



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

CONSELHO DIRECTIVO
Projecto Especial de Edificação Sustentável

Proc. 5101/14/16598

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (LISBOA E LEIRIA)

Verão de 2010

Projecto FCT n.º PTDC/ECM/71914/2006

Lisboa • Abril de 2011

I&D EDIFICAÇÃO SUSTENTÁVEL

RELATÓRIO 110/2011 – ES/LNEC

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO
EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (LISBOA E LEIRIA)
VERÃO DE 2010**

RESUMO

No âmbito do projecto financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) denominado *Desenvolvimento de Modelos de Conforto Térmico e Visual Sustentáveis* (Ref.^a PTDC/ECM/71914/2006), foi desenvolvido no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) um modelo adaptativo de avaliação das condições de conforto térmico em ambientes interiores de edifícios em Portugal [1].

O desenvolvimento do referido modelo teve como base a análise dos resultados obtidos num conjunto significativo de levantamentos das condições ambientes efectuados em ambientes interiores de edifícios de serviços e residenciais, com diversos tipos de perfil ocupacional.

No sector residencial os edifícios abrangidos foram subdivididos em dois tipos: os lares de idosos e centros de dia (classificados com residenciais especiais) e os residenciais convencionais (habitação). Nos edifícios habitacionais a amostra de edifícios objecto de estudo foi, no entanto, muito limitada.

Face ao potencial adaptativo existente neste tipo de edifícios e dado o crescimento constante dos consumos energéticos verificado nos últimos anos no sector da habitação, considerou-se fundamental a caracterização dos respectivos requisitos de conforto térmico.

Nesse sentido está programada a realização de um conjunto significativo de levantamentos das condições ambientes em edifícios residenciais convencionais localizados em diferentes regiões do País, abrangendo várias zonas climáticas definidas na regulamentação nacional [2]. Os referidos levantamentos serão distribuídos por várias campanhas experimentais de medições a realizar nos períodos de arrefecimento (Verão) e de aquecimento (Inverno).

No Verão de 2010 realizou-se uma primeira campanha experimental que abrangeu edifícios residenciais localizados nas regiões de Lisboa (Lisboa e Odivelas) e de Leiria (Marinha Grande, Leira e aldeias próximas).

No presente documento apresentam-se, os resultados e a análise de todas as medições efectuadas na primeira campanha experimental (Verão) bem como dos questionários recolhidos junto dos inquiridos, de modo a avaliar as condições ambientes e as percepções dos utentes dos edifícios estudados.

**EVALUATION OF THERMAL COMFORT CONDITIONS
IN RESIDENTIAL BUILDINGS (LISBON AND LEIRIA)
SUMMER OF 2010**

**ÉVALUATION DES CONDITIONS DE CONFORT THERMIQUE
DANS DES BÂTIMENTS RESIDENTIELS (LISBONNE ET LEIRIA)
ÉTÉ DE 2010**

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO
EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (LISBOA E LEIRIA)
VERÃO DE 2010**

ÍNDICE DO TEXTO

| | <i>Pág.</i> |
|---|-------------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. METODOLOGIA DO ESTUDO DESENVOLVIDO..... | 3 |
| 2.1. Generalidades..... | 3 |
| 2.2. Descrição dos espaços estudados..... | 3 |
| 2.3. Avaliação das condições de conforto térmico | 8 |
| 3. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS..... | 11 |
| 3.1. Critério de avaliação..... | 11 |
| 3.2. Parâmetros higrotérmicos e índices térmicos..... | 14 |
| 3.3. Percepções térmicas..... | 19 |
| 4 - CONCLUSÕES..... | 23 |
| BIBLIOGRAFIA | 26 |
| ANEXO I. INQUÉRITO | II.3 |
| ANEXO II. FOTOGRAFIAS DOS ESPAÇOS ESTUDADOS..... | II.3 |

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO
EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (LISBOA E LEIRIA)
VERÃO DE 2010**

ÍNDICE DE FIGURAS

| | <i>Pág.</i> |
|--|--------------------|
| Fig. 1 – Aspectos das fachadas dos edifícios residenciais estudados em LISBOA..... | 4 |
| Fig. 2 – Aspectos das fachadas dos edifícios residenciais estudados em LEIRIA | 5 |
| Fig. 3 – Tipos de ventoinhas existentes nos espaços estudados..... | 7 |
| Fig. 4 – Sistema de medição e de registo de parâmetros ambientes..... | 9 |
| Fig. 5 – Escala de sensação térmica (<i>sti</i>) | 9 |
| Fig. 6 – Escala de preferência térmica (<i>pti</i>) | 10 |
| Fig. 7 – Temperaturas operativas obtidas ao longo dos levantamentos efectuados e limites recomendados | 18 |
| Fig. 8 – Distribuição das respostas de <i>sensação</i> térmica dos inquiridos | 20 |
| Fig. 9 – Distribuição das respostas de <i>preferência</i> térmica dos inquiridos..... | 22 |

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO
EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (LISBOA E LEIRIA)
VERÃO DE 2010**

ÍNDICE DE QUADROS

| | <i>Pág.</i> |
|--|-------------|
| Quadro 1 – Elementos referentes aos edifícios e habitações estudados em LISBOA | 7 |
| Quadro 2 – Elementos referentes aos edifícios e habitações estudados em LEIRIA..... | 8 |
| Quadro 3 – Levantamentos efectuados em habitações localizadas na zona de LISBOA..... | 10 |
| Quadro 4 – Levantamentos efectuados em habitações localizadas na zona de LEIRIA | 10 |
| Quadro 5 – Ambientes térmicos e respectivas exigências [4] | 12 |
| Quadro 6 – Aplicabilidade das classes de ambientes térmicos e gamas de temperaturas aceitáveis [6] | 13 |
| Quadro 7 – Resultados obtidos nos levantamentos efectuados em habitações localizadas na zona de LISBOA | 15 |
| Quadro 8 – Resultados obtidos nos levantamentos efectuados em habitações localizadas na zona de LEIRIA..... | 16 |

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (LISBOA E LEIRIA)

VERÃO DE 2010

1. INTRODUÇÃO

No âmbito do projecto financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) denominado *Desenvolvimento de Modelos de Conforto Térmico e Visual Sustentáveis* (Ref.^a PTDC/ECM/71914/2006), foi desenvolvido no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) um modelo adaptativo de avaliação das condições de conforto térmico em ambientes interiores de edifícios em Portugal [1].

O desenvolvimento do referido modelo teve como base a análise dos resultados obtidos num conjunto significativo de levantamentos das condições ambientes efectuados em ambientes interiores de edifícios de serviços e residenciais, com diversos tipos de perfil ocupacional. A importância de distinguir os espaços segundo o seu perfil de ocupação ou segundo a sua funcionalidade deveu-se ao facto de para esses diferentes espaços se assumirem, em grande medida, distintos padrões de conforto.

No sector residencial os edifícios abrangidos foram subdivididos em dois tipos: os lares de idosos e centros de dia (classificados com residenciais especiais) e os residenciais convencionais (habitação). Nos edifícios habitacionais a amostra de edifícios objecto de estudo foi, no entanto, muito limitada.

Face ao potencial adaptativo existente neste tipo de edifícios e dado o crescimento constante dos consumos energéticos verificado nos últimos anos no sector da habitação, considerou-se fundamental a caracterização dos respectivos requisitos de conforto térmico.

Nesse sentido está programada a realização de um conjunto significativo de levantamentos das condições ambientes em edifícios residenciais convencionais localizados em diferentes regiões do País, abrangendo várias zonas climáticas definidas na regulamentação nacional [2]. Os referidos levantamentos serão distribuídos por várias campanhas experimentais de medições a realizar nos períodos de arrefecimento (Verão) e de aquecimento (Inverno).

No Verão de 2010 realizou-se uma primeira campanha experimental que abrangeu edifícios residenciais localizados nas regiões de Lisboa (Lisboa e Odivelas) e de Leiria (Marinha Grande, Leira e aldeias próximas).

Os levantamentos efectuados nesta primeira campanha experimental que decorreu entre 25 de Julho e 26 de Agosto de 2010 foram orientados para a recolha de diversos parâmetros ambientes (temperatura, humidade relativa e velocidade do ar) relevantes para a avaliação das condições de conforto térmico, e foram acompanhadas pelo preenchimento pelos ocupantes dos espaços presentes de um questionário específico sobre este tema desenvolvido pelo LNEC.

No passado Inverno (Dezembro a Março) foi realizada uma segunda campanha experimental de medições, de modo a caracterizar as condições de conforto térmico no período de aquecimento (Inverno). Os resultados dessa campanha serão apresentados num outro relatório.

No presente documento apresentam-se, os resultados e a análise de todas as medições efectuadas na primeira campanha experimental (Verão) bem como dos questionários recolhidos junto dos inquiridos, de modo a avaliar as condições ambientes e as percepções dos utentes dos edifícios estudados.

