



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

CONSELHO DIRETIVO
Projeto Especial de Edificação Sustentável

Proc. 5101/14/16598

CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO SOCIAL

Bairro Sá Carneiro (Leiria)

Medições no inverno

Projeto FCT n.º PTDC/ECM/71914/2006

Lisboa • julho de 2012

I&D EDIFÍCIOS

RELATÓRIO 181/2012 – ES/LNEC

**CONFORTO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO SOCIAL.
BAIRRO SÁ CARNEIRO (LEIRIA)
MEDIÇÕES NO INVERNO**

RESUMO

No âmbito da intervenção de reabilitação do bairro de habitação social Sá Carneiro, em Marrazes (Leiria), cofinanciada pelo *Instituto de Habitação e da Reabilitação Urbana* (IHRU), a cooperativa de habitação *Nova Habitação Cooperativa* (NHC) manifestou-se disponível e interessada na realização, pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), de um estudo com vista à avaliação das condições de conforto térmico no interior de habitações de vários edifícios constituintes do referido bairro antes, e após a intervenção de reabilitação.

Nesse sentido, o estudo em curso consistiu na medição das condições higrotérmicas interiores registadas ao longo de vários períodos do ano, abarcando diversas fases da intervenção de reabilitação e as diversas estações do ano. Em relatórios anteriores [2][3] apresentaram-se os resultados das campanhas de medições efetuadas na meia-estação, (março / abril de 2011) e no verão (agosto / setembro de 2011).

O presente relatório apresenta e analisa os resultados da campanha de medições das condições higrotérmicas realizada durante um período de inverno de cerca de quatro semanas (12 de janeiro a 8 de fevereiro de 2012), em simultâneo no interior de seis habitações representativas do empreendimento.

De modo a avaliar as condições de conforto térmico interior nos espaços estudados, assim como a perceção térmica dos seus ocupantes, foi ainda realizado um conjunto de levantamentos pontuais nas referidas habitações nos dois primeiros dias de medições (12 e 13 de janeiro). Estes levantamentos foram orientados para a recolha de diversos parâmetros ambientes 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.

No presente documento apresentam-se os resultados e a análise de medições efetuadas, quer em contínuo (parâmetros higrotérmicos) nos vários espaços interiores estudados, quer pontualmente, no que respeita aos parâmetros ambientais que influenciam as condições de conforto térmico.

No final do presente relatório apresenta-se, ainda, uma análise global dos resultados decorrentes das três campanhas de medições efetuadas no decorrer deste estudo.

**THERMAL COMFORT IN RESIDENTIAL SOCIAL HOUSING
“BAIRRO SÁ CARNEIRO (LEIRIA)”
WINTER MEASUREMENTS**

**CONFORT THERMIQUE DANS DES BATIMENTS RESIDENTIELS SOCIALES
“BAIRRO SA CARNEIRO (LEIRIA)”
MESURES EN HIVER**

**CONFORTO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO SOCIAL.
BAIRRO SÁ CARNEIRO (LEIRIA)**

MEDIÇÕES NO INVERNO

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	4
2.3. Avaliação das condições higrotérmicas (medições em contínuo)	6
2.4. Consumos elétricos	8
2.5. Avaliação das condições de conforto térmico (medições pontuais)	8
3. CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS (MEDIÇÕES EM CONTÍNUO)	11
3.1. Resultados obtidos	11
4. CONFORTO TÉRMICO (MEDIÇÕES PONTUAIS)	24
4.1. Critério de avaliação.....	24
4.2. Resultados obtidos	26
4.2.1. <i>Parâmetros higrotérmicos e índices térmicos</i>	26
4.2.2. <i>Percepções térmicas</i>	28
CONCLUSÕES.....	30
BIBLIOGRAFIA	34

**CONFORTO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO SOCIAL.
BAIRRO SÁ CARNEIRO (LEIRIA)
MEDIÇÕES NO INVERNO**

ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
Fig. 1 – Planta de implantação do bairro Sá Carneiro (Marrazes, Leiria)	4
Fig. 2 – Exemplo de sistemas de aquecimento ambiente	6
Fig. 3 – Sistema de medição e de registo da temperatura e da humidade relativa interior	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 – Evolução das temperaturas mínima, média e máxima diárias exteriores durante o período de medição	11
Fig. 8 – Evolução da radiação solar, média e máxima diárias durante o período de medição.....	12
Fig. 9 – Evolução da temperatura do ar no interior de frações estudadas.....	13
Fig. 10 – Evolução da humidade relativa do ar no interior das frações estudadas.....	15
Fig. 11 – Fração habitacional do bairro Sá Carneiro com humidade nas paredes	16
Fig. 12 – Evolução da temperatura em frações localizadas em pisos intermédios e últimos (edifícios não reabilitados).	19
Fig. 13 – Evolução da temperatura em frações localizadas em pisos intermédios e últimos (edifícios reabilitados).	19
Fig. 14 – Evolução da temperatura do ar na sala de estar e num dos quartos da <i>Hab. 16</i>	20
Fig. 15 – Evolução da temperatura em espaços de frações localizadas em piso intermédios (exposição solar <i>Este</i>).....	22
Fig. 16 – Evolução da temperatura em espaços de frações localizadas em últimos pisos (exposição solar <i>Este</i>)	22
Fig. 17 – Temperaturas operativas obtidas ao longo dos levantamentos efetuados e limites recomendados.....	28

**CONFORTO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO SOCIAL.
BAIRRO SÁ CARNEIRO (LEIRIA)
MEDIÇÕES NO INVERNO**

ÍNDICE DE QUADROS

	<i>Pág.</i>
Quadro 1 – Elementos referentes aos edifícios e habitações estudados no bairro Sá Carneiro (Marrazes, Leiria)	5
Quadro 2 – Elementos referentes às habitações estudados no bairro Sá Carneiro e aos sistemas de medição dos parâmetros higrotérmicos	7
Quadro 3 – Levantamentos pontuais efetuados em habitações do bairro Sá Carneiro	10
Quadro 4 – Resultados das medições em contínuo da temperatura do ar efetuadas em habitações do bairro Sá Carneiro	14
Quadro 5 – Resultados das medições em contínuo da temperatura do ar efetuadas em habitações do bairro Sá Carneiro em função da localização das frações	17
Quadro 6 – Resultados das medições em contínuo da temperatura do ar efetuadas em habitações do bairro Sá Carneiro em função do estado das frações	21
Quadro 7 – Ambientes térmicos e respetivas exigências [6]	24
Quadro 8 – Aplicabilidade das classes de ambientes térmicos e gamas de temperaturas aceitáveis [8]	25
Quadro 9 – Resultados obtidos nos levantamentos pontuais efetuados em várias habitações do bairro Sá Carneiro	26

CONFORTO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO SOCIAL. BAIRRO SÁ CARNEIRO (LEIRIA)

MEDIÇÕES NO INVERNO

1. INTRODUÇÃO

No âmbito da intervenção de reabilitação do bairro de habitação social Sá Carneiro, em Marrazes (Leiria), co-financiada pelo *Instituto de Habitação e da Reabilitação Urbana* (IHRU), a cooperativa de habitação *Nova Habitação Cooperativa* (NHC) manifestou-se disponível e interessada na realização, pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), de um estudo com vista à avaliação das condições de conforto térmico no interior de habitações de vários edifícios constituintes do referido bairro, antes e após a intervenção de reabilitação.

