 2 eram inferiores aos valores máximos de referência (Figura 4.66, Figura 4.67, Figura 4.68 e Figura 4.69).

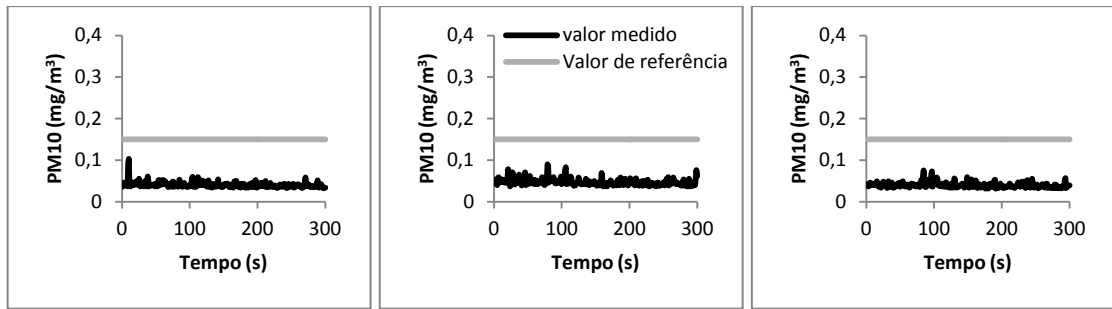


Figura 4.66 - Concentração de PM10 na Cozinha da Habitação 2.

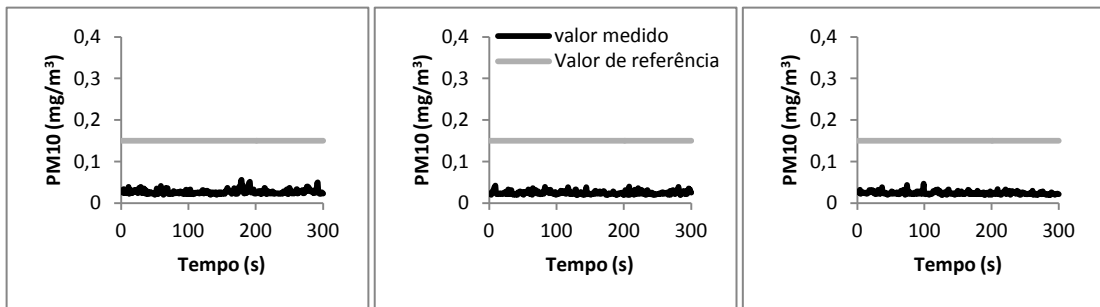


Figura 4.67 - Concentração de PM10 no Q2.1NE da Habitação 2.

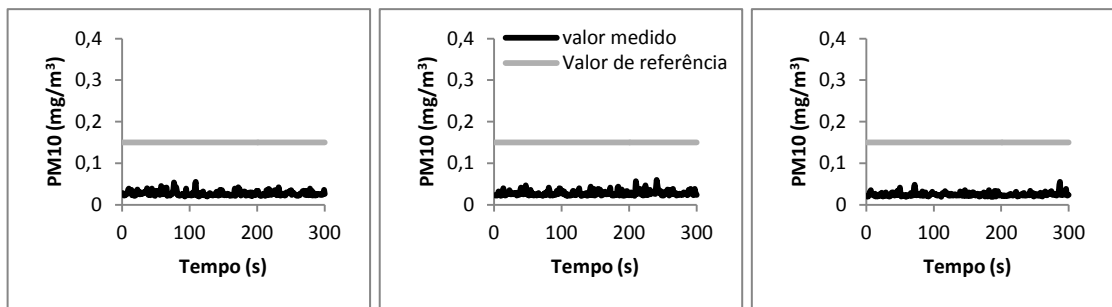


Figura 4.68 - Concentração de PM10 no Q2.1SO da Habitação 2.

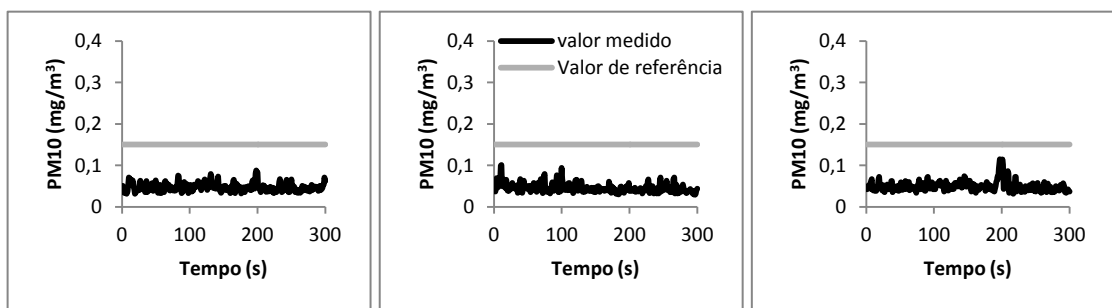


Figura 4.69 - Concentração de PM10 na Sala da Habitação 2.

4.3.3 Habitação 3

Na Habitação 3 a concentração de CO₂ é inferior ao valor máximo de referência definido na regulamentação, tal como mostra a Figura 4.70, a Figura 4.71, a Figura 4.72 e a Figura 4.73. Um dos motivos para as concentrações medidas poderá ser os processos de combustão do fogão e do esquentador, associado ao facto da Habitação 3 ser ventilada com pouca frequência. Os ensaios foram realizados no dia 23 de Julho de 2012.

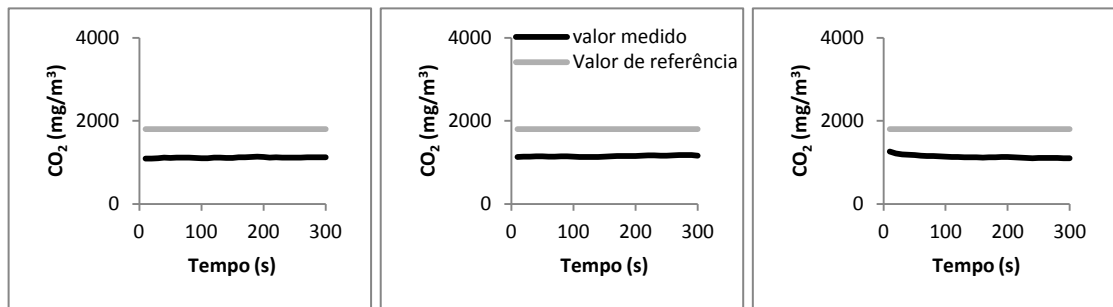


Figura 4.70 - Concentração de CO₂ na Cozinha da Habitação 3.

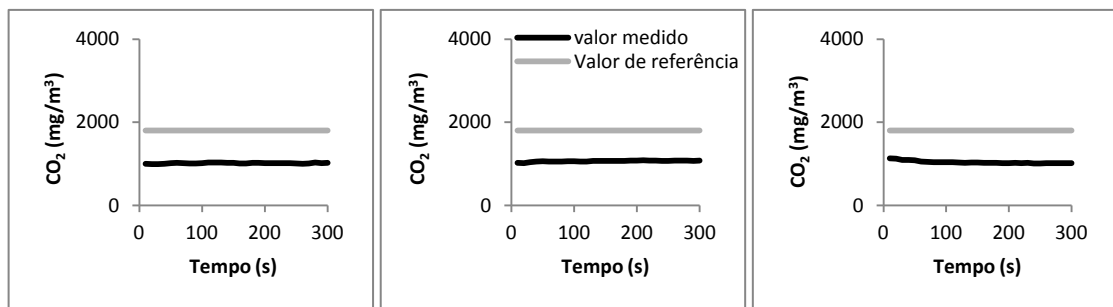


Figura 4.71 - Concentração de CO₂ no Q3.1E da Habitação 3.

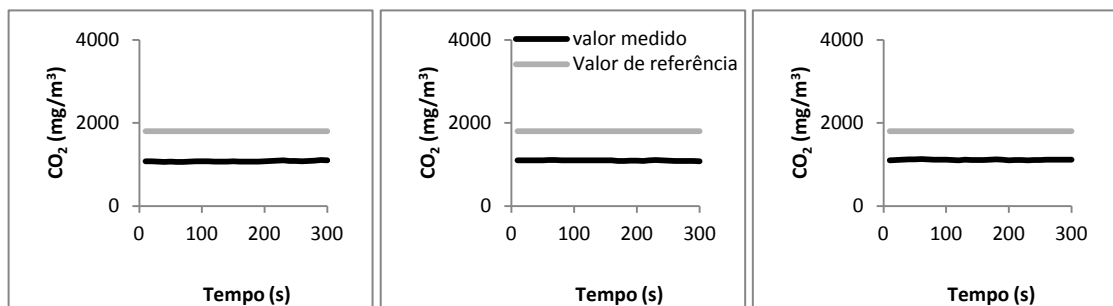


Figura 4.72 - Concentração de CO₂ no Q3.3E da Habitação 3.

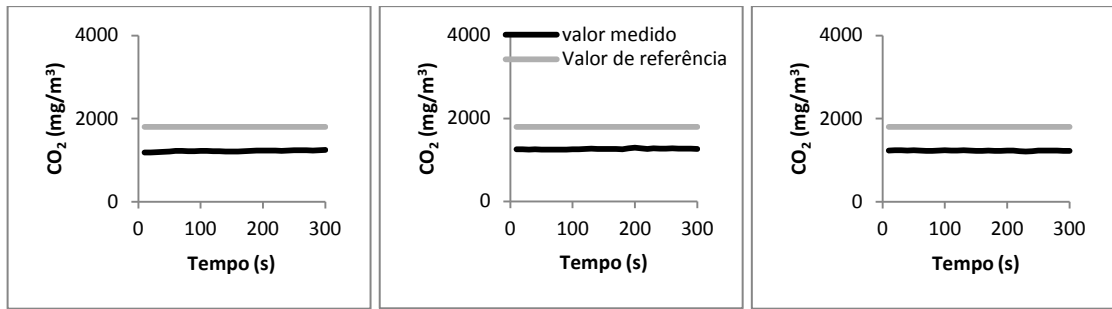


Figura 4.73 - Concentração de CO₂ na Sala da Habitação 3.

Tal como mostram os gráficos da Figura 4.74, da Figura 4.75, da Figura 4.76 e da Figura 4.77 as concentrações de monóxido de carbono são praticamente nulas em todos os compartimentos da Habitação 3.

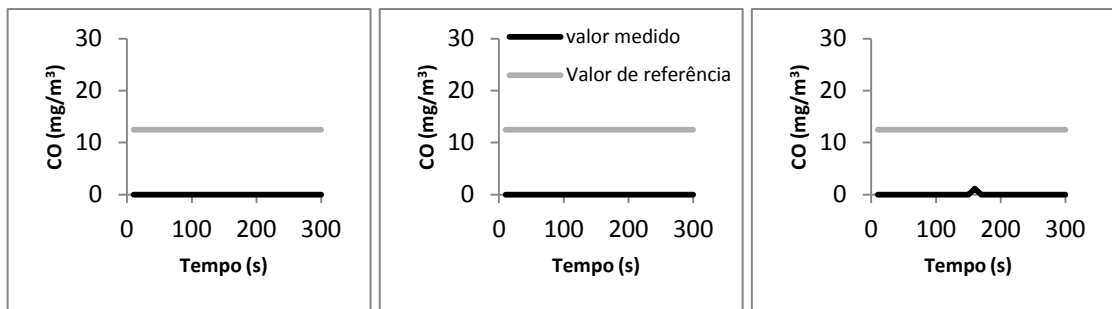


Figura 4.74 - Concentração de CO na Cozinha da Habitação 3.

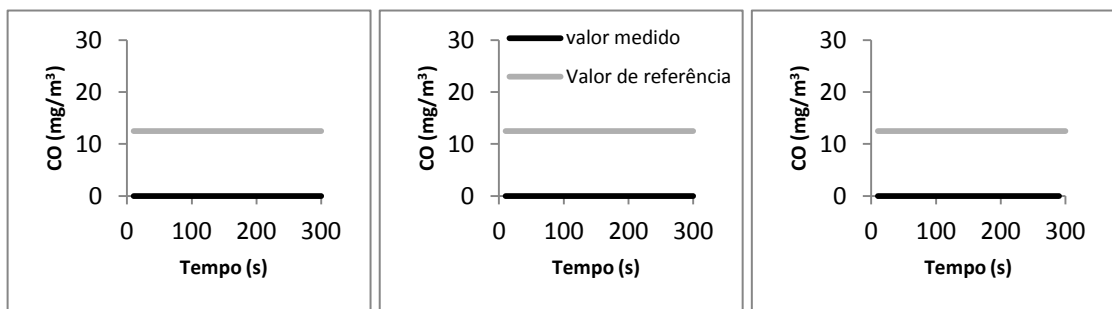


Figura 4.75 - Concentração de CO no Q3.1E da Habitação 3.