2. METODOLOGIA DO ESTUDO DESENVOLVIDO

2.1. Generalidades

No âmbito do projecto de investigação acima referido (vd. 1) encontra-se em desenvolvimento um programa de avaliação das condições de conforto térmico em espaços interiores de edifícios residenciais convencionais (habitação) localizados em diferentes regiões do País.

No decorrer deste programa foi planeada a realização de várias campanhas de medições em espaços interiores (geralmente, a sala de estar / sala de jantar) de edifícios multifamiliares e unifamiliares - numa primeira fase durante períodos quentes (de “Verão”), e numa fase posterior no decorrer de períodos frios (de “Inverno”) -.

Nessas campanhas experimentais são efectuados uma série de levantamentos nos quais são avaliadas as condições ambientes interiores mediante a realização de medições pontuais (durante uma hora) de vários parâmetros que influenciam o conforto térmico dos utentes dos espaços. No final de cada período de medição os utentes presentes nos espaços estudados são inquiridos acerca das suas percepções térmicas, através de um questionário simples desenvolvido para o efeito (vd. Anexo I).

2.2. Descrição dos espaços estudados

A primeira campanha experimental foi realizada no período de Verão de 2010, entre 25 de Julho e 26 de Agosto. Esta campanha de medições abrangeu um total de treze edifícios residenciais localizados nas regiões de Lisboa (Lisboa e Odivelas) e de Leiria (Marinha Grande, Leiria e aldeias próximas)¹. Enquanto os edifícios estudados na zona de Lisboa foram todos do tipo multifamiliar, na zona de Leiria seis dos nove edifícios avaliados eram moradias unifamiliares.

A classificação das zonas climáticas de Verão definidas na regulamentação energética nacional [2], para o período de arrefecimento (Verão), nos concelhos analisados é **V2 (S)**, para Lisboa e Odivelas e **V1 (N)** para Leiria e Marinha Grande.

¹ - Quatro edifícios na área metropolitana de Lisboa e nove na zona de Leiria.

Durante as novas campanhas experimentais, realizadas em períodos de Inverno, procurou-se quer repetir os levantamentos nos edifícios analisados, quer aumentar a amostra de edifícios, avaliando as condições ambientes em edificado localizado noutras regiões de Portugal (diferentes zonas climáticas).

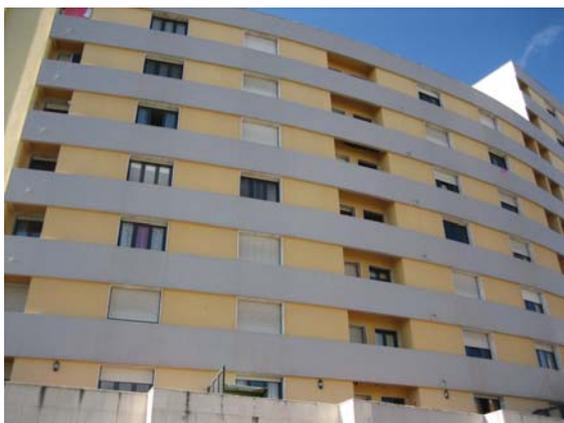
Nas figuras 1 e 2 apresenta-se o aspecto das fachadas dos edifícios habitacionais estudados, respectivamente, em Lisboa e em Leiria. Identificam-se ainda, nas referidas figuras as vinte e oito fracções autónomas analisadas nos diferentes edifícios (*Hab. 1 a Hab. 28*).



Edifício 1 (*Hab. 1 a Hab. 4*)



Edifício 2 (*Hab. 5 a Hab. 13*)



Edifício 3 (*Hab. 14*)



Edifício 4 (*Hab. 15*)

Fig. 1 – Aspectos das fachadas dos edifícios residenciais estudados em LISBOA



Edifício 5 (*Hab. 16 e Hab. 17*)



Edifício 6 (*Hab. 18 a Hab. 20*)



Edifício 7 (*Hab. 21*)



Edifício 8 (*Hab. 22*)



Edifício 9 (*Hab. 23*)



Edifício 10 (*Hab. 24*)

Fig. 2 – Aspectos das fachadas dos edifícios residenciais estudados em LEIRIA



Edifício 11 (*Hab. 25*)



Edifício 12 (*Hab. 26 e Hab. 27*)



Edifício 13 (*Hab. 28*)

Fig. 2 (cont.) – Aspectos das fachadas dos edifícios residenciais estudados em LEIRIA

No presente estudo o conjunto de edifícios analisado é constituído por construções erigidas entre 1982 e 2008. Dado o leque variado de idade dos referidos edifícios, como é natural, também o tipo de soluções construtivas¹ encontrado foi diverso.

Relativamente aos sistemas de climatização (arrefecimento) existentes nos edifícios estudados verificou-se: a presença de ventoinhas (Fig. 3) em 43% dos espaços analisados²; a existência de sistemas de ar condicionado apenas em três habitações (vd. Quadro 1 e Quadro 2).

¹ - Toda a informação obtida acerca das soluções construtivas constituintes dos edifícios estudados baseou-se em trocas de impressões com os utilizadores dos edifícios, ou por vezes, apenas na observação visual do autor do presente estudo.

² - 46% e 38%, respectivamente, nos espaços estudados em Leiria e em Lisboa.



Fig. 3 – Tipos de ventoinhas existentes nos espaços estudados

No Quadros 1 e 2 apresenta-se e sintetiza-se a informação relativa aos edifícios e espaços nas quais foram realizadas medições de parâmetros ambientes, respectivamente em Lisboa e em Leiria. Nesses quadros referem-se: a identificação dos edifícios e habitações; a tipologia dos edifícios; as áreas úteis¹ dos pavimentos; a exposição solar destes últimos; e ainda os sistemas de climatização para arrefecimentos presentes nos espaços estudados.

Quadro 1 – Elementos referentes aos edifícios e habitações estudados em LISBOA

| Edifício | Ano de construção | Habitação | | | Espaço estudado | | |
|----------|-------------------|-------------|------------------|------------|----------------------------------|-----------------|--------------------------|
| | | Tipo | Tipologia (Piso) | Referência | Área útil de pavimento (m^2) | Exposição solar | Sistema de arrefecimento |
| 1 | 2003 | Apartamento | T4 (Int.) | Hab. 1 | 38 | NW | Ventoinha |
| | | | T4 (últ.) | Hab. 2 | | | — |
| | | | T4 (últ.) | Hab. 3 | | | AC |
| | | | T3 (Int.) | Hab. 4 | 25 | SE | AC |
| 2 | 2008 | | T4 (Int.) | Hab. 5 | 23 | E/S | Ventoinha |
| | | | T4 (Int.) | Hab. 6 | 30 | E/S | — |
| | | | T2 (Int.) | Hab. 7 | 20 | E | — |
| | | | T2 (últ.) | Hab. 8 | 20 | E/S | — |
| | | | T2 (Int.) | Hab. 9 | 20 | E/S | — |
| | | | T2 (Int.) | Hab. 10 | 20 | N/W | Ventoinha |
| | | | T2 (Int.) | Hab. 11 | 20 | E | — |
| | | | T3 (Int.) | Hab. 12 | 25 | N/E | Ventoinha |
| 3 | 2005 | T4 (últ.) | Hab. 14 | 35 | NE | Ventoinha | |
| 4 | 1996 | T3 (Int.) | Hab. 15 | 18 | E | Ventoinha | |

* Int. - Piso intermédio; Últ. – Último piso

¹ - Valores aproximados medidos no local com um distanciómetro digital.

Quadro 2 – Elementos referentes aos edifícios e habitações estudados em LEIRIA

| Edifício | Ano de constr. | Habitação | | | Espaço estudado | | |
|-----------|----------------|-------------|-------------------|--------------------|----------------------------------|-----------------|-----------------------|
| | | Tipo | Tipologia (Piso)* | Ref ^a . | Área útil de pavimento (m^2) | Exposição solar | Sistema de arrefecim. |
| 5 | 2007 | Apartamento | T3 (Int.) | Hab. 16 | 28 | SE | Ventoinha |
| | | | T3 (Int.) | Hab. 17 | 25 | SE / NW | — |
| T3 (Int.) | Hab. 18 | | 23 | N | — | | |
| 6 | 2002 | | T4 (Últ.) | Hab. 19 | 45 | N | — |
| | | | T6 (Int.) | Hab. 20 | 75 | N | — |
| | | | T4 (Últ.) | Hab. 21 | 35 | N | Ventoinha |
| 7 | 1985 | Moradia | T5 (Int.) | Hab. 22 | 45 | E / S / N | Ventoinha |
| 8 | 1982 | | T5 (Int.) | Hab. 23 | 50 | S | Ventoinha |
| 9 | 1992 | | T5 (Últ.) | Hab. 24 | 48 | S | AC |
| 10 | 1995 | | T4 (Últ.) | Hab. 25 | 18 | SE / SW | Ventoinha |
| 11 | 1980 | | T3 (Int.) | Hab. 26 | 32 | S / W | — |
| 12 | 1998 | | T3 (Int.) | Hab. 27 | 30 | N | — |
| 13 | 1998 | Moradia | T5 (Int.) | Hab. 28 | 55 | E | — |

* Int. - Piso intermédio; Últ. – Último piso

2.3. Avaliação das condições de conforto térmico

Para avaliar as condições de conforto térmico durante um período com temperatura exterior e radiação solar incidente elevadas (Verão), em vários edifícios residenciais convencionais foi realizado um conjunto de levantamentos (de curta duração) das respectivas condições ambientes nos quais foram medidos e registados diversos parâmetros ambientais que influenciam a satisfação de conforto térmico dos ocupantes dos espaços interiores.