A referida intervenção, em termos gerais, constou: da aplicação de um sistema compósito de isolamento térmico pelo exterior nas paredes da envolvente (ETICS); do isolamento térmico da cobertura em terraço com uma solução do tipo cobertura invertida; e da substituição dos vãos envidraçado existentes por caixilharia de alumínio com vidro duplo.

Nos últimos anos o LNEC tem desenvolvido um número muito significativo de campanhas de levantamentos das condições ambientais em edifícios de serviços e residenciais, em diversas localidades do País, no âmbito de um projeto de investigação, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) e denominado *Desenvolvimento de Modelos de Conforto Térmico e Visual Sustentáveis* (ref.^a PTDC/ECM/71914/2006). Na sequência da análise dos resultados entretanto obtidos no âmbito deste projeto, foi desenvolvido no LNEC um modelo adaptativo de avaliação das condições de conforto térmico em ambientes interiores de edifícios em Portugal [1].

Apesar de se terem já realizado diversos levantamentos das condições de conforto térmico em ambientes interiores no setor residencial, as características construtivas e socioeconómicas do bairro Sá Carneiro, proporcionam uma oportunidade de enriquecer os conhecimentos adquiridos e de contribuir para o desenvolvimento do modelo adaptativo proposto pelo LNEC. De salientar, ainda, o facto de este caso particular permitir a realização de medições durante um processo de intervenção de reabilitação que afeta as características e o desempenho térmico (e energético) das referidas habitações e, muito provavelmente, os comportamentos relevantes dos residentes.

Nesse sentido, o estudo das condições de conforto térmico no referido bairro consistiu na realização de três campanhas de medições das condições higrotérmicas em várias frações

habitacionais representativas de diversas localizações nos edifícios (pisos diferentes) e no empreendimento (orientações solares diferentes), antes e após a reabilitação.

Com o intuito de caracterizar as condições ambientes ao longo do ano climático as três campanhas de medições foram realizadas, respetivamente, nos períodos de meia estação (março / abril de 2011), de verão (agosto / setembro de 2011) e de inverno (janeiro / fevereiro de 2012). Os resultados referentes às duas primeiras campanhas experimentais são apresentados em dois anteriores relatórios do LNEC [2 e 3].

De modo a avaliar as condições de conforto térmico interior nos espaços estudados, assim como a perceção térmica dos seus ocupantes, no âmbito da presente campanha foi ainda realizado um conjunto de levantamentos pontuais nas referidas habitações, nos dias 12 e 13 de janeiro. Estes levantamentos foram orientados, à semelhança das campanhas anteriores, para a recolha de diversos parâmetros ambientes 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.

No presente documento apresentam-se a análise de medições efetuadas e os resultados obtidos durante a última campanha experimental (período de inverno), que decorreu entre 12 de janeiro e 8 de fevereiro p.p..

De acordo com a metodologia adotada nas duas campanhas anteriores, foram registados quer parâmetros higrotérmicos, em contínuo nos vários espaços interiores estudados quer, pontualmente, os parâmetros ambientais que influenciam as condições de conforto térmico.

No decorrer da presente campanha foi também possível registar e acompanhar a evolução dos consumos elétricos de todas as frações residenciais estudadas ao longo das três campanhas experimentais realizadas, mediante a leitura periódica, durante um período de quatro meses, dos correspondentes contadores.

No final do presente relatório apresenta-se ainda, uma análise global dos resultados decorrentes das três campanhas de medições efetuadas no decorrer deste estudo.

2. METODOLOGIA DO ESTUDO DESENVOLVIDO

2.1. Generalidades

No âmbito e no seguimento¹ do projeto de investigação acima referido (vd. 1) o LNEC desenvolve 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 com a NHC a realização de três campanhas de medições em espaços interiores (geralmente, a sala de estar / sala de jantar e um quarto) de várias habitações em diferentes blocos de edifícios multifamiliares do bairro Sá Carneiro, em Marrazes (Leiria).

A primeira campanha de medições foi efetuada durante a meia estação (primavera de 2011) [2], a segunda no período de verão (agosto / setembro de 2011) [3] e, por último, a terceira foi realizada em janeiro / fevereiro de corrente ano. Todas as campanhas de medições incidiram sobre edifícios reabilitados e por reabilitar.

Tal como é referido nos relatórios anteriores [2 e 3], nos quais foram apresentados e analisados os resultados das duas primeiras campanhas de medições (meia estação e verão), as campanhas têm como objetivo a realização de medições das condições higrotérmicas (temperatura e humidade relativa do ar): em contínuo durante algumas semanas; em simultâneo no interior de várias habitações representativas, quer de diversas localizações nos edifícios (pisos diferentes), quer no empreendimento (orientações solares diferentes). Na maioria das habitações as medições são efetuadas em dois compartimentos da fração (quarto e sala de estar), com orientações solares opostas (*Este / Oeste* ou *Sul / Norte*).

De modo a avaliar as condições de conforto térmico interior, assim como a perceção térmica dos ocupantes, são ainda avaliadas: as condições ambientes interiores, mediante a realização de medições pontuais (durante cerca de uma hora) de vários parâmetros que influenciam o conforto térmico dos utentes dos espaços; a sua perceção térmica, através da aplicação dos questionários apresentados no primeiro relatório desta série de campanhas [2].

Ainda relativamente à opinião dos utentes, no início de cada período de medição em contínuo, foi fornecida uma folha de registo [2] para que estes pudessem, regularmente, assinalar as suas perceções térmicas no espaço em estudo.

¹ - O projeto (ref.^a PTDC/ECM/71914/2006), co-financiado pela FCT, foi oficialmente concluído em maio de 2011.

De modo a avaliar o impacto energético resultante da utilização de sistemas de aquecimento, expectável durante o período em análise (janeiro / fevereiro), os consumos elétricos das frações estudadas ao longo das três campanhas experimentais efetuadas no âmbito deste estudo foram medidos e registados, de 15 em 15 dias, no decorrer do inverno 2011-2012 (dezembro de 2011 a abril de 2012).

2.2. Descrição dos espaços estudados

O bairro social Sá Carneiro (Leiria), cuja descrição mais pormenorizada é apresentada num relatório anterior [2], é constituído por 26 edifícios, cada um com 4 pisos, com 2 frações por piso.

Na Fig. 1 apresenta-se a planta de implantação de todo o bairro, assim como se assinalam os blocos avaliados no âmbito da presente campanha de medições¹, nomeadamente, o bloco 14 (não reabilitados) e os blocos 1, 8 e 9 (já reabilitados).