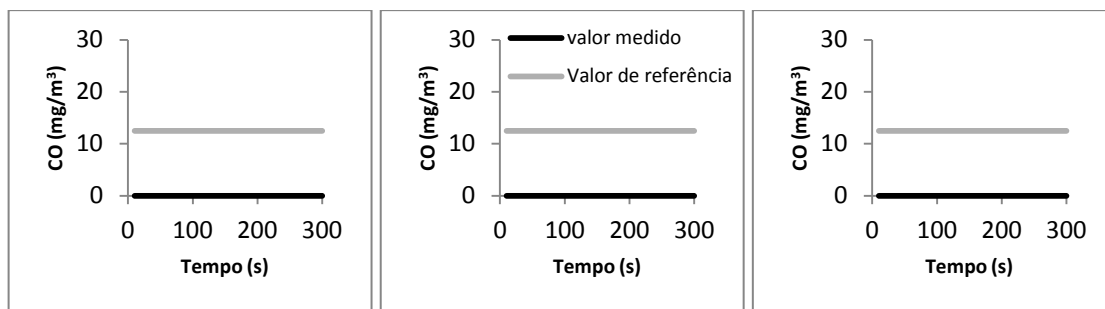


Figura 4.76 - Concentração de CO no Q3.3E da Habitação 3.

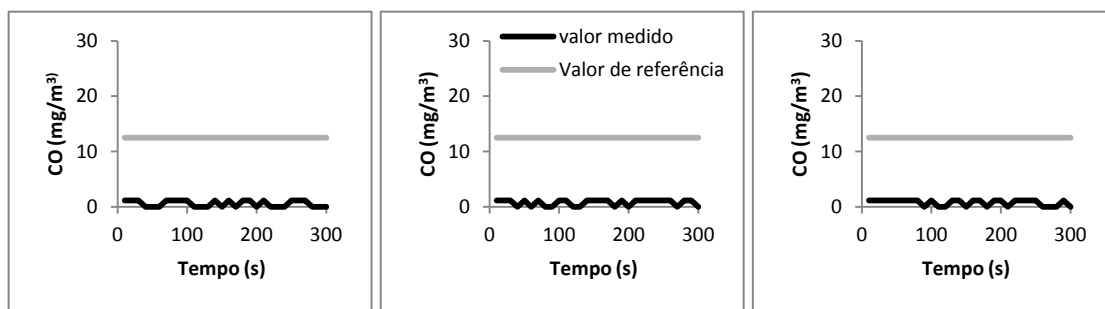


Figura 4.77 - Concentração de CO na Sala da Habitação 3.

A concentração de formaldeídos era mais baixa do que a concentração máxima recomendada (Figura 4.78, Figura 4.79 e Figura 4.80), apenas a Sala apresentou valores superiores aos valores máximos recomendados, possivelmente devido à presença de carpetes e a uma utilização recente de produtos de limpeza (Figura 4.81).

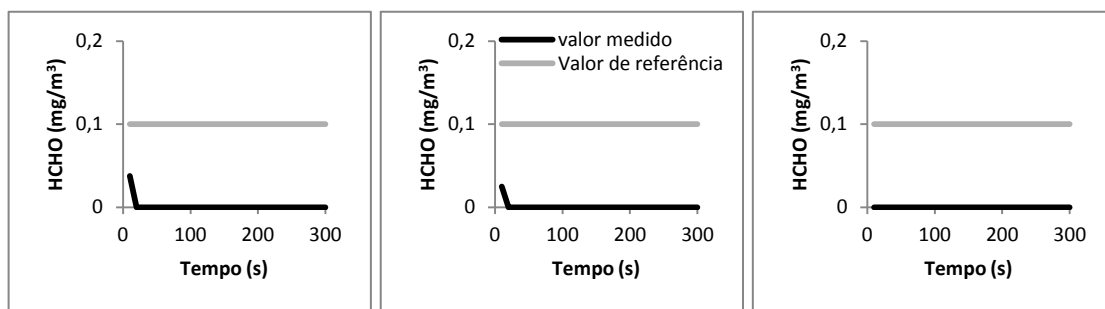


Figura 4.78 - Concentração de HCHO na Cozinha da Habitação 3.

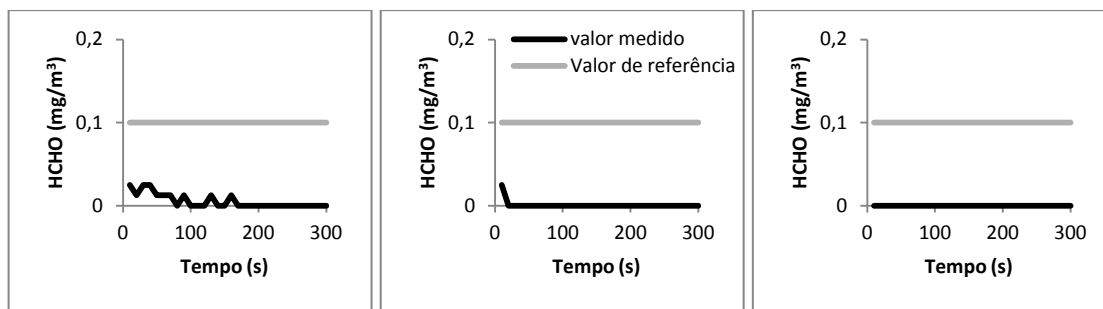


Figura 4.79 - Concentração de HCHO no Q3.1E da Habitação 3.

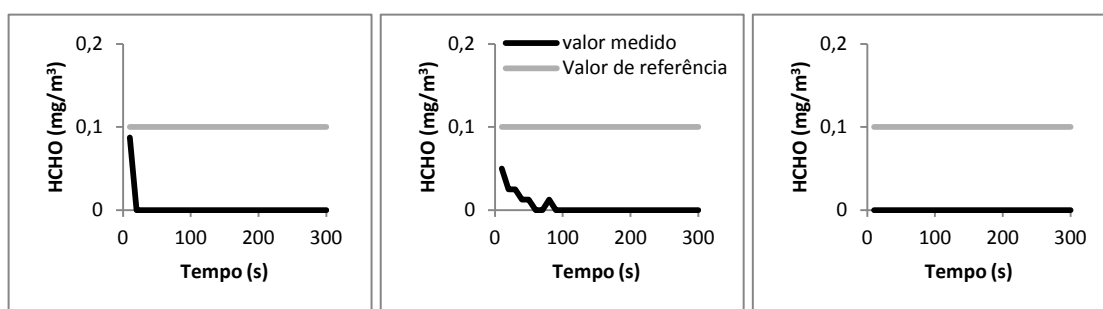


Figura 4.80 - Concentração de HCHO no Q3.3E da Habitação 3.

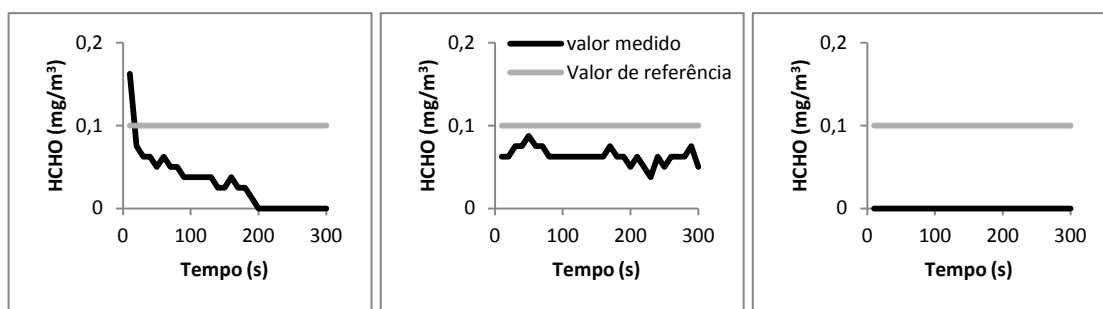


Figura 4.81 - Concentração de HCHO na Sala da Habitação 3.

Nesta habitação a concentração de ozono medida foi inferior ao valor de referência em todos os compartimentos (Figura 4.82, Figura 4.83, Figura 4.84 e Figura 4.85). O registo de concentrações idênticas em todos os compartimentos indica que a provável fonte de ozono seria o ar exterior.

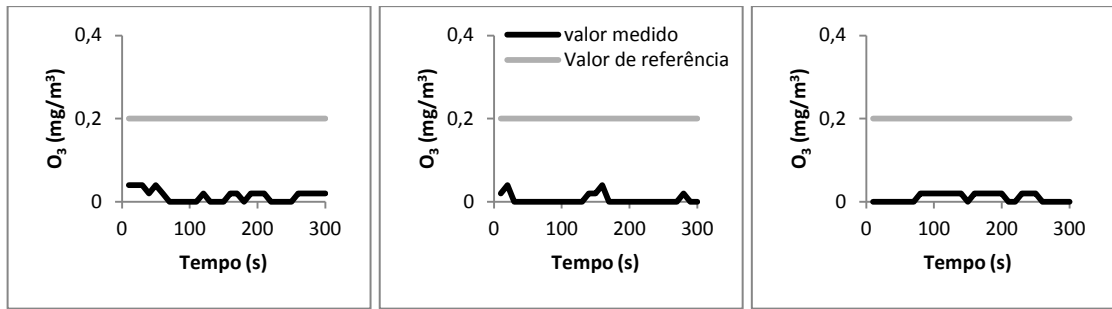


Figura 4.82 - Concentração de O₃ na Cozinha da Habitação 3.

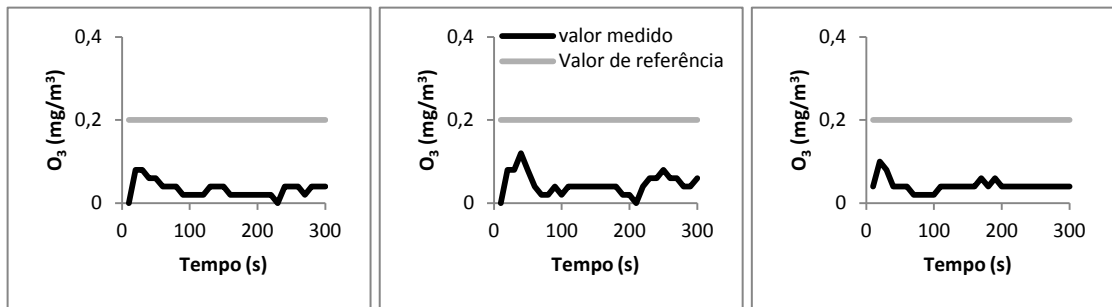


Figura 4.83 - Concentração de O₃ no Q3.1E da Habitação 3.

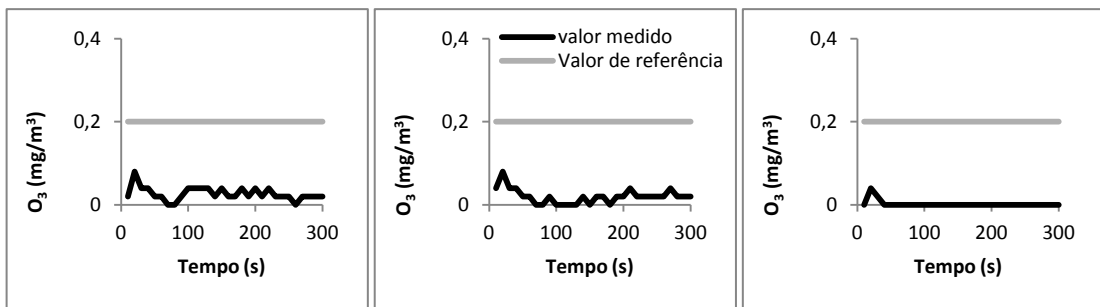


Figura 4.84 - Concentração de O₃ no Q3.3E da Habitação 3.

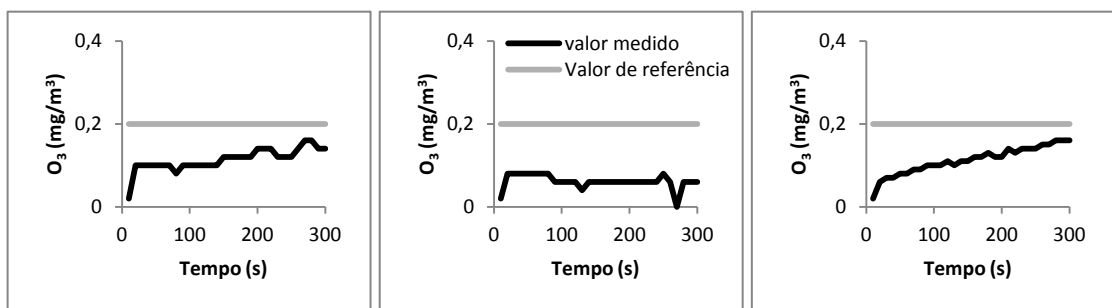


Figura 4.85 - Concentração de O₃ na Sala da Habitação 3.