Os referidos parâmetros ambientais, nomeadamente, a temperatura do ar, T_a , a temperatura média radiante, T_{mr} , a humidade relativa do ar, HR , e a velocidade do ar, v_a , foram medidos minuto a minuto, durante um período de uma hora.

Na Fig. 4 apresenta-se o equipamento de medição das condições ambientes utilizado nos levantamentos efectuados, o qual se procurou colocar em locais não sujeitos à incidência directa da radiação solar ou à influência de qualquer sistema de climatização e a cerca de 0,6 m do nível do pavimento¹ (Fig. 4).

¹ - Altura que corresponde ao nível do abdómen de uma pessoa sentada [3].



Fig. 4 – Sistema de medição e de registo de parâmetros ambientes

Com base nas medições dos parâmetros ambientais acima referidos, e na estimativa de parâmetros individuais, designadamente, a resistência térmica conferida pelo vestuário de um indivíduo e a sua actividade metabólica¹, foram determinados dois índices térmicos: o *Voto Médio Previsível*, **PMV** e a *Percentagem Previsível de Insatisfeitos*, **PPD**, os quais pretendem estimar as percepções térmicas sentidas por um indivíduo num dado espaço interior [4].

Com o intuito de conhecer directamente as percepções térmicas das pessoas no interior das suas habitações, aos utentes dos espaços estudados foi solicitado, após o período de medição, o preenchimento de um pequeno questionário [1], através do qual foram inquiridos acerca do ambiente no interior das habitações.

A análise das percepções dos inquiridos nos espaços estudados permitiu não só avaliar se as condições existentes eram consideradas satisfatórias (do ponto de vista do conforto térmico) pelos ocupantes dos espaços (*vd.* 3.3), mas também comparar a apreciação global subjectiva dos inquiridos com os índices calculados com base nas medições dos parâmetros ambientais.

Para esse efeito foram usadas as respostas obtidas no questionário referentes à **sensação térmica**, *sti*, (Fig. 5) e à **preferência térmica**, *pti*, (Fig. 6) dos inquiridos.



Fig. 5 - Escala de sensação térmica (*sti*)

¹ - Os dois parâmetros individuais foram estimados com base em observações visuais efectuadas *in loco*.

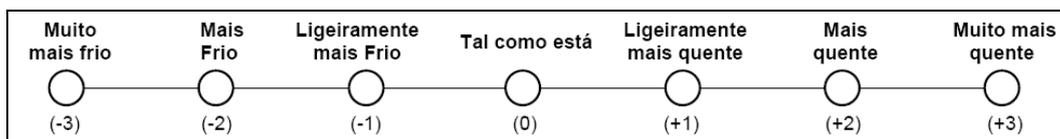


Fig. 6 – Escala de preferência térmica (*pti*)

As respostas indicadas pelos inquiridos referentes à *sensação térmica* são comparadas com os índices térmicos analíticos (*PMV* e *PPD*) determinados com base nas medições dos parâmetros ambientais e na estimativa dos parâmetros individuais (vd. 3.1 b).

Nos Quadros 3 e 4 identifica-se e caracteriza-se o conjunto de levantamentos das condições ambientes efectuados nas habitações dos edifícios estudados, respectivamente, em Lisboa e em Leiria, entre os dias 25 de Julho e 26 de Agosto do ano transacto.

Quadro 3 – Levantamentos efectuados em habitações localizadas na zona de LISBOA

| Levantamento | Edifício | Habitação | Data | Hora |
|---------------------|-----------------|------------------|-------------|-------------|
| Lev 1 | 1 | Hab. 1 | 25 Jul | 17h00 |
| Lev 2 | | Hab. 2 | | 19h00 |
| Lev 3 | | Hab. 3 | 27 Jul | 18h30 |
| Lev 4 | | Hab. 4 | 26 Jul | 20h00 |
| Lev 5 | 2 | Hab. 5 | 03 Ago | 14h00 |
| Lev 6 | | Hab. 6 | | 15h00 |
| Lev 7 | | Hab. 7 | 05 Ago | 15h00 |
| Lev 8 | | Hab. 8 | 11 Ago | 10h00 |
| Lev 9 | | Hab. 9 | | 11h00 |
| Lev 10 | | Hab. 10 | 03 Ago | 16h30 |
| Lev 11 | | Hab. 11 | 05 Ago | 14h00 |
| Lev 12 | | Hab. 12 | 11 Ago | 14h00 |
| Lev 13 | | Hab. 13 | | 15h00 |
| Lev 14 | | Hab. 14 | | 22h00 |
| Lev 15 | 4 | Hab. 15 | 12 Ago | 20h00 |

Quadro 4 – Levantamentos efectuados em habitações localizadas na zona de LEIRIA

| Levantamento | Edifício | Habitação | Data | Hora |
|---------------------|-----------------|------------------|-------------|-------------|
| Lev 16 | 5 | Hab. 16 | 23 Ago | 15h00 |
| Lev 17 | | Hab. 17 | | 16h00 |
| Lev 18 | 6 | Hab. 18 | | 17h45 |
| Lev 19 | | Hab. 19 | 19h00 | |
| Lev 20 | | Hab. 20 | 26 Ago | 14h45 |
| Lev 21 | 7 | Hab. 21 | 24 Ago | 14h00 |
| Lev 22 | 8 | Hab. 22 | | 15h30 |
| Lev 23 | 9 | Hab. 23 | | 17h15 |
| Lev 24 | 10 | Hab. 24 | | 18h30 |
| Lev 25 | 12 | Hab. 25 | 25 Ago | 15h30 |
| Lev 26 | | Hab. 26 | | 17h45 |
| Lev 27 | | Hab. 27 | | 19h00 |
| Lev 28 | | 13 | | Hab. 28 |

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

3.1. Critério de avaliação

As recomendações de condições satisfatórias de conforto térmico aplicáveis a espaços interiores são expressas utilizando vários indicadores, como por exemplo a temperaturas do ar, a temperatura operativa e índices térmicos. Apresentam-se a seguir algumas dessas recomendações aplicáveis a espaços interiores, especificadas em documentos regulamentares ou normativos, as quais serviram de base à apreciação das condições registadas no presente estudo.

a) Temperatura do ar

No domínio regulamentar o actual *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios* (RCCTE) [2] – que estabelece as regras a observar no projecto de edifícios de modo a assegurar a obtenção de condições interiores de conforto térmico sem consumo excessivo de energia – considera que *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.*

O *Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios* (RSECE) [5] adopta os requisitos de conforto térmico de referência fixados do RCCTE para cálculo das necessidades energéticas, *tendo ainda em conta que a velocidade do ar interior não deve exceder os 0,2 m/s e que quaisquer desequilíbrios radiativos térmicos devem ser devidamente compensados.*

b) Índices PMV e PPD

Com a determinação do índice *PMV* (*Voto Médio Previsível*) pretende-se estimar a sensação térmica num dado espaço interior a partir do conhecimento de parâmetros ambientais (temperaturas do ar e média radiante, velocidade e humidade do ar) e individuais (actividade física e vestuário). O *PMV* representa a opinião média de um grupo de pessoas relativamente a um dado ambiente, e expressa as respectivas sensações térmicas de acordo com a escala de sete níveis apresentada na Fig. 5.

O índice *PPD* procura estabelecer uma previsão da percentagem de pessoas insatisfeitas com as condições térmicas existentes. Este índice estima, para um grupo significativo de pessoas, a percentagem daquelas susceptíveis de se sentirem incomodadas termicamente, isto é, aquelas que escolheriam os valores +3, +2, -2 ou -3 (Fig. 5) para descrever a sua sensação térmica [3 e 7].

Os referidos índices térmicos são especificados para ambientes térmicos moderados e constituem a base da norma europeia EN ISO 7730 [4], sendo também considerados nas

normas ASHRAE 55 [7] e EN 15251 [6], para a caracterização de ambientes interiores de edifícios climatizados.

Com base nos índices térmicos *PMV* e *PPD*, a normalização existente recomenda valores máximos de *PPD* para ambientes térmicos moderados (temperatura do ar < 26 °C) que correspondem a determinados intervalos de valores de *PMV*.

No Quadro 5 apresentam-se os valores recomendados, para várias classes de ambientes térmicos (com diferentes níveis de exigência que diminuem da classe A para a classe C), de modo a que um dado ambiente térmico seja considerado aceitável em termos dos índices *PPD* e *PMV*.