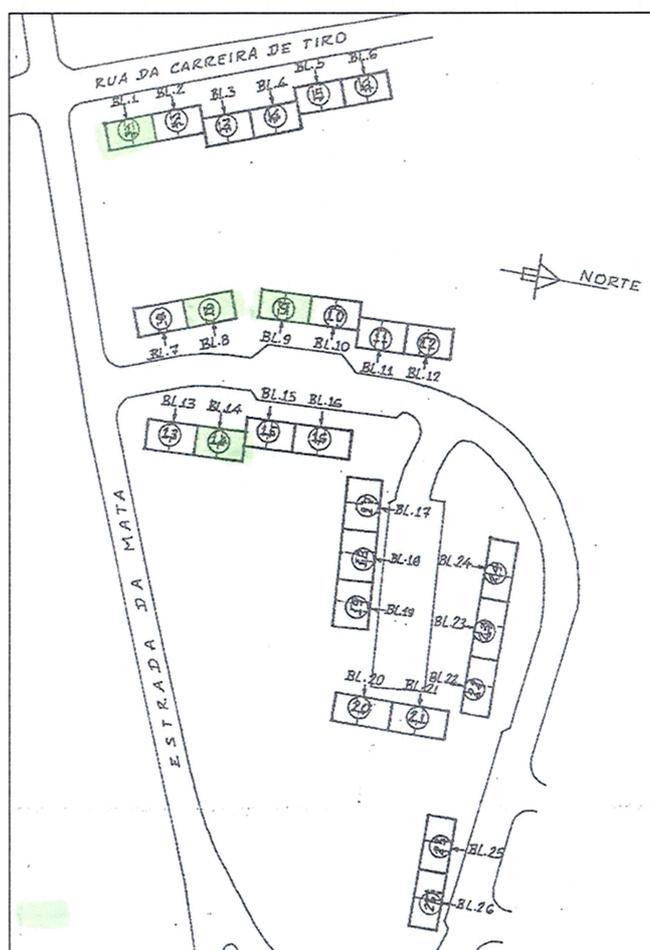


Fig. 1 – Planta de implantação do bairro Sá Carneiro (Marrazes, Leiria)

¹ - Nas anteriores campanhas de medições foram ainda avaliados os blocos 2 e 7 (antes da intervenção de reabilitação) e os blocos 21, 22, 25 e 26 (depois de reabilitados) [2 e 3].

Como já foi referido nos anteriores relatórios as principais características da intervenção consistiram na reabilitação construtiva e térmica da envolvente dos edifícios [2 e 3].

No Quadro 1 apresenta-se e sintetiza-se a informação relativa aos edifícios e espaços estudados no bairro Sá Carneiro no decorrer da presente campanha de medições de inverno. Nesse quadro referem-se: a identificação dos edifícios (bloco) e habitações; a tipologia dos edifícios; a localização das habitações em altura no edifício (pisos intermédios ou último piso) e a exposição solar dos espaços analisados. Salienta-se o facto das frações reabilitadas, objeto de estudo na presente campanha (blocos 1, 8 e 9), já terem sido analisadas nas campanhas anteriores de meia estação (blocos 8 e 9) e de verão (bloco 1), quando os referidos blocos ainda não tinham sido sujeitos à intervenção de reabilitação.

Quadro 1 – Elementos referentes aos edifícios e habitações estudados no bairro Sá Carneiro (Marrazes, Leiria)

Bloco	Habitação				Espaços estudados	
	Referência	Tipologia	Piso	Estado da reabilitação	Designação	Exposição solar
14	Hab. 15	T3	último	não reabilitado	Sala / Quarto	Oeste / Este
	Hab. 16	T3	intermédio	não reabilitado	Sala / Quarto	Oeste / Este
8	Hab. 2	T2	intermédio	reabilitado	Sala / Quarto	Este / Oeste
	Hab. 1	T2	intermédio	reabilitado	Sala / Quarto	Este / Oeste
9	Hab. 4	T3	último	reabilitado	Sala / Quarto	Este / Oeste
1	Hab. 11	T3	último	reabilitado*	Sala / Quarto	Oeste / Este

* - Isolamento térmico da cobertura e da fachada posterior (quarto).

O quadro anterior identifica ainda o estado da reabilitação dos edifícios analisados (*reabilitado* ou *não reabilitado*). Em todas as habitações nele referidas foram efetuadas medições pontuais (vd. 3) e em contínuo (vd. 4).

As habitações estudadas no âmbito da presente campanha de medições são de tipologias T2 e T3, todas com dupla exposição *Este / Oeste*, com características idênticas¹ às descritas com maior pormenor num relatório anterior [2].

Refira-se ainda que em todas as habitações estudadas se observou a presença de, pelo menos, um sistema de aquecimento elétrico (termoventilador ou aquecedor à óleo) ou a gás (Fig. 2).

¹ - As áreas aproximadas das frações habitacionais T2 e T3 são, respetivamente, 50 e 60 m².



Fig. 2 – Exemplo de sistemas de aquecimento ambiente

Todavia assinala-se o facto de os utentes referirem que, mesmo com temperaturas baixas exteriores, recorrem muitas vezes a abertura das janelas exteriores com o intuito de ventilar o ambiente interior¹.

2.3. Avaliação das condições higrotérmicas (medições em contínuo)

Com o intuito de avaliar as condições higrotérmicas interiores de diversas habitações do bairro Sá Carneiro foram utilizados sistemas portáteis autónomos equipados com uma sonda de medição de temperatura e de humidade relativa do ar (Fig. 3). Os referidos sistemas mediram e registaram, de 30 em 30 minutos, a temperatura e a humidade relativa do ar interior dos espaços selecionados, durante o período de quatro semanas que decorreu entre 12 de janeiro e 6 de fevereiro do corrente ano.

Em todas as habitações estudadas foram colocados dois sistemas de medição e de registo, um na sala de estar e outro num quarto (com exposição solar oposta à da sala). A escolha do local de colocação dos sistemas de medição teve em conta a preocupação de não perturbar a normal atividade dos utentes, bem como de não sujeitar o equipamento à ação radiativa direta de qualquer fonte de calor, nomeadamente, solar, equipamentos de climatização ou eletrodomésticos.

¹ - Vários utentes inquiridos referiram que pelo facto de serem fumadores em casa mantinham as janelas sempre abertas.

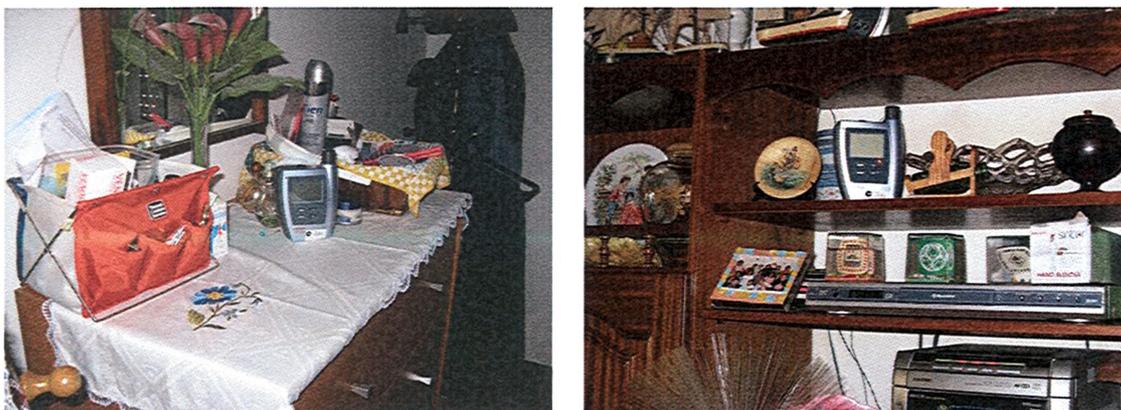


Fig. 3 – Sistema de medição e de registo da temperatura e da humidade relativa interior

Deste modo, durante o período em análise, foi possível conhecer a evolução da temperatura média interior nos espaços em estudo, assim com as variações da temperatura observadas ao longo do dia.