As concentrações de partículas suspensas no ar medidas na Habitação 3 são apresentadas na Figura 4.86, na Figura 4.87, na Figura 4.88 e na Figura 4.89. A concentração de partículas respiráveis medidas na Habitação 3 têm, possivelmente, origem nos jardins e na zona de pinhal existentes na proximidade da habitação e no tráfego automóvel.

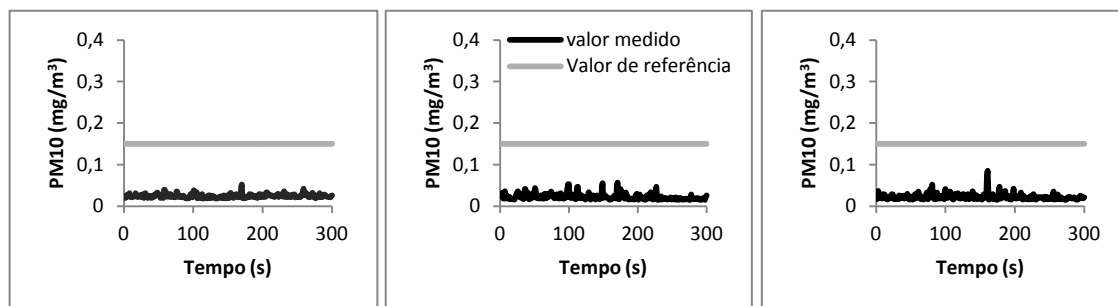


Figura 4.86 - Concentração de PM10 na Cozinha da Habitação 3.

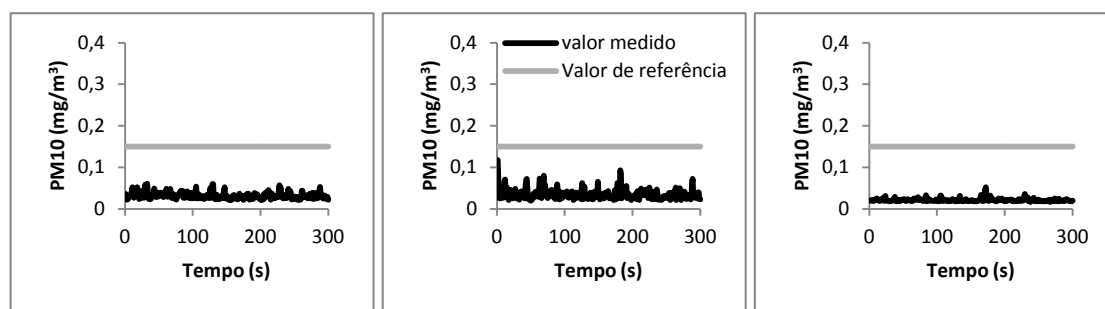


Figura 4.87 - Concentração de PM10 no Q3.1E da Habitação 3.

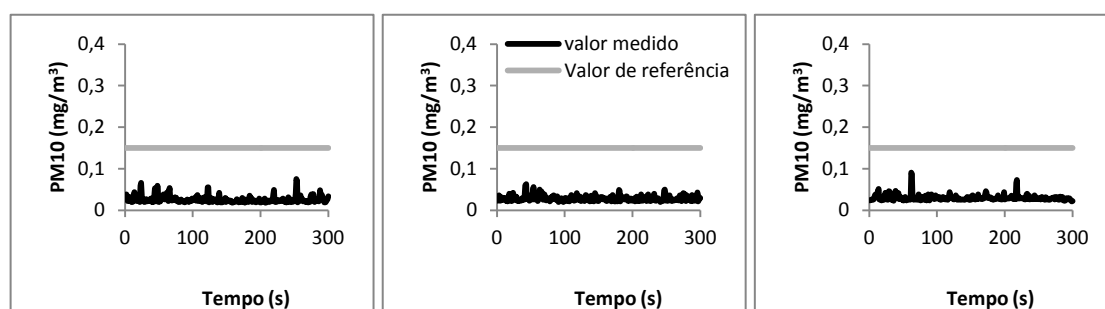


Figura 4.88 - Concentração de PM10 no Q3.3E da Habitação 3.

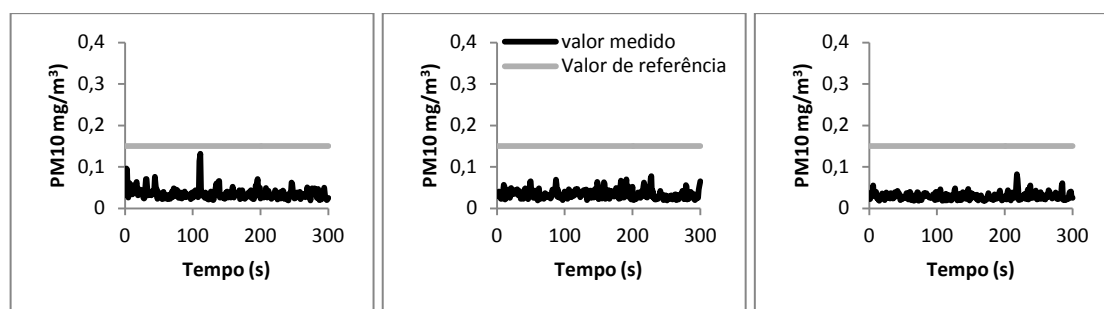


Figura 4.89 - Concentração de PM10 na Sala da Habitação 3.

4.4 Avaliação do Comportamento Lumínico

A avaliação do comportamento lumínico dos edifícios em estudo foi realizada por meio de medições *in situ* da iluminância exterior e interior em simultâneo, sendo possível determinar o Fator Luz Dia.

Os critérios de desempenho lumínico estão definidos no Capítulo 2, secção 2.3.

4.4.1 Habitação 1

A Habitação 1 pertence a um edifício multifamiliar com duas frentes, sendo a fachada principal orientada a Norte. As medições foram realizadas na sala comum e em dois quartos (Q1.1N e Q1.1E). Como já foi referenciado o Q1.1E não recebe radiação solar direta devido a uma árvore de grande porte e folha perene e a um edifício vizinho. As medições foram realizadas no dia 10 de Julho de 2012, com o céu ligeiramente encoberto.

A Tabela 4.17 apresenta o valor da iluminância média, medida nos ensaios na face exterior e centro geométrico do vão envidraçado dos diferentes compartimentos analisados e no interior.

Tabela 4.17 - Iluminância exteriores e interiores médias da Habitação 1.

Compartimento	Iluminância exterior média $E_{ext.}$ (lx)	Iluminância interior média com o sistema de sombreamento desativo $E_{int.}$ (lx)	Iluminância interior média com 70% do sistema de sombreamento ativo $E_{int 70\%}$ (lx)
Sala	3855	143	17
Q1.1N	5244	344	83
Q1.1E	2235	74	14

Como se pode verificar a iluminância medida no interior é, como seria de esperar, superior quando o sistema de sombreamento não está ativo. A iluminância interior medida com o

sistema de sombreamento 70% ativo apresentava uma gama de valores muito baixa, estando muito abaixo do recomendado (100 a 200 lx para a Sala e 300 lx para os quartos). Os valores medidos com o sistema de sombreamento desativo já se aproximam mais de valores recomendados, o Q1.1N chega mesmo a cumprir os valores recomendados (300 lx).

4.4.1.1 Representação Gráfica do Fator Luz Dia para os compartimentos estudados

Os níveis de iluminância no interior dos compartimentos foram medidos numa malha quadriculada com 0,50 m de espaçamento, a 0,80 m do pavimento (plano de trabalho), tal como está representado na Figura 4.90.

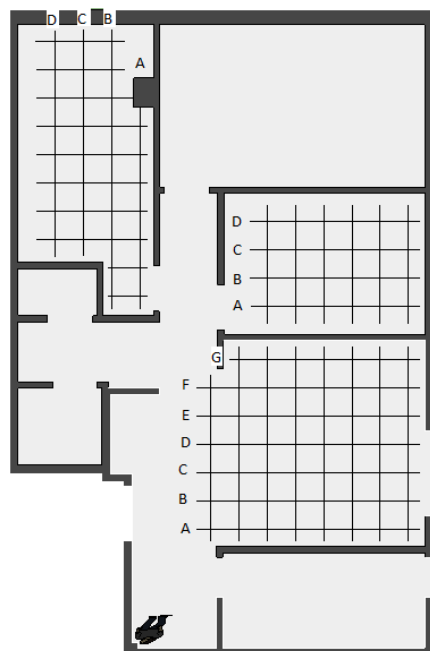


Figura 4.90 - Localização dos pontos de medição nos compartimentos avaliados na Habitação 1.

Os Fatores Luz Dia (FLD) obtidos na Cozinha da Habitação 1, são apresentados na Figura 4.91 e Figura 4.92.

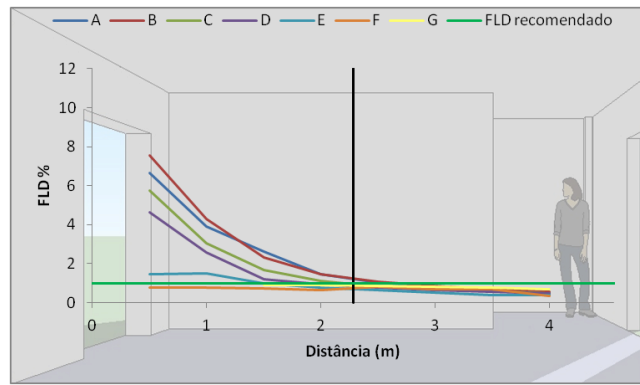


Figura 4.91 - FLD obtidos na Sala com janela orientada a N sem o sistema de sombreamento ativo.

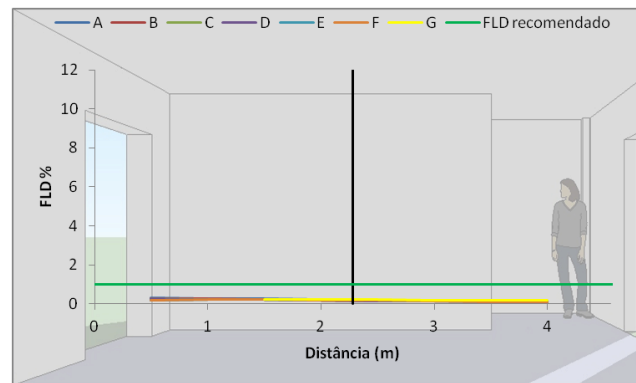


Figura 4.92 - FLD obtidos na Sala com janela orientada a N com o sistema de sombreamento 70% ativo.

O FLD medido com o sistema de sombreamento desativado apresenta valores muito próximos dos valores recomendados para 1/2 da profundidade da Cozinha (2% a 1/2 da profundidade), contudo as linhas E, F e G apresentavam valores inferiores. Estes valores devem-se ao posicionamento do envidraçado, valores obtidos nas "linhas" mais distantes da porta envidraçada, apresentando uma gama de valores de iluminância e FLD inferior. Estes valores devem causar uma certa preocupação e deveria ser ponderada uma mudança da posição da mesa (local normalmente utilizado para trabalhar longos períodos de tempo), uma vez que a mesa se encontrava posicionada onde foram medidos os valores de FLD mais baixos. Com esta ação os ocupantes ganhariam um ambiente mais confortável.

Relativamente aos FLD medidos com o sistema de sombreamento 70% ativo, apresentam valores inferiores ao recomendado (2%).

Os valores de FLD do Q1.1N estão apresentados na Figura 4.93 e na Figura 4.94.

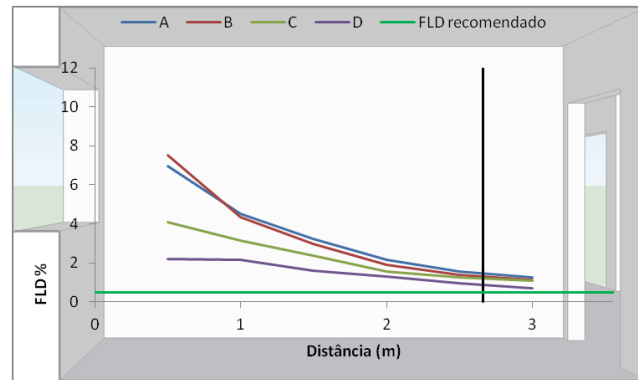


Figura 4.93 - FLD obtidos no Q1.1N com janela orientada a N sem o sistema de sombreamento ativo.