Quadro 5 – Ambientes térmicos e respectivas exigências [4]

| Classe | PPD (%) | PMV |
|--------|---------|-------------------|
| A | < 6 | -0,2 < PMV < +0,2 |
| B | < 10 | -0,5 < PMV < +0,5 |
| C | < 15 | -0,7 < PMV < +0,7 |

A classe A (elevada expectativa) é recomendada pela norma para espaços ocupados por pessoas debilitadas com necessidades especiais (crianças, idosos e deficientes); a classe B é indicada para edifícios novos ou sujeitos a acções de reabilitação; finalmente, a classe C, pode adoptar-se em edifícios já existentes.

De acordo com a descrição dos edifícios estudados (*vd.* 2.2), para os espaços avaliados na presente fase do estudo pode admitir-se que a classe dos ambientes a considerar é a C. Tendo em conta os valores referidos no Quadro 5 são recomendados uma percentagem prevista de insatisfeitos (*PPD*) inferior a **15 %**, e um voto médio previsível (*PMV*) compreendido entre **- 0,7 e 0,7**.

Salienta-se, ainda, que a norma considera que poderá haver flexibilidade nos valores limites acima referidos quando os utentes do espaço em análise têm possibilidade, em períodos quentes, de utilizarem as janelas da envolvente exterior para alterar as condições ambientes interiores [4]. No caso específico dos edifícios residenciais convencionais (habitação) esta possibilidade é generalizada.

c) Temperatura operativa

A temperatura operativa do ar, T_{op} , é um parâmetro muito frequentemente utilizado para especificar as condições ambientes satisfatórias.

Em termos de conforto térmico a norma europeia EN 15251 [6] classifica os ambientes térmicos em função do grau de exigência estabelecido para o edifício em análise e para os seus ocupantes¹ (Quadro 6).

¹ - As classes de I a III (Quadro 6) são equivalentes às classes A a C apresentadas no Quadro 5.

Quadro 6 – Aplicabilidade das classes de ambientes térmicos e gamas de temperaturas aceitáveis [6]

| Classe | Descrição | Gama aceitável |
|--------|---|----------------|
| I | Elevado nível de expectativa apenas usado em espaços ocupados por pessoas muito sensíveis e débeis | ± 2 °C |
| II | Expectativa normal (edifícios novos e reabilitados) | ± 3 °C |
| III | Expectativa moderado (edifícios existentes) | ± 4 °C |
| IV | Valores fora dos critérios acima estabelecidos (períodos limitados) | > 4 °C |

A referida norma indica um critério de cálculo (modelo adaptativo) das gamas de temperatura aceitáveis para edifícios de serviços e residenciais, sem sistemas de climatização mecânicos activos¹, o qual considera que o facto de uma pessoa ter a possibilidade de se adaptar, alterando o seu vestuário, abrindo/fechando uma janela ou até reduzindo a sua actividade, a torna mais tolerante (menos expectante) relativamente ao ambiente térmico circundante [6].

No modelo de cálculo constante da norma EN 15251 [6] a temperatura de conforto é determinada com base na temperatura exterior observada nos dias que antecedem as medições, T_{mp} (temperatura média ponderada), e o “desvio” definido em torno daquele valor (o qual determina a gama de temperatura aceitável) depende da categoria em que o ambiente térmico é classificado (Quadro 6).

Atribuindo uma classe III (Quadro 6) aos espaços estudados e atendendo aos valores da temperatura exterior registados nos dias que antecederam as medições, a gama de temperatura operativa considerada adequada pela norma europeia foi de (vd. 3.2; Fig. 7): **22,0 °C a 32,0 °C**, para Lisboa (no período de 25 de Julho a 12 de Agosto); e de **21,0 °C a 29,5 °C**, para Leiria (no período de 23 a 26 de Agosto).

No âmbito do projecto financiado pela FCT denominado *Desenvolvimento de Modelos de Conforto Térmico e Visual Sustentáveis* (Ref.^a PTDC/ECM/71914/2006), no qual se enquadra o presente estudo, foi desenvolvido no LNEC um modelo adaptativo de avaliação das condições de conforto térmico em ambientes interiores de edifícios em Portugal [1]. Esse modelo envolveu uma equipa interdisciplinar de investigadores das áreas das Ciências Sociais e de Engenharia, e baseou-se num conjunto significativo de resultados obtidos em levantamentos efectuados em edifícios de serviços (convencionais e de ensino) e residenciais (principalmente especiais; centros de dia e lares de idosos).

¹ - Para edifícios climatizados a norma específica os limites aceitáveis dos índices PMV e PPD [6].

Considerando o referido modelo adaptativo [1], as gamas de conforto térmico para as temperaturas exteriores¹ verificadas no período de medição são de (vd. 3.2; Fig. 7) **22,0 °C** a **31,0 °C**, para Lisboa (no período de 25 de Julho a 12 de Agosto); e de **21,5 °C** a **27,5 °C**, para Leiria (no período de 23 a 26 de Agosto).

3.2. Parâmetros higrotérmicos e índices térmicos

Durante o período de medições que decorreu no Verão de 2010, entre 25 de Julho e 26 de Agosto foram efectuados vinte e oito levantamentos das condições ambientes em várias habitações de edifícios localizados nas zonas de Lisboa e de Leiria (vd. 2.3; Quadro 3).

Nos quadros 7 e 8 apresentam-se os resultados dos principais parâmetros ambientes registados durante os levantamentos efectuados (*Lev.*), respectivamente, em Lisboa e em Leiria. Esses resultados correspondem aos valores médios das temperaturas do ar, interior e exterior, e da humidade relativa interior, calculados com base nos registos obtidos durante o período de medição (1 hora).

Nesses quadros indicam-se, ainda, os índices térmicos (*PMV* e *PPD*) calculados com base nos parâmetros interiores registados e em valores individuais estimados (actividade física e vestuário)², assim como, outros factores influentes nas condições térmicas ambientes (condições no espaço em estudo) registados no decorrer dos levantamentos efectuados.

¹ - Expressas, tal como na norma EN 15251 [6], em termos de temperatura média exterior, exponencialmente ponderada, *T_{mp}*, dos últimos sete dias [1].

² - Face à informação obtida durante a observação visual efectuada pelo técnico que realizou os levantamentos, os valores estimados foram 1,2 *Met* para a taxa de metabolismo (actividade física) e 0,5 *Clo* para a resistência térmica do vestuário (valor típico para o Verão).

Quadro 7 – Resultados obtidos nos levantamentos efectuados em habitações localizadas na zona de LISBOA

| Levantamento | Edifício | Exposição solar | Condições no espaço em estudo | Parâmetros ambientais | | | | Índices térmicos | |
|--------------|----------|-----------------|---------------------------------|-----------------------|----------|--------|-----------|------------------|---------|
| | | | | Ta (°C) | Top (°C) | HR (%) | Text (°C) | PMV | PPD (%) |
| Lev 1 | 1 | NW | — | 26,0 | 25,9 | 50 | 37,0 | 0,41 | 9 |
| Lev 2 | | | | 26,8 | 26,8 | 45 | 34,0 | 0,64 | 14 |
| Lev 3 | | | | 29,3 | 29,2 | 48 | 33,0 | 1,4 | 47 |
| Lev 4 | | | | 28,1 | 27,9 | 36 | 35,0 | 0,95 | 24 |
| Lev 5 | 2 | E / S | Protecções exteriores activadas | 28,4 | 28,4 | 48 | 33,0 | 1,1 | 32 |
| Lev 6 | | | | 29,2 | 29,4 | 44 | 35,0 | 1,4 | 45 |
| Lev 7 | | | | 28,4 | 28,7 | 41 | 29,0 | 0,97 | 25 |
| Lev 8 | | | | 34,1 | 34,2 | 32 | 32,0 | 2,7 | |
| Lev 9 | 3 | E / S | — | 31,4 | 31,5 | 41 | 33,0 | 2,0 | 76 |
| Lev 10 | | | | 29,3 | 29,4 | 44 | 35,0 | 1,4 | 46 |
| Lev 11 | | | | 27,7 | 28,0 | 47 | 28,0 | 0,96 | 24 |
| Lev 12 | | | | 32,2 | 32,2 | 34 | 36,0 | 2,1 | |
| Lev 13 | 4 | E / S | Janela aberta | 33,1 | 33,1 | 34 | 37,0 | 2,4 | |
| Lev 14 | | | | 30,5 | 30,9 | 24 | 26,0 | 1,5 | 49 |
| Lev 15 | | | | 27,2 | 28,3 | 55 | 22,0 | 0,93 | 23 |

T_a – Temperatura do ar interior T_{op} – Temperatura operativa do ar HR – Humidade relativa interior
 T_{ext} – Temperatura do ar exterior PMV – Voto Médio Previsível PPD – Percentagem Média de Insatisfeitos