Tendo em conta as diferentes especificidades dos espaços em estudo (Quadro 2), – nomeadamente: a exposição solar; a localização no edifício (último piso ou piso intermédio) e o facto de o edifício já ter sido, ou não, sujeito às obras de reabilitação – pretendeu-se com o registo dos parâmetros higrotérmicos ao longo do período de medições avaliar a influência destes aspetos nas condições ambientes.

Quadro 2 – Elementos referentes às habitações estudadas no bairro Sá Carneiro e aos sistemas de medição dos parâmetros higrotérmicos

Bloco	Habitação			Espaço (Expos.)	Sonda de T/HR (Ref^a)
	Referência	Piso	Estado de reabilitação		
14	Hab. 15	último	não reabilitado	Sala (O)	S3
				Quarto (E)	S8
	Hab. 16	intermédio	não reabilitado	Sala (O)	S6
				Quarto (E)	S4
8	Hab. 2	intermédio	reabilitado	Sala (E)	S11
				Quarto (O)	S10
	Hab. 1	intermédio	reabilitado	Sala (E)	S9
				Quarto (O)	S5
9	Hab. 4	último	reabilitado	Sala (E)	S12
				Quarto (O)	S15
1	Hab. 11	último	reabilitado*	Sala (O)	S14
				Quarto (E)	S1

* - Isolamento térmico da cobertura e da fachada posterior (quarto).

2.4. Consumos elétricos

Durante o período que decorreu entre dezembro de 2011 e abril de 2012 os consumos elétricos de todas as frações habitacionais estudadas ao longo das três campanhas experimentais foram registados (de quinze em quinze dias), a partir da leitura periódica dos seus correspondentes contadores.

Contrariamente às anteriores campanhas, na presente campanha de inverno optou-se por acompanhar a evolução dos consumos de modo a verificar se, por um lado, existiu um acréscimo significativo dos consumos elétricos devido à utilização de sistemas de aquecimento elétricos¹ e se, por outro, houve diferenças de consumos entre habitações reabilitadas ou ainda por reabilitar.

As leituras efetuadas ao longo de cerca de quatro meses permitiram verificar que os consumos médios mensais foram muito reduzidos (40 kWh) e, significativamente, inferiores aos valores médios nacionais (300 kWh/alojamento, dados de 2010) [10].

A comparação entre os consumos observados em habitações reabilitadas e não reabilitadas não permitem retirar ilações em relação à utilização dos sistemas de aquecimento em função do estado de reabilitação. No entanto, na sequência de troca de impressões com os utentes das habitações já reabilitadas (estudadas na presente campanha), na generalidade, estes declararam que após as obras de reabilitação deixaram de sentir necessidade de utilizar sistemas de aquecimento por considerarem que as condições ambientes melhoraram de forma significativa.

2.5. Avaliação das condições de conforto térmico (medições pontuais)

De modo a avaliar as condições de conforto térmico em várias habitações de edifícios residenciais constituintes do bairro Sá Carneiro foi realizado um conjunto de levantamentos (de curta duração) das correspondentes condições ambientes, nos quais foram medidos e registados os parâmetros ambientais que influenciam a satisfação de conforto térmico dos ocupantes dos espaços interiores.

Os 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 de minuto a minuto, durante um período aproximado de uma hora.

¹ - Sistema de aquecimento (aquecedor a óleo ou termoventilador) mais utilizado nas frações habitacionais do bairro estudadas no presente estudo, embora algumas habitações disponham de aquecedores catalíticos a gás (Fig. 2).

Na Fig. 4 apresenta-se o equipamento de medição das condições ambientes utilizado nos levantamentos efetuados, o qual se procurou colocar em locais não sujeitos à incidência direta da radiação solar, e a cerca de 0,6 m do nível do pavimento¹ nos diversos espaços avaliados.

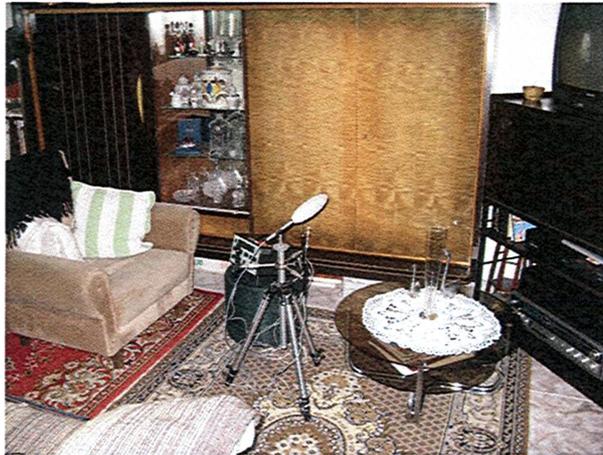


Fig. 4 – Sistema de medição e de registo de parâmetros ambientes

Com base nas medições dos parâmetros ambientes e na estimativa de parâmetros individuais² foram determinados os índices térmicos; *Voto Médio Previsível*, **PMV** e a *Percentagem Previsível de Insatisfeitos*, **PPD**, que pretendem estimar as perceções térmicas sentidas por um indivíduo num dado espaço interior [6].

Com o intuito de conhecer diretamente as perceções térmicas (**sensação térmica** e **preferência térmica**) das pessoas no interior das suas habitações, aos utentes dos espaços estudados foi solicitado, durante o período de medição, o preenchimento de um pequeno questionário [2].

A análise das referidas perceções térmicas (Fig. 5 e Fig. 6) dos inquiridos permitiu não só avaliar se as condições existentes eram consideradas satisfatórias (do ponto de vista do conforto térmico) pelos ocupantes dos espaços, mas também comparar a apreciação global subjetiva dos inquiridos com os índices térmicos acima indicados.



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

¹ - Altura que corresponde ao nível do abdómen de uma pessoa sentada [5].

² - A resistência térmica conferida pelo vestuário dos ocupantes e a sua atividade metabólica. Os dois parâmetros individuais foram estimados com base em observações visuais efetuadas *in loco*.



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

As respostas dadas 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.* 4.1 *b*).

No Quadro 3 identifica-se e caracteriza-se o conjunto de levantamentos das condições ambientes efetuados nas habitações de quatro blocos estudados no bairro Sá Carneiro em 12 e 13 de janeiro de 2012.

Quadro 3 – Levantamentos pontuais efetuados em habitações do bairro Sá Carneiro

<i>Levantamento</i>	<i>Bloco</i>	<i>Habitação</i>	<i>Data</i>	<i>Hora</i>
Lev 1	14	<i>Hab. 15</i>	12 jan	14h00
Lev 2		<i>Hab. 16</i>		15h00
Lev 3	8	<i>Hab. 2</i>		16h00
Lev 4		<i>Hab. 1</i>	17h00	
Lev 5	9	<i>Hab. 4</i>	13 jan	10h00
Lev 6	1	<i>Hab. 11</i>		11h00

3. CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS (MEDIÇÕES EM CONTÍNUO)

3.1. Resultados obtidos

Durante um período de cerca de quatro semanas foram avaliadas as condições higrotérmicas no interior de várias habitações do bairro Sá Carneiro, utilizando para o efeito um conjunto de sistemas de medição e de aquisição dos valores da temperatura e da humidade relativa do ar nos espaços em estudo (vd. Quadro 2).

Para esse período foram obtidos os valores diários da temperatura exterior (mínima, média e máxima) e da radiação solar¹ (média e máxima diária) medidos e registados numa estação meteorológica² localizada em Leiria. A evolução dos referidos valores é apresentada, respetivamente, na Fig. 7 e na Fig. 8.