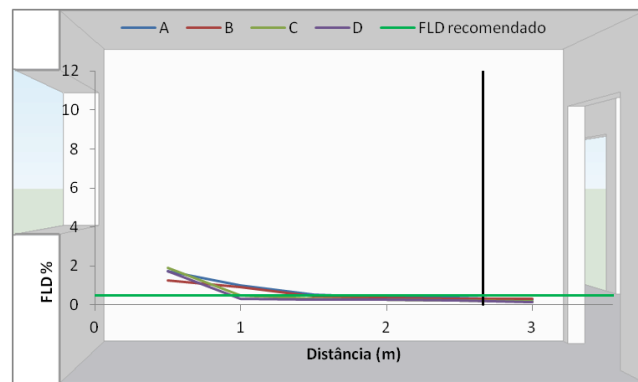


Figura 4.94 - FLD obtidos no Q1.1N com janela orientada a N com o sistema de sombreamento 70% ativo.

Como era esperado os valores de FLD diminuem com a profundidade do compartimento. Comparando os valores com os recomendados conclui-se que estes são bastante superiores ao recomendado (FLD = 0,5 a 3/4 da profundidade), quando o sistema de sombreamento não está ativo. Quando o sistema estava 70% ativo verificou-se que os valores recomendados não foram atingidos.

Na Figura 4.95 e na Figura 4.96 estão apresentados os valores FDL medidos no Q1.1E.

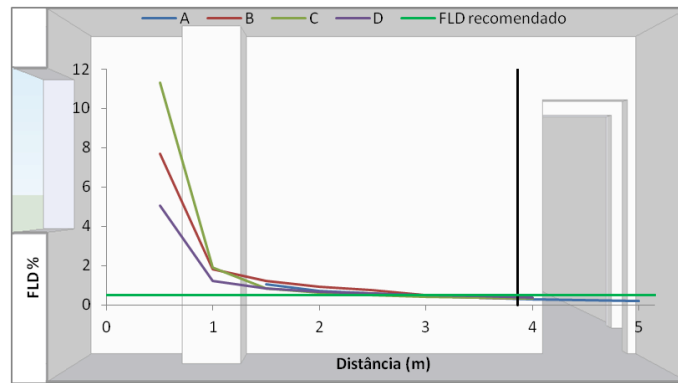


Figura 4.95 - FLD obtidos no Q1.1E com janela orientada a E e com o sistema de sombreamento 70% ativo.

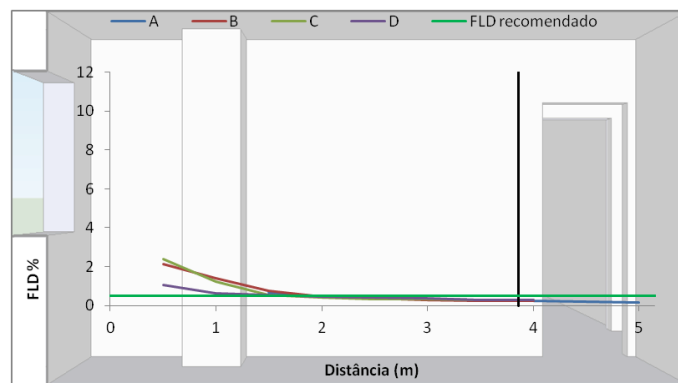


Figura 4.96 - FLD obtidos no Q1.1E com janela orientada a E com o sistema de sombreamento 70% ativo.

Comparando os valores medidos com os valores de FLD recomendados (0,5% a 3/4 da profundidade) conclui-se que estes são inferiores ao recomendado, tanto sem o sistema de sombreamento ativo como com 70% ativo. Estes valores eram de esperar, já que este compartimento não recebe radiação solar direta, consequência da presença de uma árvore e de um edifício vizinho.

4.4.2 Habitação 2

A Habitação 2 é de tipologia T3 e localiza-se no 5º andar de um edifício multifamiliar, tendo duas fachadas (NE e SO). Foram realizadas medições na cozinha, sala e em dois dos três quartos. Em nenhum(a) das orientações/compartimentos existe qualquer obstrução da luz natural. As medições foram realizadas no dia 16 de Julho de 2012, com o céu limpo.

A Tabela 4.18 apresenta o valor da iluminância média, medida nos ensaios na face exterior e centro geométrico do vão envidraçado dos diferentes compartimentos analisados na Habitação 2.

Tabela 4.18 - Iluminância exteriores e interiores médias da Habitação 2.

Compartimento	Iluminância exterior média $E_{ext.} (lx)$	Iluminância interior média com o sistema de sombreamento desativo $E_{int.} (lx)$	Iluminância interior média com 70% do sistema de sombreamento ativo $E_{int\ 70\%} (lx)$
Cozinha	5055	154	96
Sala	21876	1647	444
Q2.1NE	10903	332	40
Q2.1SO	58098	970	393

Como seria de esperar a iluminância medida com o sistema de sombreamento ativo é inferior à medida com o sistema de sombreamento não ativado.

O compartimento onde se verifica uma maior discrepância entre os valores é no Q2.1NE, nesse compartimento os valores medidos sem o sistema de sombreamento são muito superiores, cerca de 8 vezes, aos valores medidos com o sistema de sombreamento ativo. Devido à grande área de envidraçados e por não possuir obstáculos exteriores a Habitação 2, apresentava valores de iluminância superiores ao recomendado. Somente o Q2.1NE e Cozinha é que apresentavam valores abaixo do recomendado, mas apenas com o sistema de sombreamento ativo. Estes valores mais baixos deveram-se à orientação e hora de medição (das 15h às 18h), uma vez que durante as medições a posição do sol era contrária à orientação destes dois compartimentos. Isto reflete-se nos resultados obtidos, que como se pode ver na Tabela 4.18, os valores medidos na orientação SO (Q2.1SO e Sala) são superiores aos registados na orientação NE (Q2.1NE e Cozinha).

4.4.2.1 Representação Gráfica do Fator Luz Dia para os compartimentos estudados

Os níveis de iluminância no interior da Habitação 2 foram medidos numa malha quadriculada com 1 m de espaçamento, a 0,80 m do pavimento (plano de trabalho), tal como está representado na Figura 4.97.

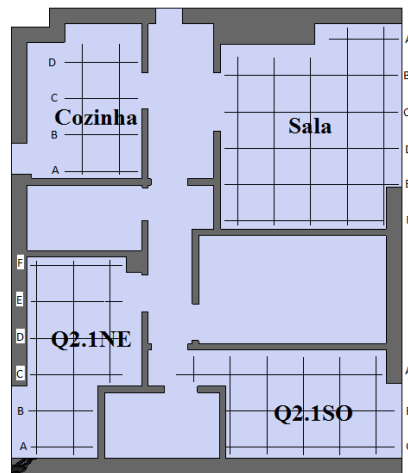


Figura 4.97 - Localização dos pontos de medição nos compartimentos avaliados na Habitação 2.

Os valores obtidos de FLD na Cozinha da Habitação 2 estão apresentados na Figura 4.98 e Figura 4.99.

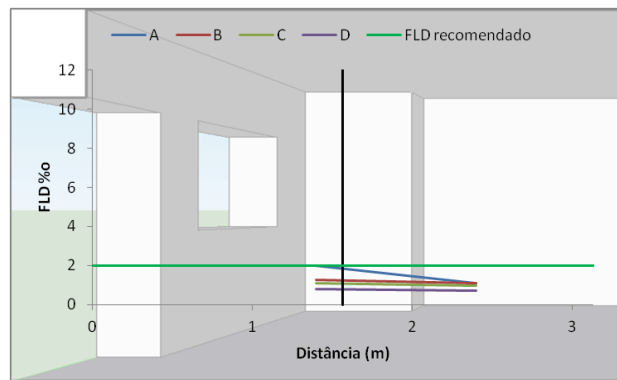


Figura 4.98 - FLD obtidos na Cozinha com janela orientada a NE sem o sistema de sombreamento ativo.

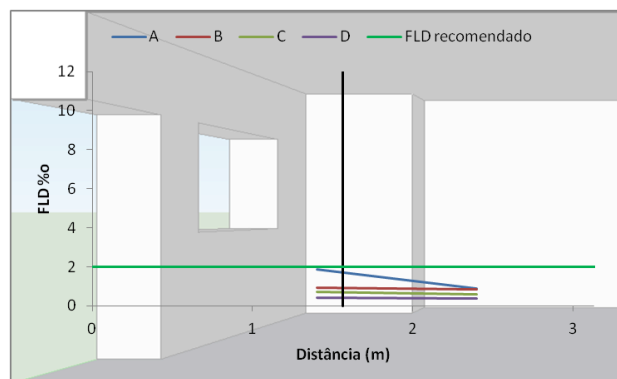


Figura 4.99 - FLD obtidos na Cozinha com janela orientada a NE com o sistema de sombreamento 70% ativo.

Como se pode verificar o FLD é inferior ao recomendado (2% a 1/2 da profundidade), nas duas situações (com ou sem sistema de sombreamento ativo). Contudo os valores medidos não são muito diferentes, este facto deveu-se à porta envidraçada que não tinha qualquer tipo de sistema de sombreamento. Os valores inferiores aos recomendados deveram-se para além da orientação da cozinha, à marquise no exterior que reduz o acesso da Cozinha ao exterior.

Na Figura 4.100 e Figura 4.101 estão apresentados os valores de FLD medidos na Sala da Habitação 2.

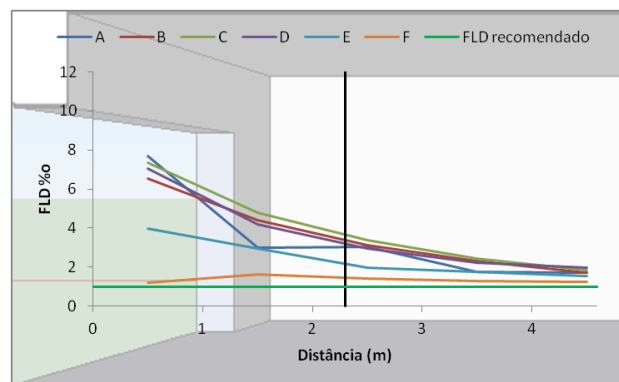


Figura 4.100 - FLD obtidos na Sala com janela orientada a SO sem o sistema de sombreamento ativo.

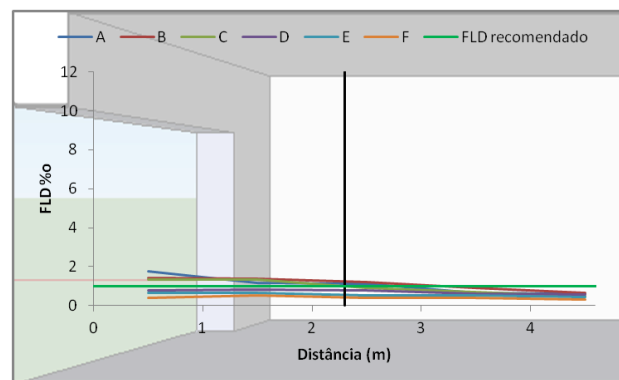


Figura 4.101 - FLD obtidos na Sala com janela orientada a SO com o sistema de sombreamento 70% ativo.

Os valores de FLD obtidos na Sala satisfazem os valores recomendados (1% a 1/2 da profundidade), surgindo apenas duas "linhas" (E e F) com valores inferiores, mas somente na medição com o sistema de sombreamento 70% ativo. A localização do envidraçado foi a

responsável destes valores, já que as E e F se localizavam na zona em que a fachada era opaca.

Na Figura 4.102 e Figura 4.103 estão apresentados os valores de FLD medidos no Q2.1SO da Habitação 2.

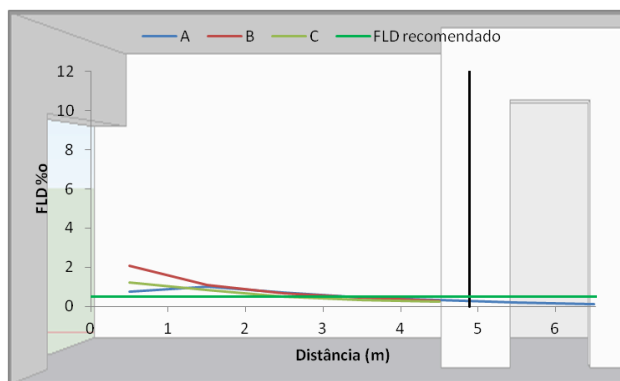


Figura 4.102 - FLD obtidos no Q2.1SO com janela orientada a SO sem o sistema de sombreamento ativo.