Quadro 8 – Resultados obtidos nos levantamentos efectuados em habitações localizadas na zona de LEIRIA

| Levantamento | Edifício | Exposição solar | Condições no espaço em estudo | Parâmetros ambientais | | | | Índices térmicos | |
|--------------|----------|-----------------|---------------------------------|-----------------------|----------|--------|-----------|------------------|---------|
| | | | | Ta (°C) | Top (°C) | HR (%) | Text (°C) | PMV | PPD (%) |
| Lev 16 | 5 | SE | — | 26,0 | 26,8 | 63 | 23,0 | 0,57 | 12 |
| Lev 17 | | SE / NW | Janela aberta | 26,3 | 26,4 | 66 | 23,0 | 0,63 | 13 |
| Lev 18 | 6 | N | — | 24,9 | 25,4 | 72 | 21,0 | 0,28 | 7 |
| Lev 19 | | N | — | 26,3 | 26,4 | 66 | 21,0 | 0,65 | 14 |
| Lev 20 | | N | Janela aberta | — | 25,1 | 25,4 | 65 | 24,0 | 0,25 |
| Lev 21 | 7 | N | Protecções exteriores activadas | 23,0 | 23,6 | 60 | 24,0 | -0,41 | 9 |
| Lev 22 | 8 | E / S / N | — | 24,4 | 24,6 | 66 | 25,0 | 0,04 | 5 |
| Lev 23 | 9 | S | Ventoinha ligada | 26,0 | 26,2 | 60 | 23,0 | -0,17 | 6 |
| Lev 24 | 10 | S | — | 25,0 | 24,9 | 63 | 22,0 | 0,18 | 6 |
| Lev 25 | 11 | SE / SW | Protecções exteriores activadas | 26,1 | 27,2 | 59 | 28,0 | 0,57 | 12 |
| Lev 26 | 12 | S / W | — | 25,2 | 25,4 | 63 | 25,0 | 0,29 | 7 |
| Lev 27 | | N | — | 24,3 | 24,4 | 67 | 25,0 | 0,00 | 5 |
| Lev 28 | 13 | E | — | 25,4 | 25,6 | 63 | 20,0 | 0,36 | 8 |

T_a – Temperatura do ar interior

T_{op} – Temperatura operativa do ar

HR – Humidade relativa interior

T_{ext} – Temperatura do ar exterior

PMV – Voto Médio Previsível

PPD – Percentagem Média de Insatisfeitos

Uma breve análise das temperaturas exteriores registadas (Quadro 7 e Quadro 8) permite, desde logo, concluir que as condições climáticas foram, significativamente, diferentes nos períodos em que foram realizados os levantamentos em Lisboa (temperatura exterior, T_{ext} , entre 22 °C a 37 °C) e em Leiria (T_{ext} entre 20 °C a 28 °C). Este facto permite justificar, naturalmente, as variações assinaláveis registadas entre os parâmetros ambientais interiores (assim como os índices térmicos calculados) nos dois distritos.

Analisando os resultados obtidos por região (Lisboa e Leiria) as principais ilações a retirar são apresentadas nos pontos seguintes.

Resultados obtidos em Lisboa (25 e Julho a 12 de Agosto)

Nos levantamentos efectuados na região de Lisboa, no período de 25 de Julho a 12 de Agosto, os valores das temperaturas médias do ar interior (T_{ar}) registadas variaram entre, cerca de, **26,0 °C** e **34,0 °C**. Considerando o valor da temperatura de *referência* de conforto indicada na legislação energética actualmente em vigor em Portugal (**25,0 °C** no período de arrefecimento), verifica-se que os valores observados excedem o limite máximo indicado em todos os levantamentos.

Relativamente aos índices térmicos calculados (Quadro 7), que têm em conta os efeitos de outros parâmetros ambientais além da temperatura do ar e, ainda, os parâmetros individuais (actividade e vestuário), verifica-se que os valores obtidos para o índice *PMV* indicam que a opinião média estimada para um grupo de indivíduos varia entre o “*nem quente nem frio*” ($PMV = -0,4$) e o “*muito quente*” ($PMV = +2,7$) (Fig. 5), o que corresponde a uma variação da percentagem de insatisfeitos (*PPD*) de **9%** e **76%**. Considerando e os limites recomendados (vd. 3.1b) nas normas EN ISO 7730 e ASHRAE 55 ($PPD < 15\%$; $-0,7 < PMV < 07$), verifica-se que os resultados dos índices calculados para a grande maioria dos levantamentos (Quadro 7) se afastam dos valores máximos admissíveis especificados, indiciando situações nítidas de desconforto térmico, segundo os critérios propostos por aquelas normas. Apenas nos dois primeiros levantamentos (Lev.1 e Lev.2) os índices calculados permitiram indicar situações de conforto térmico ($PPD = 9$ e 14%), correspondendo os valores das temperaturas registadas nesses levantamentos a temperaturas inferiores a 27 °C.

Quanto à temperatura operativa, T_{op} , os valores registados durante os levantamentos realizados, à semelhança dos efectuados em Leiria, em termos médios foram muito semelhantes aos da temperatura do ar (T_{ar}), o que demonstra que nos pontos de medição os fenómenos radiativos foram praticamente nulos.

Numa abordagem adaptativa (vd. 3.1c), isto é adoptando modelos que consideram que, além dos factores físicos, os factores psicológicos e fisiológicos também têm um forte

influência na definição de conforto térmico, os limites indicados para situações de conforto térmico são mais tolerantes e são especificados em termos de temperatura operativa.

Na Fig. 7 representam-se os limites de temperaturas de conforto resultantes da aplicação do modelo adaptativo especificado na norma europeia EN 15251 [6] e do modelo desenvolvido pelo LNEC [1] no âmbito do projecto de investigação atrás referido. Representam-se, ainda, na referida figura as temperaturas operativas interiores obtidas no decorrer de todos os levantamentos efectuados durante esta campanha experimental de Verão (em Lisboa e em Leiria).

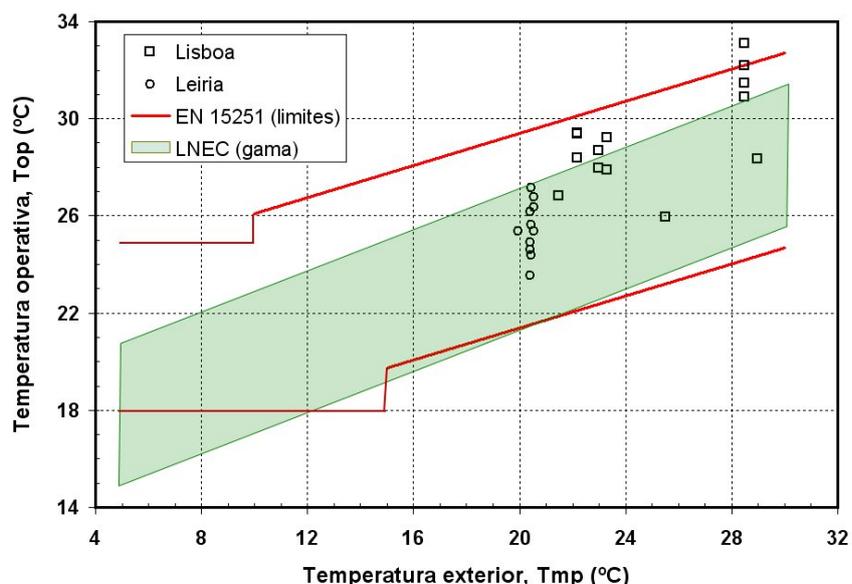


Fig. 7 – Temperaturas operativas obtidas ao longo dos levantamentos efectuados e limites recomendados

Relativamente aos valores registados em Lisboa, observando a figura anterior verifica-se que apenas uma das temperaturas interiores, *Top*, se encontra fora da gama de temperaturas resultantes da aplicação do modelo adaptativo especificado na norma europeia EN 15251 [6]. Nesse sentido pode-se concluir que a adopção do referido modelo permitiu indiciar situações de conforto térmico na globalidade dos levantamentos efectuados.

Quando se consideram os limites consequentes da aplicação do modelo adaptativo do LNEC (Fig. 7) verifica-se que, em 70% dos levantamentos efectuados em Lisboa as condições ambientes são de desconforto térmico. Salienta-se ainda que nesses levantamentos as temperaturas interiores registadas foram superiores a 28 °C.

Merece, ainda, referência o facto de, apesar das temperaturas interiores nos levantamentos efectuados terem sido elevadas (26,0 °C a 34,0 °C), se ter verificado que, em apenas 25% dos espaços dotados de uma ventoinha, este sistema de arrefecimento estava em funcionamento aquando das medições (Quadro 1 e Quadro 7; Lev 12 e Lev 14). Por outro

lado a abertura de janelas, com o suposto objectivo de arrefecer o espaço interior, foi efectuada em quase 50% dos levantamentos realizados.

Resultados obtidos em Leiria (23 a 26 de Agosto)

Nos levantamentos efectuados na região de Leiria, no período de 23 a 26 de Agosto, os valores das temperaturas médias do ar interior (T_{ar}) registadas variaram entre, cerca de, **23,0 °C** e **26,5 °C**, valores bastante inferiores aos registados em Lisboa. Considerando a temperatura de *referência* de conforto referida na actual legislação em vigor em Portugal (**25,0 °C** no período de arrefecimento), verifica-se que cerca de 60% das temperaturas interiores registadas foram inferiores ou, excederam ligeiramente, o limite máximo indicado nessa regulamentação.