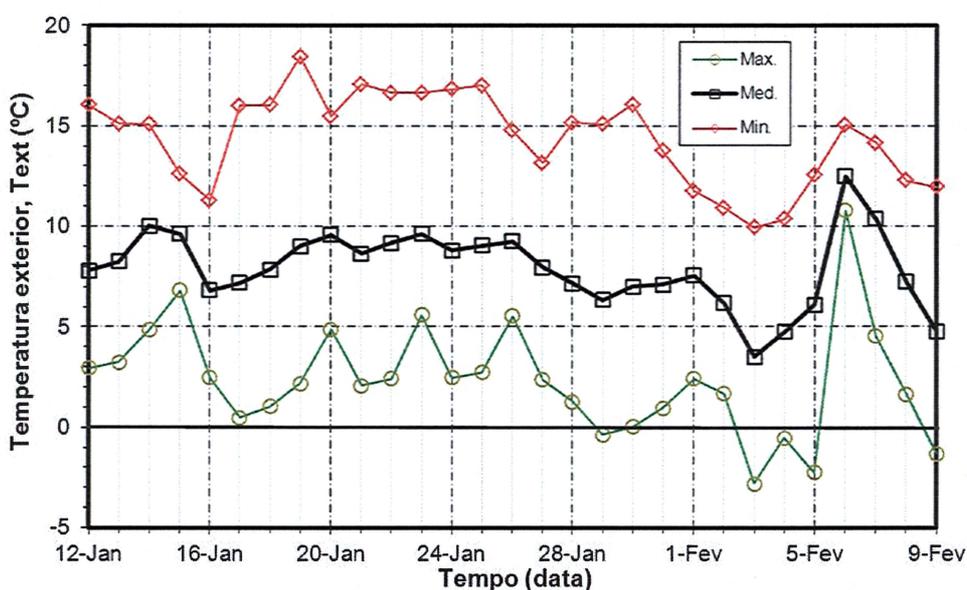


Fig. 7 – Evolução das temperaturas mínima, média e máxima diárias exteriores durante o período de medição

¹ - Intensidade da radiação solar global em superfície horizontal.

² - Parâmetros medidos na Estação Meteorológica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTG) do Instituto Politécnico de Leiria (IPL) e disponíveis em <http://www.meteo.estg.ipleiria.pt/>.

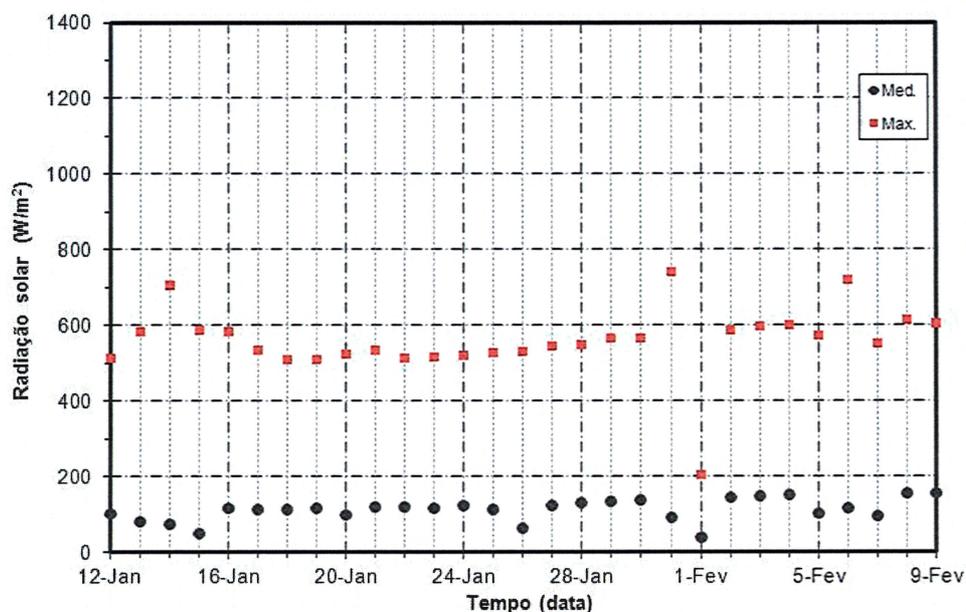


Fig. 8 – Evolução da radiação solar, média e máxima diárias durante o período de medição

Observando a figura anterior verifica-se que, durante o período de medição (12 de janeiro a 6 de fevereiro) a radiação solar foi aproximadamente constante. Os elevados valores máximos pontuais para a época do ano (500 a 700 W/m^2) e os valores médios diários registados permitem concluir que o céu esteve geralmente pouco nublado, com exceção do dia 1 de fevereiro em que esteve bastante nublado¹ (valores baixos da radiação solar).

Verifica-se que as temperaturas exteriores (Fig. 7) variaram entre, cerca de, **-3 °C** e **18 °C** durante o período em que decorreram as medições em contínuo. Em termos médios diários pode observar-se que a temperatura exterior, em geral, variou entre **6 e 10 °C**.

De salientar as elevadas amplitudes térmicas diárias registadas, características da região de Leiria, as quais variaram entre 6 e 16 °C.

¹ - Sem precipitação, de acordo com as medições da pluviosidade efetuadas na estação metereológica da ESTG de Leiria.

Conforme já foi referido nos relatórios anteriores [2 e 3], o conhecimento da evolução da temperatura exterior e da radiação solar é bastante importante visto que estes parâmetros influenciam fortemente as condições ambientes interiores. Esse facto é evidenciado no padrão da evolução das temperaturas interiores (Fig. 9), o qual segue o padrão correspondente à temperatura média exterior (Fig. 7).

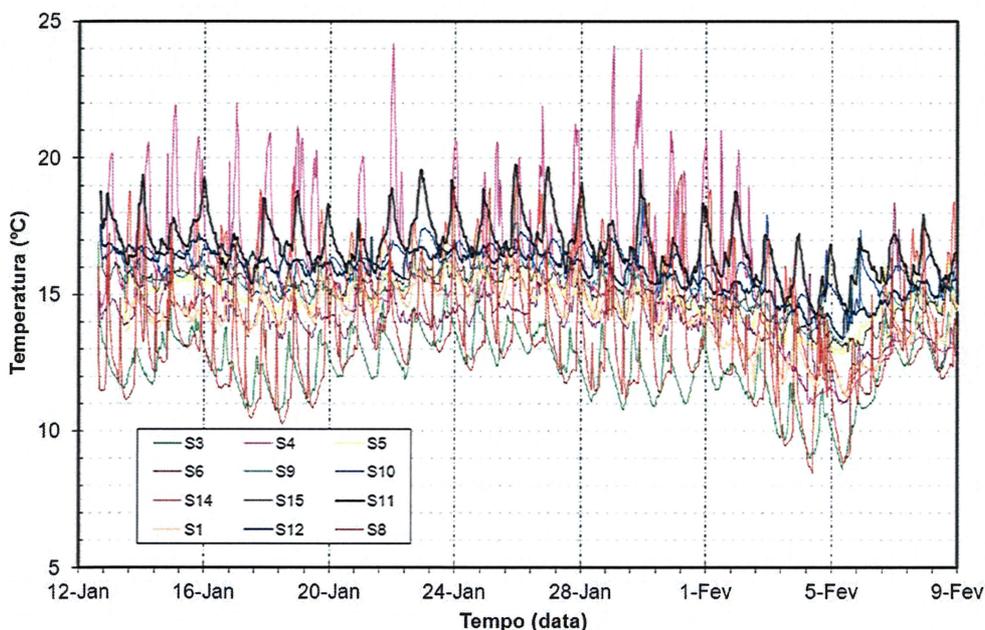


Fig. 9 – Evolução da temperatura do ar no interior de frações estudadas

No Quadro 4 apresentam-se os valores médios da temperatura do ar interior, T_a , e da amplitude térmica diária, ΔT_a , medidos nos diferentes espaços estudados pelos sistemas de aquisição de dados (S1 a S15), durante um período de tempo (18 a 24 de janeiro) em que a temperatura média exterior foi, aproximadamente, constante ($T_{ext} = 9 \text{ °C}$; *vd.* Fig. 7) e as condições climáticas características do período de inverno.