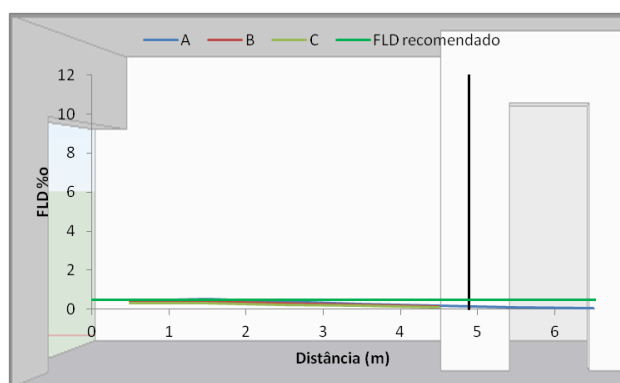


Figura 4.103 - FLD obtidos no Q2.1SO com janela orientada a SO com o sistema de sombreamento 70% ativo.

No Q2.1SO os FLD obtidos foram inferiores ao recomendado (0,5% a 3/4 de profundidade), nos dois casos de análise (com ou sem sistema de sombreamento ativo). Isto deveu-se à elevada profundidade do compartimento e a existência de uma pala vertical (usada como sistema de sombreamento).

Na Figura 4.104 e Figura 4.105 estão apresentados os valores de FLD medidos no Q2.1NE da Habitação 2.

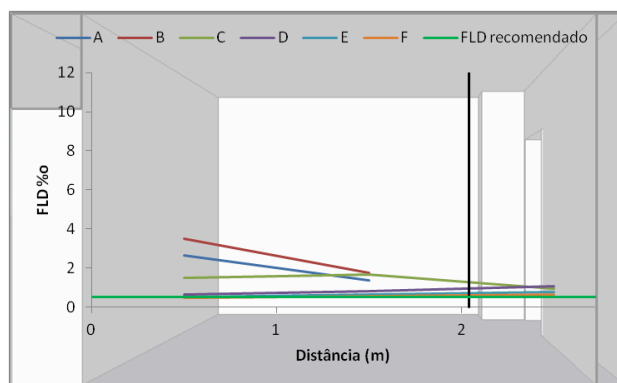


Figura 4.104 - FLD obtidos no Q2.1NE com janela orientada a NE sem o sistema de sombreamento ativo.

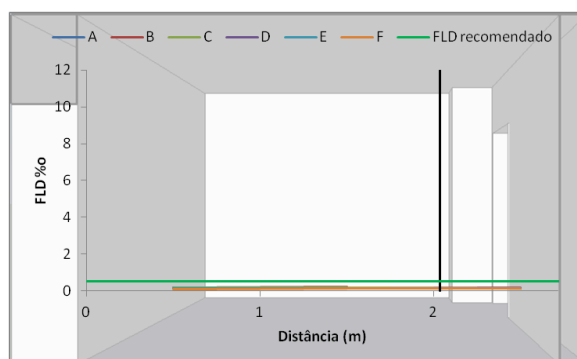


Figura 4.105 - FLD obtidos no Q2.1NE com janela orientada a NE com o sistema de sombreamento 70% ativo.

Como se pode verificar através da análise da Figura 4.104 os valores do FLD são superiores aos valores recomendados (0,5% a 3/4 da profundidade), medição com o sistema de sombreamento não ativo. Quando o sistema de sombreamento foi ativado a 70% os valores de FLD caíram e foram inferiores aos recomendados como se pode verificar na Figura 4.105.

4.4.3 Habitação 3

A Habitação 3 é de tipologia T3, localiza-se no 4º andar de um edifício multifamiliar que não possui obstáculos exteriores significativos que impeçam a entrada da iluminação natural, excepto as varandas. As janelas são de correr em alumínio, com corte térmico, vidro duplo incolor, com persianas de plástico cor branca e cortinas opacas de cor clara. A fachada principal (orientação da Sala e Cozinha) é Oeste.

As medições foram realizadas no dia 23 de Julho de 2012, com o céu limpo.

A iluminância média medida nos diferentes compartimentos estudados da Habitação 3, está representada na Tabela 4.19.

Tabela 4.19 - Iluminância exteriores e interiores médias da Habitação 3.

Compartimento	Iluminância exterior média $E_{ext.}$ (lx)	Iluminância interior média com o sistema de sombreamento desativo $E_{int.}$ (lx)	Iluminância interior média com 70% do sistema de sombreamento ativo $E_{int\ 70\%}$ (lx)
Cozinha	7932	210	72
Sala	5735	64	10
Q3.1E	9787	184	51
Q3.3E	10193	131	28

A iluminância interior registada só atinge os valores recomendados na Cozinha e apenas quando o sistema de sombreamento não está ativo. Nos restantes casos os valores de iluminância são inferiores aos recomendados, isto deve-se à presença de cortinas opacas de cor clara. Os ocupantes com a troca das cortinas, colocando cortinas transparentes, ou a sua abertura criariam um ambiente lumínico mais confortável.

4.4.3.1 Representação Gráfica do Fator Luz Dia para os compartimentos estudados

Os níveis de iluminância no interior da Habitação 3 foram medidos numa malha quadriculada com 1 m de espaçamento, a 0,80 m do pavimento (plano de trabalho), tal como está representado na Figura 4.106.

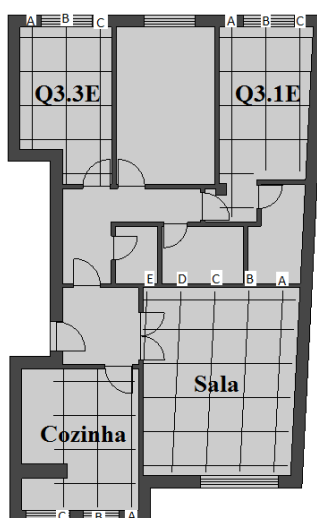


Figura 4.106 - Localização dos pontos de medição nos compartimentos avaliados na Habitação 3.

Os valores de FLD verificados na Cozinha da Habitação 3 estão apresentados na Figura 4.107 e na Figura 4.108.

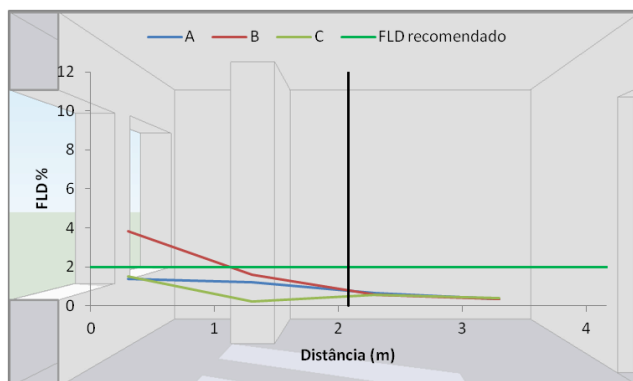


Figura 4.107 - FLD obtidos na Cozinha com janela orientada a O sem o sistema de sombreamento ativo.

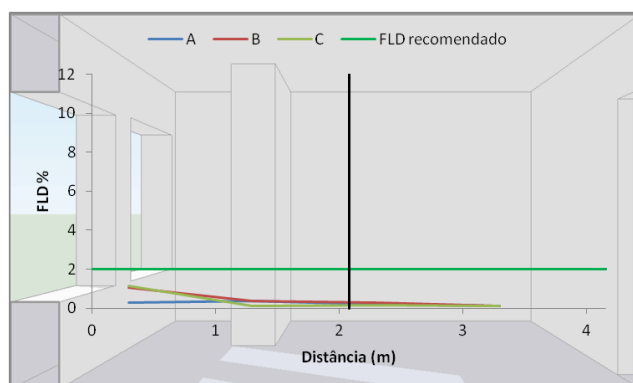


Figura 4.108 - FLD obtidos na Cozinha com janela orientada a O com o sistema de sombreamento 70% ativo.

Na Cozinha da Habitação 3 o valor de FLD é inferior ao recomendado para este compartimento (2% a 1/2 da profundidade), principalmente quando o sistema de sombreamento está 70% ativo.

Na Figura 4.109 e na Figura 4.110 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios realizados na Sala da Habitação 3, orientada a Oeste, em condições de iluminação natural.

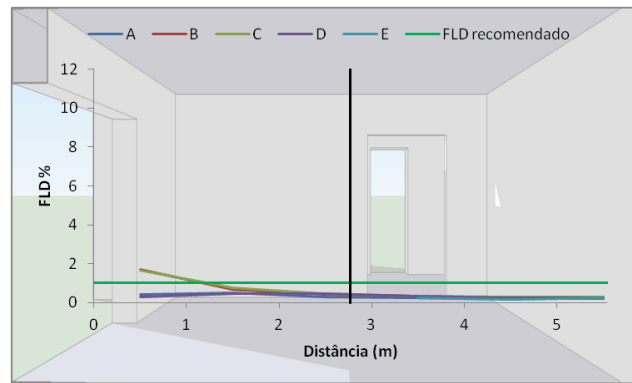


Figura 4.109 - FLD obtidos na Sala com janela orientada a O sem o sistema de sombreamento ativo.

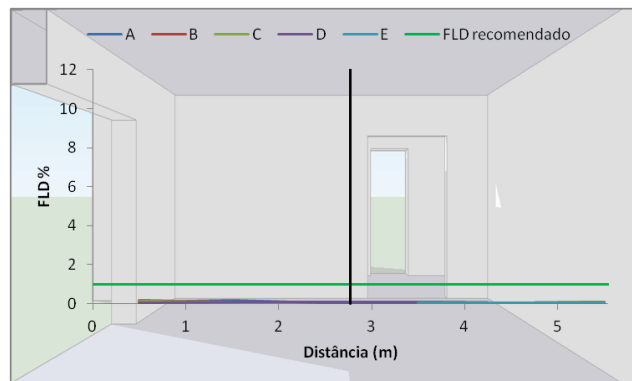


Figura 4.110 - FLD obtidos na Sala com envidraçado orientado a O com o sistema de sombreamento 70% ativo.

Da análise da Figura 4.109 e da Figura 4.110 verifica-se que os maiores valores de FLD estão localizados na zona mais próxima do envidraçado, a porta de acesso à varanda. Os valores medidos são inferiores aos recomendados. Estes valores de FLD baixos devem-se, possivelmente, ao facto de as medições terem sido realizadas com as cortinas fechadas uma vez que estas são as condições de utilização do compartimento.

Na Figura 4.111 e Figura 4.112 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios realizados no Q3.1E da Habitação 3, orientada a Este, em condições de iluminação natural, para o FLD.

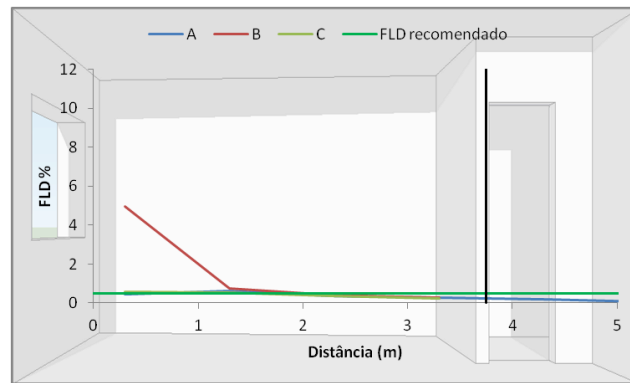


Figura 4.111 - FLD obtidos no Q3.1E com janela orientada a E sem o sistema de sombreamento ativo.

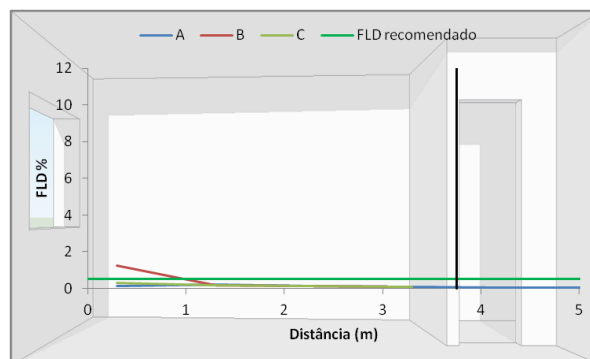


Figura 4.112 - FLD obtidos no Q3.1E com janela orientada a E com o sistema de sombreamento 70% ativo.

Da análise da Figura 4.111 e da Figura 4.112 verifica-se que os maiores valores de FLD estão localizados na zona mais próxima de dois envidraçados. Os valores medidos são inferiores aos recomendados a 3/4 de profundidade.

Na Figura 4.113 e na Figura 4.114 estão apresentados os valores de FLD medidos no Q3.3E da Habitação 3.