Relativamente aos índices térmicos calculados, *PMV* e *PPD*, (Quadro 8), verifica-se que os valores obtidos para o índice *PMV* indicam que a opinião média estimada para um grupo de indivíduos varia entre o “*nem quente nem frio*” ($PMV = -0,4$) e o “*ligeiramente quente*” ($PMV = +0,6$) (Fig. 5), o que corresponde a uma variação da percentagem de insatisfeitos (*PPD*) de **5%** e **14%**. Considerando e os limites recomendados (vd. 3.1*b*) na normalização internacional ($PPD < 15\%$; $-0,7 < PMV < 0,7$), verifica-se que os resultados dos índices calculados para a totalidade dos levantamentos (Quadro 8) se enquadram nas gamas de valores especificados, indiciando situações de conforto térmico segundo os critérios propostos pelas normas EN ISO 7730 e ASHRAE 55.

Numa abordagem adaptativa, considerando os valores da temperatura operativa, T_{op} , pode-se verificar, da análise da Fig. 7, que todos os valores da temperatura interior, medidos e registados ao longo da campanha experimental realizada em Leiria, se encontram dentro das gamas de temperaturas resultantes da aplicação dos modelos adaptativos indicados (vd. 3.1*c*), indiciando situações de conforto térmico.

3.3. Percepções térmicas

No sub-capítulo anterior apresentaram-se os resultados referentes aos parâmetros ambientais (objectivos) determinantes na descrição da percepção térmica dos utentes, e na consequente definição das suas condições de conforto térmico.

De seguida descrevem-se e analisam-se as percepções térmicas individuais dos utentes dos espaços estudados, nomeadamente, a *sensação* e a *preferência* térmicas expressas nos questionários aplicados aos inquiridos aquando da realização dos levantamentos.

a) Sensação térmica

De modo a avaliar a sensação humana no contexto de um determinado ambiente térmico interior foi utilizada a escala atrás descrita (Fig. 5), através da qual cada inquirido manifestou a sua *sensação* térmica durante o período em que decorreu a medição dos parâmetros ambientais interiores.

Na Fig. 8 representa-se a distribuição de todas as respostas referentes à *sensação* térmica (Fig. 5) fornecidas pelo conjunto de inquiridos ($N = 35$)¹ ao longo dos levantamentos efectuados nos vários edifícios estudados nas regiões de LISBOA (Quadro 1) e de LEIRIA (Quadro 2).

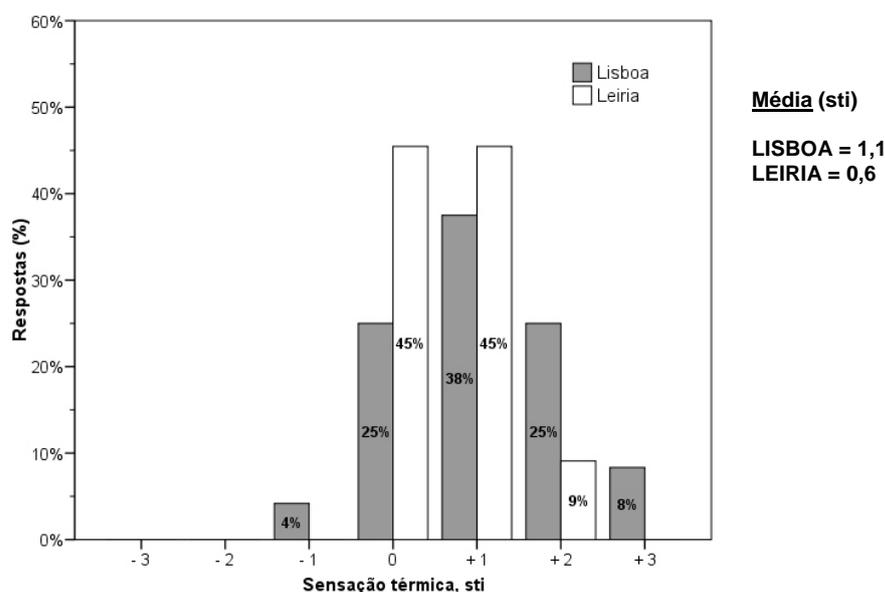


Fig. 8 – Distribuição das respostas de *sensação* térmica dos inquiridos

De uma forma global, a figura anterior permite retirar as seguintes ilações para os levantamentos efectuados, separadamente em cada região do País:

Resultados obtidos em Lisboa (25 e Julho a 12 de Agosto)

- A distribuição de respostas indica uma sensação generalizada de calor², visto que cerca de 70% dos inquiridos terem respondido entre “ligeiramente quente” ($sti = +1$) e “muito quente” ($sti = +3$);
- apenas 25% de inquiridos consideraram não ter “nem frio nem calor” ($sti = 0$);
- considerando que os valores de $sti = \pm 2$ e ± 3 correspondem a sensações de desconforto térmico (insatisfação), verifica-se que 37% do total das respostas revelam uma sensação de insatisfação dos inquiridos face às condições ambientes existentes.

¹ - Foram inquiridas 24 pessoas em Lisboa e 11 em Leiria.

² - Facto também evidenciado pelo valor médio ($sti = 1,1$) das respostas obtidas em todos os levantamentos efectuados em Lisboa.

Tal como já foi referido o índice *PMV* (voto médio previsível), determinado com base nas medições dos parâmetros ambientais (vd. 3.2) e na estimativa dos parâmetros individuais (vestuário e actividade física) pretendem, justamente, estimar a sensação térmica dos inquiridos. Comparando os resultados dos índices térmicos *PMV* obtidos nos levantamentos efectuados em Lisboa (Quadro 7) com as sensações térmicas expressas pelos inquiridos (Fig. 8), verifica-se que a avaliação através do *PMV* subestima claramente as sensações expressas pelos inquiridos. Enquanto que, através do cálculo de *PMV* apenas em dois levantamentos se estimem situações de conforto térmico, considerando os votos expressos pelos inquiridos verifica-se que, em mais de 50% dos levantamentos, os inquiridos consideraram confortáveis as condições ambientes.

Este facto demonstra, tal como se tem verificado noutras campanhas experimentais realizadas no âmbito de outros estudos [8, 9], que a utilização dos índices térmicos (*PMV* e *PPD*) para a avaliação das condições de espaços não-climatizados não se revela, em geral, adequada.

Resultados obtidos em Leiria (23 a 26 de Agosto)

- A generalidade das respostas (90%), indicadas pelos inquiridos relativamente à sua sensação térmica aquando da realização das medições divide-se, equitativamente, entre as sensações “*nem quente nem frio*” ($sti = 0$) e “*ligeiramente quente*” ($sti = +1$);
- em termos de desconforto térmico ($sti = \pm 2$ e ± 3) verifica-se que apenas, cerca de, 9% do total das respostas revelam uma sensação de insatisfação por parte dos inquiridos face ao ambiente térmico circundante.

Comparando os resultados dos índices térmicos *PMV* obtidos nos levantamentos efectuados em Leiria (Quadro 8) com as sensações térmicas expressas pelos inquiridos (Fig. 8), verifica-se que a avaliação através do *PMV* reflecte as sensações expressas pelos inquiridos, estimando a ocorrência de situações de conforto térmico nos levantamentos efectuados durante o período de medições.

b) Preferência térmica

De acordo com a metodologia adoptada neste estudo (vd. 2.3), após a indicação da sensação térmica nos questionários, os inquiridos foram convidados a exprimirem a sua preferência térmica, *pti*, utilizando para o efeito a escala apresentada na Fig. 6.

A distribuição das respostas referentes à preferência térmica, proporcionadas por todos os inquiridos durante os levantamentos efectuados nos dois períodos acima referidos em LISBOA e em LEIRIA é representada na Fig. 9.