Quadro 4 – Resultados das medições em contínuo da temperatura do ar efetuadas em habitações do bairro Sá Carneiro

Bloco	Habitação (Piso *)	Estado de reabilitação	Espaço (Expos.)	Sonda T/HR (Ref ^a)	Resultados obtidos (18 a 24 de janeiro)	
					Temp. do ar, T_a (°C)	Ampl. térmica diária, ΔT_a (°C)
14	Hab. 15 (ult.)	não reabilitado	Sala (O)	S3	12,4	2,5
			Quarto (E)	S8	13,0	4,9
	Hab. 16 (int.)	não reabilitado	Sala (O)	S6	14,1	1,5
			Quarto (E)	S4	16,8	6,1
8	Hab. 2 (int.)	reabilitado	Sala (E)	S11	16,9	2,7
			Quarto (O)	S10	15,9	1,2
	Hab. 1 (int.)	reabilitado	Sala (E)	S9	15,3	0,9
			Quarto (O)	S5	15,1	1,8
9	Hab. 4 (ult.)	reabilitado	Sala (E)	S12	16,1	0,9
			Quarto (O)	S15	15,4	1,1
1	Hab. 11 (ult.)	reabilitado**	Sala (O)	S14	15,6	3,9
			Quarto (E)	S1	14,8	1,6

* - *int* – piso intermédio *ult.* – último piso

** - Isolamento térmico da cobertura e da fachada posterior (quarto).

Em termos gerais, a análise dos resultados apresentados no quadro anterior permite retirar as seguintes ilações:

- as temperaturas médias interiores variaram entre **12,5 °C** e **17,0 °C**, no período de medição em análise; tendo em conta as condições exteriores registadas no referido período (temperatura média de 9 °C e radiação solar elevada), pode-se concluir que, em parte, as temperaturas interiores observadas resultam de ganhos térmicos solares (através dos vãos envidraçados) e de ganhos térmicos interiores (presença de pessoas e de equipamentos em funcionamento); no entanto, salienta-se que nalgumas frações foram utilizados, pontualmente¹, sistemas de climatização para aquecimento que, seguramente, também contribuíram para o aumento das temperaturas interiores;
- relativamente às amplitudes térmicas diárias determinadas no mesmo período verifica-se, igualmente, uma grande variação de valores nas diferentes frações estudadas.

¹ - De acordo com a informação recolhida junto dos moradores e com os registos da temperatura interior obtidos.

No que respeita à humidade relativa do ar, representa-se na Fig. 10 a evolução do referido parâmetro ao longo do período de medição que decorreu entre 12 de janeiro e 9 de fevereiro. Em geral, verifica-se que a humidade relativa nos espaços em estudo oscilou entre 40% e 95%.

Tal como foi referido nos relatórios anteriores [2, 3], considera-se um valor limite de 80%¹, a partir do qual poderão existir elevados riscos de condensações (humidades nas paredes interiores), assim como ocorrer problemas respiratórios nos utentes dos espaços.

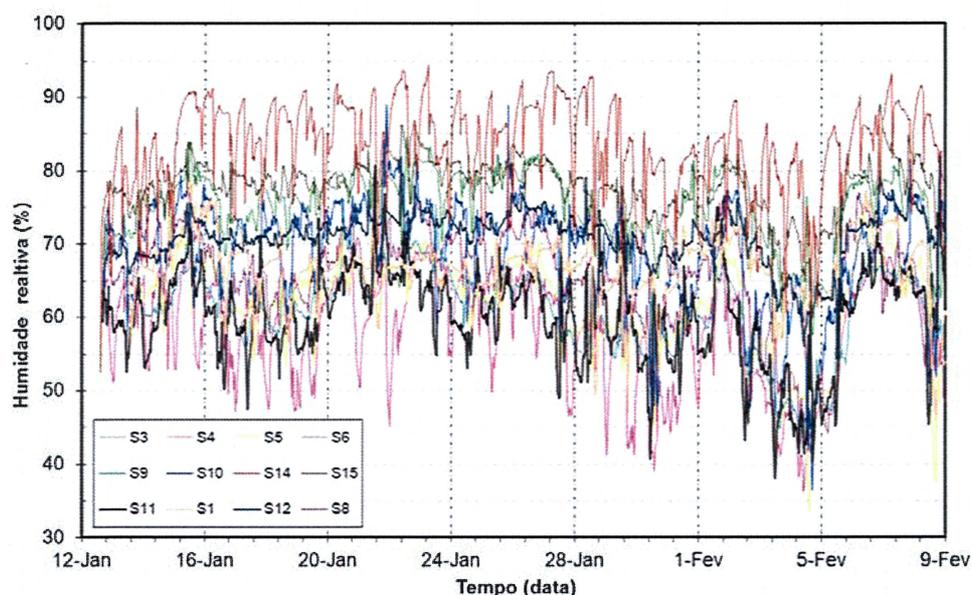


Fig. 10 – Evolução da humidade relativa do ar no interior das frações estudadas

Observando a figura anterior verifica-se que em vários espaços interiores foram medidas e registadas humidades relativas muito próximas ou acima do referido valor limite, o que pode indiciar a existência de situações de patologia relacionadas com a humidade (condensações superficiais) nas referidas frações. Essas ocorrências foram observadas *in-situ* durante a realização da presente campanha experimental numa fração estudada (Fig. 11).

Salienta-se que as elevadas humidades identificadas na Fig. 10 foram observadas, quer em frações reabilitadas, quer não reabilitadas, não sendo por esse facto preponderante a maior estanquidade das frações resultante da intervenção de reabilitação térmica.

¹ - Embora o risco de ocorrência de condensação dependa, sobretudo, das temperaturas superficiais dos elementos da envolvente (paredes, tetos, pavimentos e envidraçados).