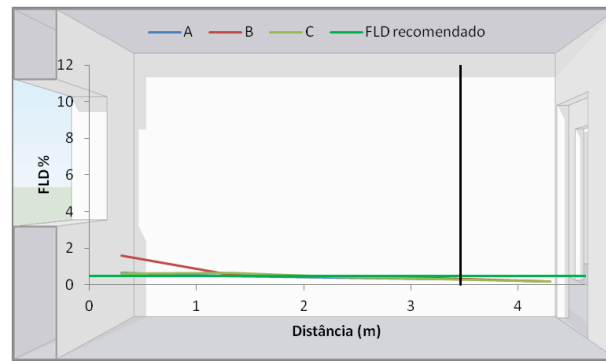


Figura 4.113 - FLD obtidos no Q3.3E com janela orientada a E sem o sistema de sombreamento ativo.

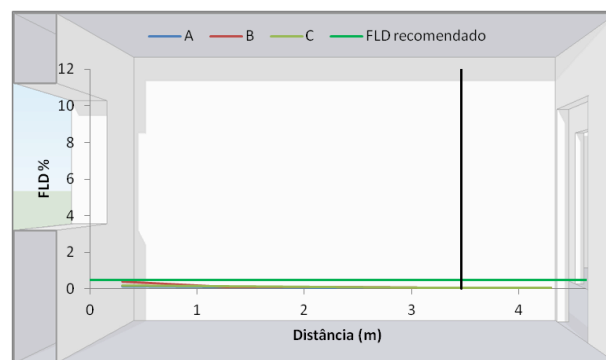


Figura 4.114 - FLD obtidos no Q3.3E com janela orientada a E com o sistema de sombreamento 70% ativo.

Comparando os valores medidos com os valores de FLD recomendados conclui-se que estes são inferiores ao recomendado (0,5% a 3/4 da profundidade) nas duas situações (com ou sem o sistema de sombreamento). Estes valores de FLD baixos devem-se ao facto de as medições terem sido realizadas com as cortinas fechadas uma vez que estas são as condições de utilização do compartimento.

4.5 Avaliação Subjetiva da Qualidade do Ambiente Interior dos Edifícios

Juntamente com a avaliação dos parâmetros físicos que influenciam a Qualidade do Ambiente Interior (conforto térmico, acústico, visual e a qualidade do ar interior), foi também administrado um inquérito, apresentado no Anexo II, para avaliar a perceção dos ocupantes em relação ao ambiente em que estavam inseridos. O inquérito foi realizado em conformidade com a EN ISO 7730:2005, EN 15251:2007 e ASHRAE 55 :2010.

O inquérito contém questões relativas às roupas que o inquirido tem vestidas e ao tipo de atividades que desenvolve, à existência de algum sintoma de doença (tosse, espirros, dores de cabeça, etc.) à sensação de conforto (térmico, acústico e visual) e à qualidade do ar interior e à importância dada a cada um destes fatores para a sensação de conforto.

Assim, foi realizado em paralelo com a avaliação da qualidade do ambiente interior, com base nos ensaios *in situ*, foram analisados os inquéritos.

Habitação 1

No que diz respeito à avaliação do estado de conforto térmico por parte dos três ocupantes consideravam o ambiente ligeiramente quente, sentindo a necessidade de baixar ligeiramente a temperatura. Esta avaliação difere um pouco dos resultados obtidos na análise objetiva, demonstrando o carácter subjetivo adjacente a este parâmetro.

Em relação ao ambiente acústico, os ocupantes consideravam-se ligeiramente desconfortáveis, queixando-se de ruídos incomodativos provenientes do exterior, o que está de acordo com os resultados obtidos na avaliação objetiva.

Quanto ao conforto lumínico, o espaço foi classificado como iluminação satisfatória, facto que os resultados da avaliação objetiva confirmaram.

A qualidade do ar interior foi classificada como satisfatória e não foi apontado qualquer problema, apesar dos resultados das medições *in situ* mostrarem que as concentrações de ozono eram muito elevadas.

Habitação 2

Os ocupantes consideraram, de uma forma geral, que o ambiente térmico se encontrava quente, o que estava de acordo com parte da análise objetiva realizada (PMV e PPD). Contudo difere do modelo adaptativo, adaptado à realidade portuguesa.

Em relação ao ambiente acústico, lumínico e qualidade do ar interior, os ocupantes indicaram que se sentiam confortáveis. Estes resultados são coerentes com as avaliações objetivas.

A qualidade do ar interior foi classificada como satisfatória, contudo as medições *in situ* detetaram concentrações altas de formaldeídos.

Habitação 3

No que diz respeito à avaliação do estado de conforto térmico por parte dos ocupantes, estes sentiam-se confortáveis, não sentindo necessidade de haver qualquer alteração do ambiente térmico, que estava de acordo com a análise objetiva realizada.

Os ocupantes avaliaram as condições lumínicas e a qualidade do ar interior como confortáveis, apesar de os resultados das medições das condições *in situ* mostrarem que os níveis de iluminação não eram suficientes e que as concentrações de formaldeídos eram elevadas.

Peso de cada parâmetro da Qualidade do Ambiente Interior

De acordo com as respostas (8) da análise qualitativa efetuada, onde foi solicitado a classificação da importância dos diferentes parâmetros aos ocupantes, obtiveram os resultados na Figura 4.115, onde se verifica que o conforto térmico e a qualidade do ar são os mais valorizados, contudo a diferença verificada é muito reduzida, podendo-se assim afirmar que os ocupantes valorizavam de igual forma todos os parâmetros que caracterizam a qualidade do ambiente interior.

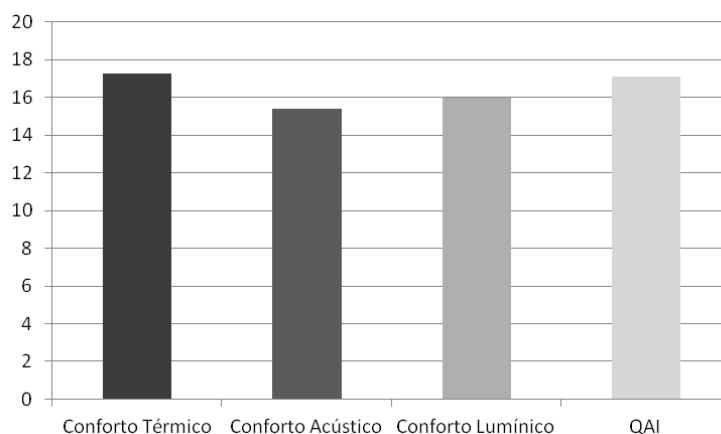


Figura 4.115 - Peso atribuído aos parâmetros da qualidade do ambiente interior pelos ocupantes das diversas habitações estudadas.

5 CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta as conclusões do trabalho realizado, como forma de síntese dos resultados obtidos.

O principal objetivo deste estudo foi identificar os principais fatores que afetam os parâmetros que caracterizam a Qualidade do Ambiente Interior dos edifícios. Para alcançar este objetivo foi avaliado o comportamento dos edifícios, através da administração de inquéritos aos ocupantes e da realização de ensaios *in situ* em três habitações. Nos ensaios foram considerados os quatro principais fatores que influenciam a Qualidade do Ambiente Interior, as condições de conforto térmico, acústico e lumínico e a qualidade do ar interior.

O conforto térmico foi caracterizado através da medição da temperatura ambiente e da temperatura do bolbo negro (para determinação da Temperatura média de radiação), da humidade relativa e da velocidade do ar, considerando ainda a atividade metabólica e a resistência térmica da roupa dos ocupantes.

Do estudo realizado verificou-se que os ocupantes se encontravam numa situação de sensação térmica neutra, sendo as medições realizadas no Verão. Apenas numa habitação os ocupantes se encontravam numa situação de sensação térmica ligeiramente quente, com temperaturas resultantes superiores a 27 °C. Estes valores podem ser reflexo de uma elevada área de envidraçado e dos sistemas de sombreamento adotados (estore interior de tela) existentes na habitação.

Contudo segundo o método de conforto térmico adaptativo, baseado na ASHRAE 55:2010 desenvolvido para o parque habitacional Português verificou-se que os ocupantes de encontravam numa situação de sensação térmica neutra.

A gama de valores de humidade relativa registada, em geral, variava entre os 40% a 60%, não apresentando risco para a saúde.

O conforto acústico também foi caracterizado, sendo medido o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A no interior das habitações estudadas, verificando-se que os níveis sonoros no interior dos edifícios estavam, quase todos eles, dentro dos valores recomendados.

Os valores recomendados só foram superados num dos quartos sendo o valor registado cerca de 45 dB, mais de 10 dB acima do valor recomendado, estes valores são devidos ao nível sonoro exterior e ao mau isolamento conferido pelos envidraçados (vidro simples, com caixilharia sem corte térmico).

Na avaliação do isolamento sonoro a sons de condução aérea das paredes exteriores de uma habitação, verificou-se que os requisitos regulamentares eram cumpridos, apresentando valores 12 dB acima do recomendado.

Relativamente à qualidade do ar interior verificou-se, em geral, que as concentrações de poluentes eram inferiores aos valores regulamentares, no entanto, em alguns compartimentos foram detetadas concentrações de ozono e formaldeído superiores aos valores regulamentares. Estes valores estão associados à poluição exterior e ao fumo do tabaco. É assim necessário evitar que os ocupantes fumem no interior das habitações, bem como melhorar a ventilação dos espaços, através da abertura de janelas, ou introdução de aberturas autorreguláveis nas fachadas, podendo ainda optar-se por um sistema de ventilação mecânico com recuperação de calor.

Para caracterização e avaliação das condições de iluminação natural, foi medido o nível de iluminância e o Fator de Luz Dia, tendo-se verificado que a existência de marquises entre a cozinha e o exterior conduz a más condições de iluminação no interior do compartimento. A colocação de cortinas opacas também faz com que os valores do Fator de Luz Dia sejam reduzidos, sendo então aconselhável a sua substituição por umas com maior transparência.

Pode-se então afirmar que os fatores que se revelaram mais condicionantes do conforto térmico são a temperatura exterior, aquando as medições e nos sete dias anteriores, e a existência de grandes áreas de envidraçados. Os envidraçados escolhidos revelaram-se também muito importantes para o conforto acústico, sendo que a aplicação de envidraçados com caixilharia sem corte térmico e vidro simples pode conduzir a níveis sonoros elevados no interior das habitações, por outro lado envidraçados com caixilharia dupla com corte térmico e vidro duplo apresentou um bom comportamento acústico. Na qualidade do ar interior os fatores que revelaram ter uma maior influência foram a qualidade do ar exterior, os hábitos dos ocupantes, a existência de equipamentos e a presença de materiais têxteis. Verificou-se também que os principais fatores que influenciam o Fator de Luz Dia são: a área do

envidraçado, a profundidade do compartimento e o sistema de sombreamento. Constatou-se que em compartimentos com os envidraçados com menores dimensões e com maior profundidade os valores do Fator de Luz Dia eram menores.

Trabalhos Futuros

Os trabalhos futuros passam pelo o estudo de mais habitações, de forma a poder se identificar e caracterizar os parâmetros que influenciam os parâmetros que caracterizam a qualidade do ambiente interior. Seria de grande interesse realizar também as medições no período de aquecimento para perceber se haveria grandes diferenças nos resultados.

6 BIBLIOGRAFIA

- [1] International Standardization Organization, “EN 15251 - Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics,” Brussels, 2007.
- [2] International Standardization Organization, “EN ISO 7730 - Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria,” Brussels, 2005.
- [3] Decreto-Lei 80/2006 de 4 de Abril, “Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios,” 2006.
- [4] Ordem dos arquitectos, “Green Vitruvius, A Green Vitruvius: princípios para uma arquitectura sustentável,” 2003.
- [5] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., “ASHRAE Standard 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy,” 2010.
- [6] Lamberts, R. e Xavier, A., “Conforto Térmico e Stress Térmico,” Laboratório de eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- [7] Silva, Sandra Monteiro da, “A Sustentabilidade e o Conforto das Construções,” Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, 2009.
- [8] Matias, Luís, “Desenvolvimento de um modelo adaptativo para definição das condições de conforto térmico em Portugal,” Tese de Doutoramento, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2010.
- [9] Pimentel-Souza, F., “Efeitos da Poluição Sonora no Sono e na Saúde em Geral - Ênfase Urbana,” Departamento de Fisiologia e biofísica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
- [10] Decreto-Lei nº. 9/2007, de 17 de Janeiro, Regulamento Geral do Ruído, 2007.
- [11] Decreto-Lei nº. 96/2008, de 9 de Julho, Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, 2008.
- [12] l. Engacústica, “<http://www.engacustica.com>,” [Online]. Available:

<http://www.engacustica.com/docs/limites.bmp>. [Acedido em 11 Fevereiro 2011].