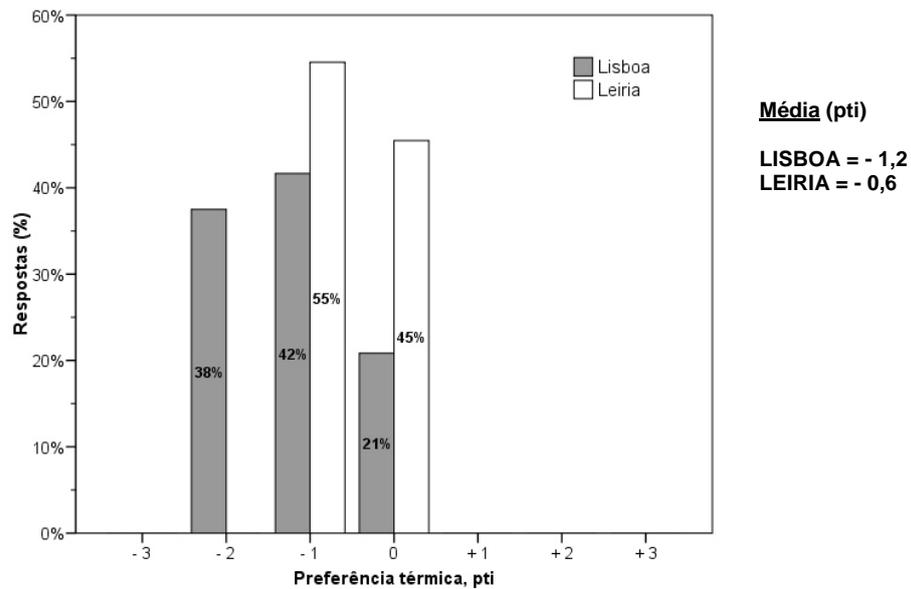


Fig. 9 – Distribuição das respostas de *preferência* térmica dos inquiridos

Analisando o gráfico da figura anterior podem-se fazer as seguintes observações, em relação aos resultados obtidos durante a presente campanha experimental realizada em Lisboa e em Leiria:

Resultados obtidos em Lisboa (25 e Julho a 12 de Agosto)

- Apenas cerca de 20% dos inquiridos preferia manter as condições ambientes interiores como estavam ($pti = 0$);
- as restantes respostas expressam, nitidamente, uma preferência para temperaturas mais baixas ($pti = -1$ e -2), facto que coincide com a votação manifestada pelos inquiridos em relação a sensação térmica em que, na generalidade, a percepção expressa foi de calor (Fig. 8).

Resultados obtidos em Leiria (23 a 26 de Agosto)

- Cerca de 45% dos inquiridos preferia manter as condições ambientes interiores como estavam ($pti = 0$), em igual percentagem à manifestada na sensação térmica como “*nem quente nem frio*” ($sti = 0$) (Fig. 8);
- as restantes 55% de respostas revelam uma preferência dos inquiridos para temperaturas ligeiramente mais baixas ($pti = -1$). Tal como se verificou nos resultados obtidos no período de medições em Lisboa, esta tendência reflecte a ligeira sensação de calor manifestada, por grande parte dos inquiridos, na escala de sensação térmica (Fig. 8).

4 - CONCLUSÕES

Nos capítulos precedentes apresentaram-se os resultados de um programa de levantamentos pontuais efectuados em diversos espaços interiores de edifícios habitacionais localizados nas regiões de Lisboa e de Leiria, durante o período de Verão do ano transacto (25 de Julho a 26 de Agosto).

Tal como foi descrito na metodologia de estudo adoptada (*vd.* 2.3), os levantamentos consistiram na medição de vários parâmetros ambientais interiores durante o período de uma hora, assim como da recolha da opinião dos ocupantes dos espaços estudados, através de um inquérito por questionário, relativamente às condições ambientais interiores.

Com este conjunto de medições pretendeu-se avaliar as condições ambientes no interior dos espaços estudados de edifícios habitacionais localizados em diferentes regiões climáticas, em condições de Verão. Num outro relatório serão avaliadas as condições interiores no período de Inverno nos mesmos locais agora estudados, assim como noutras regiões do País.

Tendo em conta as diferentes localizações dos edifícios estudados, a avaliação dos resultados obtidos na campanha experimental realizada é apresentada por região (Lisboa e Leiria), nos dois períodos de medição, nomeadamente, entre 25 de Julho e 12 de Agosto (Lisboa) e nos dias 23 a 26 de Agosto (Leiria).

As condições climáticas em cada período de medição foram significativamente diferentes durante a realização dos levantamentos. Enquanto que no período de 25 de Julho e 12 de Agosto em Lisboa as temperaturas exteriores variaram entre 22,0 °C e 37,0 °C (Quadro 7), nos dias 23 a 26 de Agosto, em Leiria, as temperaturas exteriores foram mais amenas (embora ainda típicas de Verão), variando entre 20,0 °C a 28° C (Quadro 8). Nesse sentido, como adiante é referido, as condições interiores nos edifícios estudados em Lisboa foram menos satisfatórias do que as observadas em Leiria.

As principais conclusões que se podem retirar do conjunto total de levantamentos efectuados na presente campanha de medições são as seguintes:

Resultados obtidos em Lisboa (25 e Julho a 12 de Agosto)

- As temperaturas médias interiores determinadas variaram entre, cerca de, 26 °C e 34 °C, ultrapassando as temperaturas convencionais de referência de conforto actualmente referidas na regulamentação nacional [2][5];
- adoptando os valores normativos recomendados para os índices térmicos (*PMV* e *PPD*) [4][6][7] (embora mais vocacionados para aplicação em espaços climatizados) as condições ambientes interiores obtidas são também, na generalidade,

consideradas insatisfatórias (apenas em duas situações se pode considerar existirem condições de conforto térmico);

- quando se considera um abordagem adaptativa, mais adequada à avaliação das condições ambientes em edifícios não-climatizados, as condições interiores registadas (temperatura operativa) nos levantamentos efectuados (com excepção de um) encontram-se dentro dos limites de conforto térmico resultantes da aplicação do modelo adaptativo indicado na normalização europeia (Fig. 7). Aplicando o modelo desenvolvido no LNEC, verifica-se que o conjunto de levantamentos para os quais foram estimadas condições de conforto térmico foi bem mais reduzido (40%);
- quando os ocupantes dos espaços estudados foram, directamente, inquiridos por questionário acerca das suas percepções térmicas durante as medições efectuadas em Lisboa verificou-se que a percentagem de *insatisfeitos* representa cerca de 40% dos utentes inquiridos, sendo bastante elevada a percentagem (80%) de inquiridos que manifestaram uma *preferência* por uma temperatura ambiente mais baixa.

Resultados obtidos em Leiria (23 a 26 de Agosto)

- As condições ambientes interiores (temperaturas médias entre 26 °C e 29 °C) encontram-se acima da temperatura convencional de referência de conforto indicada na regulamentação nacional em vigor [2][5];
- se se adoptarem, quer os valores normativos recomendados para os índices térmicos (*PMV* e *PPD*) [4][6][7], quer os valores determinados com base em dois modelos adaptativos, as condições ambientes interiores obtidas são, na generalidade, consideradas satisfatórias;
- em relação à opinião dos utentes inquiridos por questionário, acerca das suas percepções térmicas, verifica-se que apesar da percentagem de insatisfeitos ser reduzida (9%), mais de metade dos inquiridos expressou a *preferência* por uma temperatura ambiente mais baixa;

No âmbito geral, como seria de esperar (tendo em conta vários estudos de investigação), a aplicação de modelos adaptativos na avaliação das condições ambientes em edifícios não climatizados, traduz com melhor aproximação as percepções e expectativas dos utentes dos espaços estudados. Salienta-se que, para temperaturas interiores mais elevadas (resultados obtidos em Lisboa no período de 25 de Julho a 12 de Agosto), se verifica que os resultados que advém da aplicação do modelo desenvolvido no LNEC, vão mais de encontro com as percepções expressas por inquérito directo aos ocupantes dos espaços, do que as estimativas resultantes da aplicação do modelo indicado na norma europeia EN 15 251 [6].

No Inverno 2010-2011 foi desenvolvida uma segunda campanha experimental em edifícios habitacionais, seguindo a metodologia apresentada no presente estudo. Em grande parte dos edifícios descritos no presente trabalho foram avaliadas novamente as condições ambientes, assim como noutros edifícios localizados nas regiões de Lisboa e de Leiria, mas também em Portalegre, Braga e Faro.

Lisboa e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em Abril de 2011.

VISTO

O Chefe da Equipa de Projecto Especial
Edificação Sustentável



Carlos Alberto Pina dos Santos

AUTORIA



Luís Matias
(Investigador Auxiliar)

O Conselho Directivo



Carlos Pina
Presidente do LNEC

BIBLIOGRAFIA

1. MATIAS, L.; – *Desenvolvimento de um modelo adaptativo para definição das condições de conforto térmico em Portugal*. Coleção Teses e Programas de Investigação do LNEC (TPI), TPI 65. Lisboa: LNEC, 2010.
2. /P/ - Leis, decretos, etc. – *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril)*. Diário da República nº 67, I SÉRIE-A, p. 2468 a 2513.
3. COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION (CEN) – *Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities (ISO 7726:1998)*. EN ISO 7726: 2001.
4. CEN – *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 (ISO 7730:2005)*. EN ISO 7730:2005.
5. /P/ - Leis, decretos, etc. – *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril)*. Diário da República nº 67, I SÉRIE-A, p. 2416 a 2468.
6. CEN – *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings-addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. EN 15251:2007.
7. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE) – *Thermal environmental conditions for human occupancy*. ANSI/ASHRAE Standard 55-2004.
8. MATIAS, L.; PINA SANTOS, C.; PINTO, A. – *Net Zero Energy School – Reaching the Community. Escola secundária de Vergílio Ferreira. Condições ambientes no período de Inverno de 2010*. Relatório nº 180/2010 – ES/LNEC. Lisboa: LNEC, Junho de 2010.
9. MATIAS, L.; PINA SANTOS, C.; PINTO, A. – *Net Zero Energy School – Reaching the Community. Escola secundária de Vergílio Ferreira. Condições ambientes no período de meia-estação de 2010*. Relatório nº 269/2010 – ES/LNEC. Lisboa: LNEC, Agosto de 2010.