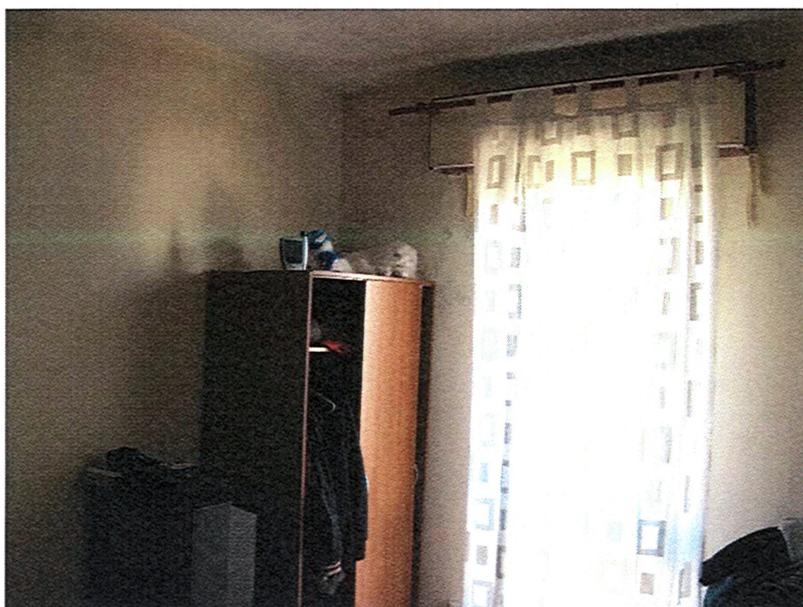


Fig. 11 – Fração habitacional do bairro Sá Carneiro com humidade nas paredes

Adotando a metodologia de análise dos resultados obtidos durante as duas anteriores campanhas de medições [2 e 3], comparam-se a seguir as temperaturas interiores registadas em diferentes frações, tendo em conta as diferentes características dos espaços estudados, nomeadamente, a localização nos edifícios (piso intermédio / último piso), no bairro, dos edifícios considerados (exposições solares das frações), e ainda o estado de reabilitação dos edifícios (reabilitado / não reabilitado) (Quadro 1).

Frações em piso intermédio e no último piso

Na presente campanha experimental foram efetuadas medições em três habitações localizadas em pisos intermédios (1º andar) e três habitações em últimos pisos (Quadro 1) do bairro Sá Carneiro, em todos os casos apresentando a dupla exposição *Este / Oeste*.

Tendo em conta as diferentes características dos espaços estudados foi possível comparar as condições ambientes de duas habitações (piso intermédio e último piso), em edifícios não reabilitados (*Hab. 15 e Hab. 16*), localizadas no mesmo bloco (bloco 14, *vd.* Fig. 1), e em quatro habitações de edifícios reabilitados (*Hab. 1, Hab. 2, Hab. 4 e Hab. 11*).

No Quadro 5 sintetizam-se os valores médios das temperaturas e amplitudes térmicas observados nos dois períodos de análise seleccionados.

Quadro 5 – Resultados das medições em contínuo da temperatura do ar efetuadas em habitações do bairro Sá Carneiro em função da localização das frações

<i>Habitação</i>		<i>Espaço (Expos.)</i>	<i>Sonda T/HR (Refª)</i>	<i>Resultados obtidos (18 a 24 de janeiro)</i>	
<i>Estado</i>	<i>Referência</i>			<i>Temp. do ar, T_a (°C)</i>	<i>Ampl. térmica diária, ΔT_a (°C)</i>
<i>Frações em últimos pisos</i>					
Não reabilitado	<i>Hab. 15</i>	Sala (O)	S3	12,4	2,5
		Quarto (E)	S8	13,0	4,9
Reabilitado	<i>Hab. 4</i>	Sala (E)	S12	16,1	0,9
		Quarto (O)	S15	15,4	1,1
	<i>Hab. 11</i>	Sala (O)	S14	15,6	3,9
		Quarto (E)	S1	14,8	1,6
<i>Frações em pisos intermédios</i>					
Não reabilitado	<i>Hab. 16</i>	Sala (O)	S6	14,1	1,5
		Quarto (E)	S4	16,8	6,1
Reabilitado	<i>Hab. 2</i>	Sala (E)	S11	16,9	2,7
		Quarto (O)	S10	15,9	1,2
	<i>Hab. 1</i>	Sala (E)	S9	15,3	0,9
		Quarto (O)	S5	15,1	1,8

Da análise dos valores médios das temperaturas apresentadas no quadro anterior podem retirar-se as seguintes ilações:

- Nos edifícios não reabilitados, durante o período em análise, as temperaturas médias observadas nos últimos pisos foram, significativamente, mais baixas (cerca de 2 / 3 °C) do que as correspondentes localizadas em pisos intermédios; este facto deve-se, tal como já foi referido e comprovado nas campanhas de medições anteriores, à maior área da envolvente exterior (parte dela em cobertura) existente nas frações localizados em últimos pisos; salienta-se, ainda, que os valores das temperaturas obtidos nos espaços interiores com a orientação *Este* (quarto) foram, ligeiramente, mais elevados do que nos espaços opostos (sala de estar);
- nas frações em edifícios já reabilitados, à semelhança do que se verificou nas duas campanhas anteriores, as diferenças entre as temperaturas médias observadas nos últimos pisos e nos espaços intermédios foram muito reduzidas.

Na Fig. 12 e na Fig. 13 representa-se a evolução da temperatura do ar no interior de frações residenciais (com espaços orientados a *Este* e a *Oeste*) localizadas em pisos intermédios (1º andar; *Hab. 16* e *Hab. 2*) e em últimos pisos (*Hab. 15* e *Hab. 4*), respetivamente, em edifícios ainda por reabilitar e já reabilitados (vd. 2.2), durante o período em análise.

Os equipamentos utilizados para medir e registar a temperatura do ar estiveram colocados, em simultâneo, na sala de estar e num dos quartos das frações analisadas nos edifícios quer reabilitados quer não reabilitados.

A análise das referidas figuras permite comprovar que as temperaturas interiores do ar, durante o período analisado, foram mais baixas nos últimos pisos quando comparadas com as correspondentes aos pisos intermédios, em particular nos edifícios não reabilitadas (Fig. 12).

Salienta-se ainda que as amplitudes térmicas diárias observadas nas frações não reabilitadas (Fig. 12), em geral, são mais elevadas do que as registadas nas frações reabilitadas (Fig. 13), facto que advém da utilização mais frequente de sistemas de aquecimento¹ nas frações mais frias (não reabilitadas), o que permite um aumento da temperatura interior e consequentes amplitudes térmicas também mais elevadas.

¹ - Principalmente nos períodos de final de tarde / noite (picos evidenciados nas figuras).