- [13] Coutinho, Mónica Sofia, “Avaliação das Condições de Iluminação Natural através de Simulação em Modelos Virtuais,” Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.
- [14] International Standardization Organization, “ISO 8995 - Principles of visual ergonomics - The lighting of indoor work systems,” Brussels, 2002.
- [15] Santos, António J., A Iluminação Natural na Perspectiva da Reabilitação dos Edifícios. Prelecção efectuada no âmbito do Mestrado em Engenharia Civil - Disciplina de Reabilitação das Construções, Universidade do Minho, 2005.
- [16] González, F., Arquitectura Bioclimática En Un Entorno Sostenible, Munilla-Iería. 1ª Edição, 2004.
- [17] Martins, Nuno Tiago Lopes, “Compatibilização de exigências relativas a iluminação e ganhos solares em edifícios de habitação,” Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.
- [18] Santos, António J., “Caracterização das condições ambientais de iluminação natural nos edifícios com base na avaliação “in situ”,” Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2001.
- [19] Brotas, L.; Wilson M., “Iluminação Natural no Espaço Urbano. XI Congresso Ibérico e VI Congresso Ibero-Americano de Energia Solar,” em *Congresso Ibérico e VI Congresso Ibero-Americano de Energia Solar*, Vilamoura, Portugal, 2002.
- [20] Workers’ Compensation Board of B.C., “Indoor Air Quality: A Guide for Building Owners, Managers, and Occupants,” National Library of Canada Cataloguing in Publication Data, 2005.
- [21] Santos, C.; Campos, P., “Factores que determinam a qualidade do ar interior,” A. Ramadão, Porto.
- [22] Sistema Nacional de Certificação Energética da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, “NT-SCE-02 - Metodologia para auditorias periódicas de QAI em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE,” ADENE, 2008.
- [23] Teixeira, D.; Brionizio, J.; Pereira, L.; Mainier, F., “Síndrome dos Edifícios Doentes em Recintos com Ventilação e Climatização Artificiais: Revisão de Literatura”.
- [24] Robertson, G., “Sick Buildings - Effects, causes, analysis and prevention. In: Council on

- Tall Buildings and Urban Habitat. Rehabilitation of Damaged Buildings,” Bethlehem, Le High University, 1995.
- [25] ADENE, AGEG, APA, “Intervenção do PQ ao nível dos edifícios abrangidos pelo RCESE - Vertente QAI,” ADENE, 2009.
- [26] Prado, Adriano; Araújo, Racine, “Qualidade do Ar Interno,” Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1999.
- [27] Brickus, L. S.; Aquino Neto, F. R., “A qualidade do ar de interiores e a química,” LADETEC - Instituto de Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro, São Paulo, Julho de 1997.
- [28] Ferreira, Miguel Jorge Monteiro de Magalhães, “Caudais de Ventilação Recomendados para Edifícios Residenciais,” Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2004.
- [29] Mansouri, Y.; Allard, F.; musy, M., “Conceptual Implementation of Natural Ventilation Strategy,” Eighth International IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands, 2003.
- [30] Lambert, J., Natural Ventilation – Capabilities and Limitations (comfort and energy efficiency in domestic dwellings), 2008.
- [31] Norma Portuguesa NP 1037 de 2002, “Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural,” 2002.
- [32] Bragança, Luís, “Prelecção efectuada no âmbito do Mestrado em Engenharia Civil - Disciplina de Construção Sustentável,” Universidade do Minho, 2010.
- [33] Martins, Anabela Outeiro, “Influência de materiais de revestimento de pavimentos na Qualidade do Ar Interior em termos de Compostos Organicos Voláteis,” Tese de Mestrado, Universidade de Ciências do Porto, Porto, 2003.
- [34] Bragança, Luís; Mateus, Ricardo, Guia de Avaliação SBTool, iiSBE Portugal, 2009.
- [35] Burroughs, H.E.; Hansen, Shirley J. , “Managing Indoor Air Quality,” Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 2008.
- [36] Norma Portuguesa NP EN ISO 140 - 5 : 2000, Acústica - Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção - Parte 5: Medição in situ do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e de elementos de fachada, 2000.
- [37] International Standardization Organization, ISO 717-1 - Rating of sound insulation in

buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation, Brussels, 1996.

[38] Decreto-Lei 79/2006 de 4 de Abril, Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, 2006.

[39] IPQ - Instituto Português da Qualidade, NP 1730-1 - Descrição e medição do ruído ambiente. Parte 1: Grandezas fundamentais e procedimentos, 1996.

[40] Goulding, John; Lewis, Owen; Steemers, Theo, Energy in Architecture: The European Passive Solar Handbook, Londres: B.T. Batsford Limited, 1992.

[41] Agência Portuguesa do Ambiente, “Qualidade do Ar em Espaços Interiores,” Amadora, 2009.

I. ANEXO I - EQUIPAMENTOS

Neste Anexo são apresentados e descritos os equipamentos utilizados para a realização dos ensaios *in situ* realizados ao longo deste trabalho visando avaliar a qualidade do ambiente interior das habitações estudadas.

I.1 Descrição dos equipamentos utilizados

Para avaliar a qualidade do ambiente interior de uma habitação foram realizados ensaios para avaliar o conforto térmico, acústico, visual e a qualidade do ar (QAI).

De seguida apresenta-se as principais características dos equipamentos utilizados para a realização dos ensaios.

I.1.3 Conforto Térmico

Para a avaliação da situação de conforto térmico nos edifícios foi utilizada o equipamento HD32.1 Thermal Microclimate (Figura I.1 e Figura I.2), produzido pela Delta Ohm, que permite estudar, medir e controlar o Microclima em edifícios, de acordo com as seguintes normas:

- EN ISO 7726: Ergonomia em ambientes térmicos – Instrumento para medição de grandezas físicas;
- EN ISO 7730: Ambientes térmicos moderados – Determinação do PMV e PPD índices e especificações da condição de conforto térmico;
- EN ISO 27243: Ambientes quentes. Estimativa de stress ao homem por influência do calor, baseado no índice WBGT (Wet bulb Globe temperature / Temperatura do bolbo húmido);
- EN ISO 7933: Ergonomia em ambientes térmicos - Determinação analítica e interpretação do stress por aquecimento usando cálculo para prever a tensão térmica; ENV ISO 11079: Avaliação de ambientes frios - Determinação de isolamento da roupa requerida (IREQ);
- EN ISO 8996: Ergonomia em ambientes térmicos - Determinação da atividade metabólica.



Figura I.1 - Estação de conforto.

O equipamento está dotado da função auto-start, sendo possível ativar a configuração da data e da hora de início e do fim da análise, sendo este intervalo de aquisição de dados válido para todas as sondas conectadas ao equipamento. Podem ainda ser escolhidos/configurados outros parâmetros pelo utilizador, sendo eles:

- A unidade de medição das grandezas de temperatura visualizadas: °C, °F, K;
- A data e a hora do sistema;
- A visualização dos parâmetros estatísticos máximo, mínimo, média e o seu cancelamento;
- A velocidade de transferência dos dados através da porta série RS232;
- A configuração da palavra passe de proteção do teclado e a ativação/desativação da palavra passe.



CC

Figura I.2 - Pormenor do módulo de controlo da estação de conforto.

Os sensores utilizados para HD32.1 Programa A, Análise de Microclima, são os seguintes:

- TP3275 - Sensor de temperatura de globo Ø 150 mm. Sonda de temperatura tipo bolbo, sensor Pt100, globo Ø150 mm, haste Ø 14 mm e 110 mm de comprimento. Cabo com 2 m de comprimento. Equipada com módulo SICRAM. Usada para medição da temperatura média radiante, WBGT.
- AP3203 Sensor omnidirecional de fio quente. Faixa de medição: Velocidade do ar de 0 a 5 m/s, temperatura de 0 a 100°C. Haste Ø 14 mm e 110 mm de comprimento. Cabo com 2 m de comprimento. Equipado com módulo SICRAM. Usada para cálculo dos seguintes índices: PMV e PPD. Usada para cálculo da temperatura média radiante.
- HP3217 Sensor combinado de temperatura e humidade relativa. Sensor de humidade relativa capacitivo, sensor de temperatura Pt100. Haste Ø 14 mm e 110 mm de comprimento. Cabo com 2 m de comprimento. Equipada com módulo SICRAM. Usada para cálculo dos seguintes índices: PMV e PPD.
- HP3217DM Duplo sensor para medição de temperatura de bolbo seco e bolbo húmido natural. Haste Ø 14 mm e 110 mm de comprimento. Cabo com 2 m de comprimento. Equipada com duplo modulo SICRAM, guarnição e 50cc de água destilada.

Acessórios:

- VTRAP32: Tripé equipado com 6 entradas e 4 presilhas para sensor código HD3218K
- 9CPRS232: Conector para conexão 9 pólos Sub D fêmea RS232C.
- CP22: Cabo USB 2.0 conexão tipo A – conexão tipo B.
- BAG32: Mala para transporte do HD32 e acessórios.
- SWD10: Fonte de alimentação estabilizada 100-240Vac/12Vdc-1A.
- HD3218K: Haste.
- AM32: Haste com 2 presilhas para 2 sensores.
- AQC: 200cc. Água destilada e 3 guarnições para sensores HP3201 ou HP3217DM.

O instrumento é dotado de oito entradas para sondas com módulo SICRAM e é capaz de desenvolver três programas operativos que sempre que seja necessário e o operador assim o desejar podem ser carregados, em função das grandezas e do tipo de medição que deseja.

Neste estudo o programa operacional será o "A": Análise de Microclima.

O programa operativo A: Análises Microclimáticas, HD32.1 é capaz de obter simultaneamente as seguintes grandezas:

- temperatura do bolbo negro;
- temperatura do bolbo húmido de ventilação natural;
- temperatura ambiente;
- pressão atmosférica;
- humidade relativa;
- velocidade do ar.

De acordo com a medição o HD32.1, em conjunto com o software, calcula os seguintes parâmetros:

- t_r : Temperatura média radiante
- PMV: Voto médio previsto
- PPD: Percentagem de pessoas descontentes
- t_o : Temperatura operativa
- t_{eq} : Temperatura equivalente
- $WBGT_{Indoor}$: Temperatura de globo bolbo húmido
- $WBGT_{Outdoor}$: Temperatura de globo bolbo húmido na presença de radiação

Na Tabela I.1 apresenta-se as condições operacionais da estação de conforto.

Tabela I.1- Condições operacionais da estação de conforto.

Condições operacionais	
Temperatura operacional	- 5 a 50 °C
Temperatura de armazenamento	- 25 a 65 °C
Humidade relativa operacional	0 a 90% de Hr não condensada
Classe de proteção	IP64
Incerteza do instrumento	± 1 dígito @ 20 °C

Para medir/registar a temperatura dos sete dias anteriores à medição foi utilizado um mini data logger, Testostor 175 (Figura I.3).



Figura I.3 - Testostor 175.

Na Tabela I.2 apresenta-se as condições operacionais do Testostor 175.

Tabela I.2 - Condições operacionais do Testostor 175.

Condições operacionais	
Gama de Temperaturas	-35 a 70 °C
Precisão	± 0,5 °C

I.1.2 Qualidade do Ar Interior

Para a avaliação da Qualidade do Ar Interior (QAI) foram realizadas medições da concentração de Dióxido de Carbono (CO₂), Monóxido de Carbono (CO), Partículas (PM10), Ozono (O₃) e Formaldeídos (HCHO).

De seguida descrevem-se as principais características dos equipamentos utilizados para avaliar a QAI.

Formaldeído

Para a medição da concentração de formaldeído foi utilizado o Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300.

No mostrador do sensor, Figura I.4, é possível ver a concentração de HCHO medida durante as medições. Este valor é atualizado a cada 10 segundos.

Identificação e Caracterização dos Principais Fatores que afetam os parâmetros que caracterizam a Qualidade do Ambiente Interior dos Edifícios



Figura I.4 - Sensor de formaldeído, Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300.

Na Tabela I.3 - apresentam-se as especificações dos componentes do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300.

Tabela I.3- Especificações dos componentes do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300.

Condições operacionais	
Gama nominal	0 - 30 ppm
Valor máximo	34 ppm
Tempo de resposta	< 60 segundos
Máximo valor base	0,05
Temperatura de funcionamento	0 a 40 °C
Gama de pressões	Atm ± 10%
Gama de humidade relativa	15 a 90% (sem condensação)
Alarme	Audível, 80 dB

Na Tabela I.4 apresentam-se a sensibilidade do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300.

Tabela I.4 - Sensibilidade do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300.