ANEXO I – INQUÉRITO



INQUÉRITO SOBRE:
CONFORTO TÉRMICO

(V02_10h_Ver)

Este edifício está a ser estudado ao abrigo de um trabalho de investigação desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

O objectivo deste inquérito é avaliar a opinião dos ocupantes deste edifício relativamente ao ambiente térmico, de modo a identificar os factores psicossociais que influenciam a sensação de conforto térmico.

Os resultados deste inquérito complementarão as medições de vários parâmetros ambientes efectuadas em simultâneo.

Sendo a sua participação fulcral para o desenvolvimento deste estudo, pedimos que responda com franqueza às perguntas que seguidamente são apresentadas. Salienta-se ainda que todas as respostas são confidenciais e anónimas, sendo os dados tratados apenas para fins estatísticos.

Muito obrigado pelo tempo despendido e pela sua cooperação.

Atentamente,

(Luís Matias)

***"O conforto térmico pode ser definido como
o estado de espírito que expressa satisfação
com o ambiente térmico" (EN ISO 7730)***

Lisboa, 2010

- 1 Dos seguintes factores, ordene os que considera mais importantes para que se sinta CONFORTÁVEL (em termos gerais) na sala onde se encontra neste momento (*identificar os três primeiros com 1º, 2º e 3º*).

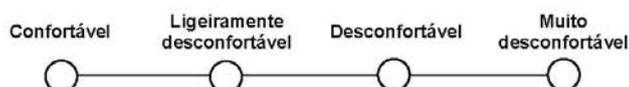
| | | | |
|--------------------------------|-----|---------------------------|-----|
| O ruído | ___ | A luz natural | ___ |
| A ventilação | ___ | A luz artificial | ___ |
| A visibilidade para o exterior | ___ | A privacidade | ___ |
| A temperatura | ___ | A sua localização na sala | ___ |
| A decoração / mobiliário | ___ | Outro factor: _____ | ___ |

- 2 Considerando apenas O AMBIENTE TÉRMICO do local onde se encontra NESTE MOMENTO, responda às seguintes questões:

- 2.1 Como se SENTE, neste momento ?



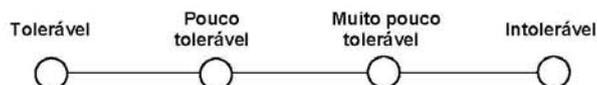
- 2.2 Como CONSIDERA o ambiente térmico, neste momento ?



- 2.3 Neste momento, como GOSTARIA que o ambiente térmico estivesse ?



- 2.4 Em termos de TOLERÂNCIA, como classifica o ambiente térmico, neste momento?



- 3 Existe uma série de medidas que as pessoas podem adoptar de modo a melhorar as suas condições de conforto térmico. Tomando em consideração O LOCAL EM QUE SE ENCONTRA NESTE MOMENTO responda as seguintes questões:

- 3.1 Alterou o seu VESTUÁRIO no decorrer da última hora, com o intuito de melhorar as condições de conforto térmico ?

NÃO SIM | ⇒ Despiu
 ⇒ Vestiu

3.2 INGERIU ALGUMA BEBIDA, no decorrer da última hora ?

NÃO

SIM | => Senti CALOR
=> Senti FRIO
=> Outra razão

3.3 Durante a última hora, assinale se tomou algumas das seguintes medidas com o intuito de melhorar as condições de conforto térmico.

- | | | | |
|--|-----------------------|---|-----------------------|
| 1. Abrir / fechar uma janela | <input type="radio"/> | 6. Alterar a temperatura do aquec. / AC | <input type="radio"/> |
| 2. Abrir / fechar uma porta | <input type="radio"/> | 7. Outra: _____ | <input type="radio"/> |
| 3. Ligar / desligar uma ventoinha | <input type="radio"/> | 8. Não tomei nenhuma | <input type="radio"/> |
| 4. Subir / descer estores ou correr cortinas | <input type="radio"/> | | |
| 5. Ligar / desligar o aquec. / AC | <input type="radio"/> | | |

3.4 Quando SENTE CALOR, neste espaço, o que costuma fazer ?

- | | | | |
|------------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1. Ligo o AC | <input type="radio"/> | 5. Bebo uma BEBIDA fresca | <input type="radio"/> |
| 2. Ligo a VENTONHA | <input type="radio"/> | 6. Não faço NADA | <input type="radio"/> |
| 3. Dispo uma peça de ROUPA | <input type="radio"/> | 7. Outra: _____ | <input type="radio"/> |
| 4. Abrir / fechar uma JANELA | <input type="radio"/> | | |

4.1 Caso tenha (ou desejasse ter) um sistema de AR CONDICIONADO EM CASA, indique quais as principais razões PORQUE TEM (OU GOSTARIA DE TER) esse tipo de equipamento (pode responder a mais de uma opção):

- | | | | |
|---|-----------------------|--|-----------------------|
| A casa é muito quente | <input type="radio"/> | Valoriza a casa | <input type="radio"/> |
| Não é possível arrefecer a casa naturalmente (por ex. fechar estores de dia / abrir janelas de noite) | <input type="radio"/> | Permite manter a temperatura constante | <input type="radio"/> |
| Já estava instalado | <input type="radio"/> | Custo de aquisição baixo | <input type="radio"/> |
| Outra razão _____ | <input type="radio"/> | Não tenho / não desejo ter | <input type="radio"/> |

4.2 Indique as razões PORQUE NÃO TEM (OU NÃO DESEJA TER) um sistema de AR CONDICIONADO instalado em sua CASA (pode responder a mais de uma opção):

- | | | | |
|---|-----------------------|--|-----------------------|
| A casa é confortável | <input type="radio"/> | É possível arrefecer a casa naturalmente | <input type="radio"/> |
| Custo de aquisição elevado | <input type="radio"/> | Provoca problemas de saúde | <input type="radio"/> |
| Custo de utilização elevado | <input type="radio"/> | Provoca problemas ambientais | <input type="radio"/> |
| Cria um ambiente artificial | <input type="radio"/> | Faz muito ruído | <input type="radio"/> |
| Provoca correntes de ar desconfortáveis | <input type="radio"/> | Deve manter-se as janelas fechadas | <input type="radio"/> |
| Outra razão _____ | <input type="radio"/> | Tenho / desejo ter | <input type="radio"/> |

ANEXO II – FOTOGRAFIAS DOS ESPAÇOS ESTUDADOS



Hab. 1

Não disponível



Hab. 3



Hab. 4



Hab. 5



Hab. 6

Fig. II.1 – Aspecto dos espaços interiores estudados em LISBOA



Hab. 7



Hab. 8



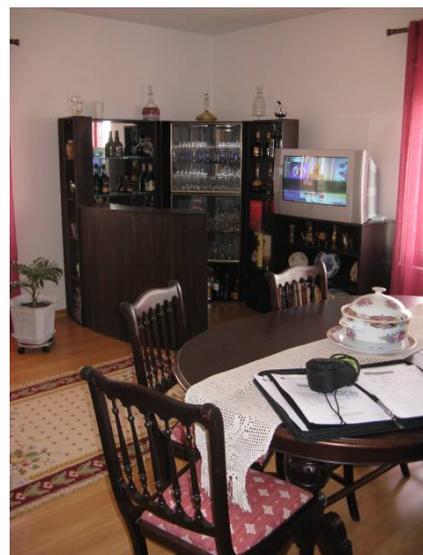
Hab. 9



Hab. 10



Hab. 11



Hab. 12

Fig. II.1 (cont.) – Aspecto dos espaços interiores estudados em LISBOA



Hab. 13

Não disponível

Hab. 14



Hab. 15

Fig. II.1 (cont.) – Aspecto dos espaços interiores estudados em LISBOA



Hab. 16



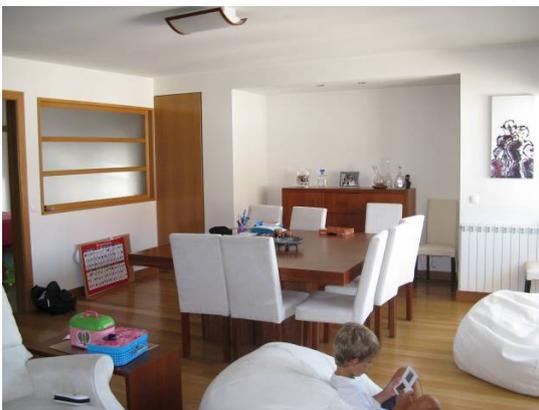
Hab. 17



Hab. 18



Hab. 19



Hab. 20



Hab. 21



Hab. 22



Hab. 23

Fig. II.2 – Aspecto dos espaços interiores estudados em LEIRIA



Hab. 24



Hab. 25



Hab. 26



Hab. 27



Hab. 28

Fig. II.2 (cont.) – Aspecto dos espaços interiores estudados em LEIRIA