Gás	Concentração de gás (ppm)	Resultado com o filtro ZDL -300 (ppm)
Acetona	2	2
Methylethyl Ketone	2	0
Diethyl Ketone	2	2
Acetaldeído	12	0
Ácido acético	0	0
Etileno	67	0
Metanol	125	0
Etanol	55	0
I-propanol	44	0
Monóxido de carbono	40	0

Ozono

A concentração de Ozono foi medida com recurso ao sensor de ozono: Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200 (Figura I.5).



Figura I.5 - Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200.

Na Tabela I.5 apresentam-se as especificações dos componentes do sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200.

Tabela I.5 - Especificações dos componentes do sensor de ozono, Ozone Meter/Data Logger Model ZDL-1200.

Condições operacionais	
Gama nominal	0 - 2 ppm
Resolução	0,01 ppm
Precisão	± 0,02 ppm
Tempo de resposta, 90% pico	< 150 segundos
Temperatura de funcionamento	-20 a 50 °C
Gama de pressões	Atm ± 10%
Gama de humidade relativa	15 a 90% (sem condensação)
Alarme	Audível, 80 dB

Na Tabela I.6 apresentam-se a sensibilidade do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300.

Tabela I.6 - Sensibilidade do sensor de formaldeído Formaldehyde Meter/Data Logger Model ZDL-300.

Gás	Concentração atual (ppm)	Concentração Z-1200 (ppm)
Monóxido de carbono	300	0
Sulfito de hidrogénio	15	-2
Dióxido de enxofre	5	0
Óxido nítrico	35	0
Dióxido de nitrogénio	5	3,5
Cloro	1	0,5 - 1
Hidrogénio	100	0
Cianeto de hidrogénio	10	0
Cloreto de hidrogénio	5	0
Etileno	100	0

Partículas - PM10

O sensor de partículas (Figura I.6), DUSTTRAK™ II, permite medir a concentração de partículas (PM1, PM2,5, PM4 e PM10) no ambiente, usando filtros seletivos, separadamente, que retêm as partículas com características específicas, recolhidas num prato de recolha metálico, da massa de ar que circula a 3,0 l/min, aspirado por uma bomba de vácuo. O filtro de PM2,5 é usado para calibração do equipamento.



Figura I.6 - Mostrador do sensor de partículas DUSTTRAK™ II Desktop Aerosol Monitor Models 8530/8531.

Na Tabela I.7 apresentam-se as especificações dos componentes do sensor de partículas, DUSTTRAK™ II Desktop Aerosol Monitor Models 8530/8531.

Tabela I.7 - Especificações dos componentes do sensor de partículas, DUSTTRAK™ II Desktop Aerosol Monitor Models 8530/8531.

Condições operacionais	
Tipo de sensor	90 ° light scattering
Tamanho das partículas	0,1 a 10 µm
Resolução	± 0,1% da medição ou 0,001 mg/m ³ , o que for superior
Estabilidade	± 0,002 mg/m ³ por 24 horas a 10 segundos
Caudal de ar	3,0 l/min, por defeito, pode ser ajustado entre 1,4 e 3,0 l/min
Eficiência da circulação do caudal	± 5%
Coefficiente de temperatura	+ 0,001 mg/m ³ por °C
Temperatura de funcionamento	0 a 50°C
Temperatura de armazenamento	- 20 a 60°C
Humidade de funcionamento	0 a 95% (sem condensação)
Constante de tempo	1 a 60 segundos
Armazenamento	5 MB de memória interna (> 60000 dados)
Intervalo de registo	1 s a 1 h
Dimensões	13.5 x 21.6 x 22.4 cm
Peso	1,6 kg, 2,0 kg com uma bateria e 2,5 kg com duas baterias
Comunicação	8530/31 USB; 8532 USB
Corrente elétrica	115–240 VAC (adaptador de corrente AC incluído)
Baterias	6 h de funcionamento; 4 h de carregamento

Aparelho multifuncional para a medição da concentração de Monóxido de Carbono (CO) e Dióxido de Carbono (CO₂)

Para avaliar a concentração de monóxido e dióxido de carbono foi utilizado o aparelho multifuncional 435 da Testo (Figura I.7).



Figura I.7 - Mostrador do sensor de CO e de CO₂ da Testo, modelo 435.

Na Tabela I.8 apresentam-se as especificações dos componentes do sensor de CO e CO₂, Testo 435 da sonda de IAQ e de CO.

Tabela I.8 - Especificações dos componentes do sensor de CO e CO₂, Testo 435.

Condições operacionais	
Gama de medições	0 a + 50 °C 0 a + 100 %Hr 0 a + 10000 ppm CO ₂ + 600 a + 1150 hPa
Precisão	± 0.3 °C ± 2 % Hr (+ 2 a + 98 %Hr) ± (50 ppm CO ₂ ± 2% de mv) (0 a + 5000 ppm CO ₂) ± (100 ppm CO ₂ ±3% de mv) (+ 5001 a +10000 ppm CO ₂) ± 5 hPa
Resolução	1 ppm CO ₂ 0,1 °C 0,1 %Hr 0,1 hPa
Temperatura de funcionamento	- 20 a + 50 °C
Temperatura de armazenamento	- 30 a + 70 °C
Velocidade de medição	2/s

I.1.3 Acústica

Para a avaliação da qualidade acústica dos edifícios foram realizados ensaios para a avaliação do isolamento sonoro a sons de condução aérea. De seguida descreve-se o equipamento utilizado.

Sonómetro CEL Instruments, modelo CEL-59

Sonómetro integrador com a classe de precisão Tipo I, da CEL Instruments, modelo CEL-593 (Figura I.8), equipado com um microfone condensador de 1/2 polegada tipo CEL-250, calibrado antes e após as medições com um calibrador da CEL – 284/2 debitando 114 dB à frequência de 1000 Hz.



Figura I.8- Sonómetro CEL Instruments, modelo CEL-59.

Fonte sonora

Nos ensaios de isolamento sonoro médio da parede de fachada e do isolamento sonoro a sons de condução aérea utilizou-se para a produção do campo sonoro uma fonte sonora com difusor cónico da marca Bruel & Kjaer, modelo 4224 da classe II (IEC) (Figura I.9).



Figura I.9- Fonte sonora, modelo 4224 da Bruel & Kjaer e gerador de ruído, modelo CEL 513.

I.1.4 Lumínico

Piranómetro

As medições da radiação solar no exterior foram realizadas com piranómetros SP-Lite da Kipp&Zonen, comercializados pela Campbell Scientific, Inc. (Figura I.10).



Figura I.10 - Piranómetro SP-Lite da Kipp&Zonen.

Na Tabela I.9 apresentam-se as especificações do piranómetro SP-Lite da Kipp&Zonen.

Tabela I.9 - Especificações técnicas do piranómetro SP-Lite da Kipp&Zonen.

Elétricas	
Impedância nominal	< 50 Ω
Tempo de resposta	< 1 s
Sensibilidade (nominal)	10 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Gama do sinal esperada (sob condições atmosféricas)	0 a 15 mV
Estabilidade	< $\pm 2\%$ por ano
Não-linearidade	< $\pm 1\%$ até 1000 W/m^2
Dependência da temperatura da sensibilidade	+0.15 %/ $^{\circ}\text{C}$ (típico)
Irradiância máxima	2000 W/m^2
Ambiental	
Temperatura de funcionamento	- 30 $^{\circ}\text{C}$ a +70 $^{\circ}\text{C}$
Espectral	
Gama espectral	400 – 1100 nm
Co-seno corrigido entre 80° do ângulo de incidência, erro	$\pm 10\%$
Erros do co-seno ponderados em relação ao erro de azimute oposto (com um ângulo de incidência de 60°)	$\pm 10\%$
Erro direcional	$\pm 5\%$ a 80 $^{\circ}\text{C}$

Luxímetros

No interior foram utilizados luxímetros HD 2021T da Delta Ohm para avaliar as condições de iluminação (Figura I.11).



Figura I.11 - Luxímetro HD 2021T da Delta Ohm.

Na Tabela I.10 apresentam-se as especificações do luxímetro HD 2021T da Delta Ohm.

Tabela I.10 - Especificações técnicas do luxímetro HD 2021T da Delta Ohm.

Sensor	Fotodiodo Si
Gama espectral	450 a 950 nm
Ângulo de visão	Corrigida de acordo com a lei do co-seno
Sensibilidade	1-100 mV/(mV/m ²)
Sinal de saída	0 a 10 V
Corrente elétrica	16 a 40 Vdc ou 24 Vac, saída 0 a 10 V
Carregamento	10 mA
Temperatura de funcionamento	- 20°C a + 60 °C
Proteção elétrica	Protegido contra inversões de polaridade
Dimensões máximas	58 mm x 65 mm x 52 mm
Comprimento máximo do cabo	150 m

Identificação e Caracterização dos Principais Fatores que afetam os parâmetros que caracterizam a Qualidade do Ambiente Interior dos Edifícios

ANEXO II - INQUÉRITO

Preencha os dados:

Idade:

Peso:

Sexo:

Altura:

A **qualidade do ar, o conforto acústico, térmico e visual** são os parâmetros em avaliação, sendo o peso de cada um muito subjetivo (depende do ocupante). Pontue de 0 a 20 a importância que dá a cada um dos parâmetros:

Qualidade do ar		Conforto térmico	
Conforto acústico		Conforto visual	

Existe algum compartimento no qual se sente particularmente desconfortável?

Sim	
Não	

Em caso afirmativo, qual?

Assinale com um **X** caso:

Está constipado		Vê mal	
Ouve mal		Tem problemas respiratórios	

A permanência prolongada neste local provoca-lhe algum destes sintomas?

Tosse		Espirros	
Dores de cabeça		Irritação dos olhos nariz e/ou garganta	
Comichão do nariz		Problemas respiratórios	
Cansaço		Irritação na pele	
Falta de ar		Perda de concentração	

Qual a atividade desempenha de momento?

Deitado		A circular	
Sentado		A cozinhar	
De pé		Outra	

Qual? _____

Relativamente à **Qualidade do ar**:

Considera o ambiente:

Fresco		Abafado	
Inodoro		Mau cheiro	
Satisfatório		Não satisfatório	

Sente algum odor?

Sim	Agradável		Não	
	Desagradável			

Caso a seja sim, consegue identificar a fonte do odor?

Relativamente ao **Conforto térmico**:

Considera o ambiente:

Muito quente		Ligeiramente frio	
Quente		Frio	
Ligeiramente quente		Muito frio	
Nem quente nem frio			

Neste momento gostaria que a temperatura se encontrasse:

Muito mais baixa		Ligeiramente mais quente	
Ligeiramente mais baixa		Muito mais quente	
Tal como está			

A roupa é muito importante para o conforto térmico. Assim, pede-se que assinale no quadro seguinte todas as peças de vestuário que usa neste momento.

Camisa/Blusa		Meias	
de verão, manga comprida [0,15]		Finas [0,02]	
de verão, manga curta [0,20]		grossas, pelo tornozelo [0,05]	
de inverno [0,25]		grossas, pelo joelho [0,10]	
de flanela [0,30]		de nylon [0,03]	
t-shirt [0,09]		collants [0,10]	
pólo de malha [0,17]		Sapatos	
Calça		sola fina/ténis de pano [0,02]	
de verão [0,20]		sola grossa/ténis desportivos [0,04]	
de meia estação/ganga [0,25]		sandália/chileno [0,02]	
de inverno [0,28]		bota [0,10]	
calções [0,08]		Roupa Interior	
macacão [0,30]		camisola de alças [0,04]	
Saia		camisola de manga curta [0,09]	
de verão [0,15]		camisola de manga comprida [0,12]	
de inverno [0,25]		cueca/slip [0,03]	
Vestido		boxer [0,04]	
de verão [0,20]		sutiã [0,01]	
de inverno [0,40]		combinação [0,15]	
Blazer/Blusão		Outras peças de roupa	
de verão [0,25]			
de inverno [0,35]			
colete [0,12]			
casaco [0,60]			
parka [0,70]			
sweatshirt [0,30]			

Relativamente ao **Conforto acústico**:

a) Considera-se:

Muito ruidoso		Nem ruidoso nem silencioso	
Ligeiramente ruidoso		Silencioso	

b) Sente ruídos incomodativos:

Sim	Oriundos do Interior		Não	
	Oriundos do Exterior			

Relativamente ao **Conforto visual**:

a) Considera o ambiente com:

Iluminação excessiva		Iluminação insuficiente	
Iluminação satisfatória			

b) Neste momento gostaria que ambiente se encontrasse:

Muito mais iluminado		Ligeiramente mais iluminado	
Ligeiramente mais iluminado		Muito mais iluminado	
Tal como está			

Muito obrigado pela sua disponibilidade e colaboração!