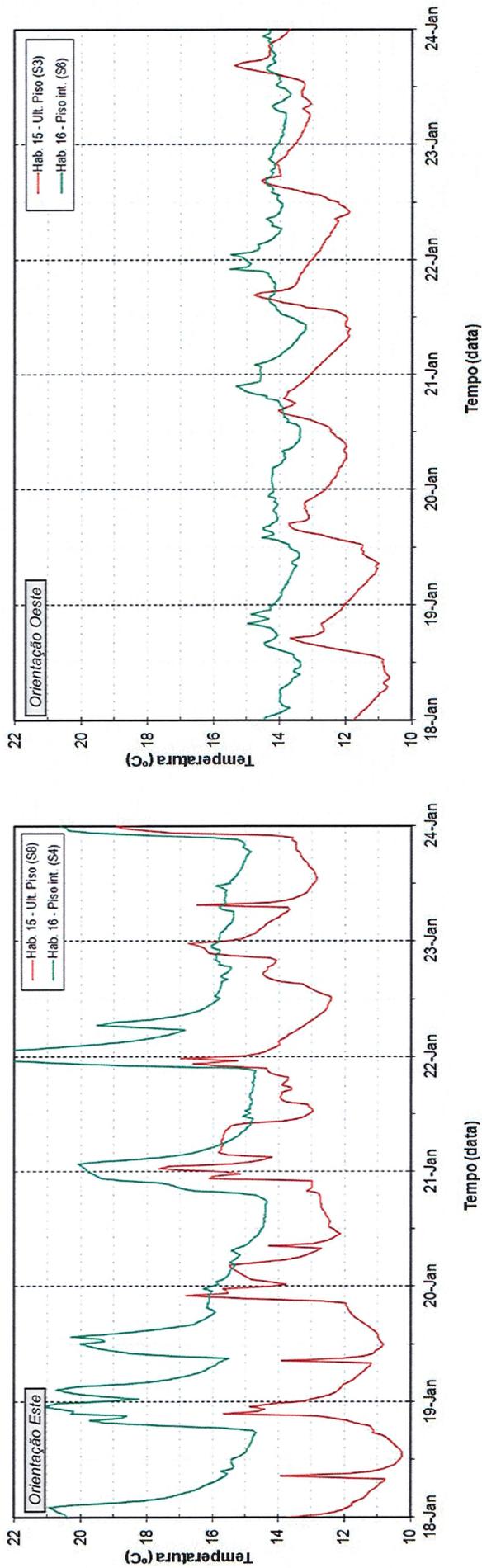


Fig. 12 – Evolução da temperatura em frações localizadas em pisos intermédios e últimos (edifícios não reabilitados).

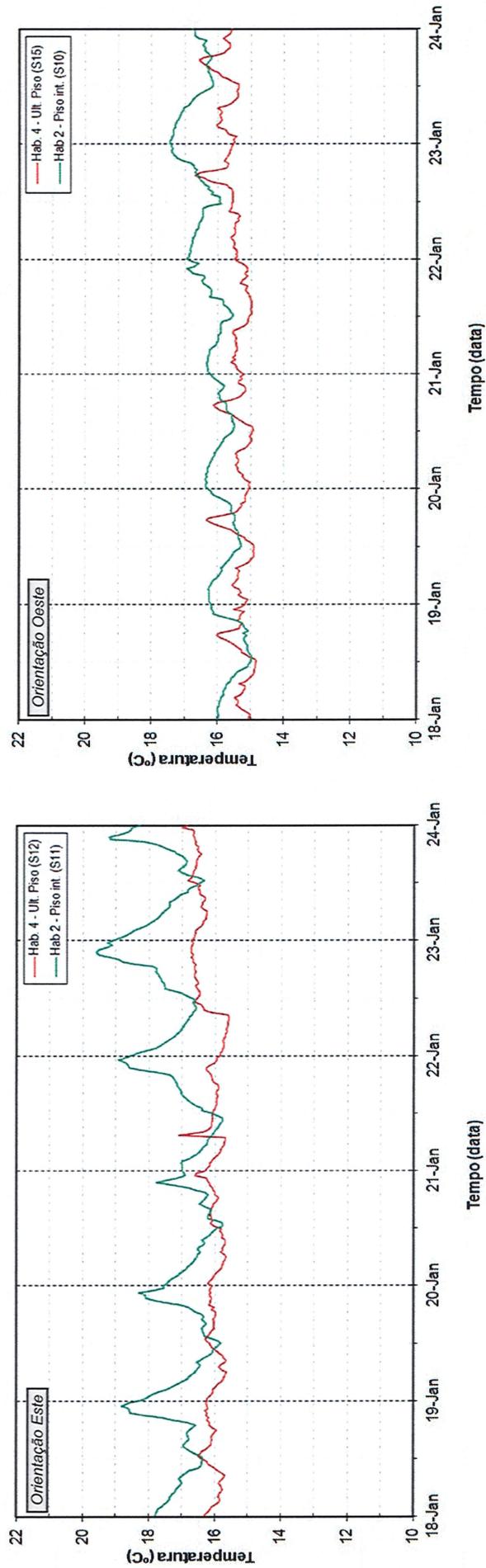


Fig. 13 – Evolução da temperatura em frações localizadas em pisos intermédios e últimos (edifícios reabilitados).

Espaços interiores com diferentes exposições solares numa habitação

À semelhança das duas primeiras campanhas de medições, no presente estudo foi possível medir, em simultâneo, a temperatura do ar em espaços interiores (quarto e sala de estar) das seis habitações com dupla exposição solar (*Este / Oeste*).

Uma análise geral dos valores apresentados no Quadro 4 permite verificar que as diferenças entre as temperaturas médias observadas em cada fração foram muito reduzidas (com exceção da *Hab. 16*) o que demonstra uma grande uniformidade de temperatura no interior das habitações.

Estima-se que a referida uniformidade se deve ao facto dos espaços serem contíguos e das portas interiores entre eles estarem em geral abertas, permitindo assim a fácil circulação do ar entre a sala de estar e o quarto. Desse modo, quando um dos espaços foi aquecido (situação verificada várias vezes) facilmente o ar quente circulou pela habitação.

No caso da *Hab. 16*, cuja evolução da temperaturas no período em análise é apresentada na Fig. 14, a diferença média entre as temperaturas registadas nos dois espaços durante o período de medições é de cerca de 3 °C. Nesse caso, como se pode verificar na figura seguinte, por diversas vezes houve recurso ao aquecimento no quarto. Durante esses períodos de aquecimento a temperatura aumentou no quarto de modo significativo, como seria de esperar, enquanto que na sala de estar a temperatura não sofreu grande variação, o que permite concluir que a porta do quarto, em geral, deve ter sido mantida fechada, principalmente, durante os referidos períodos de aquecimento.

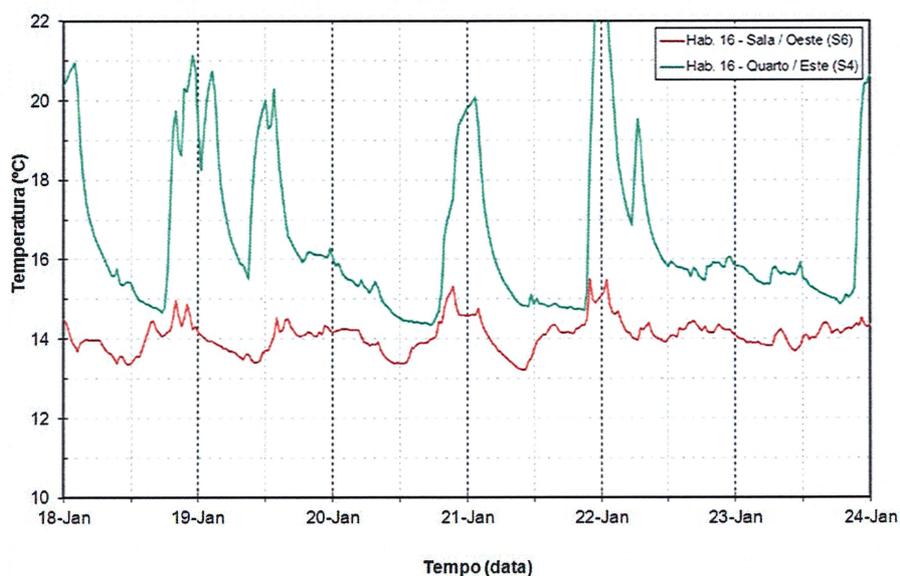


Fig. 14 – Evolução da temperatura do ar na sala de estar e num dos quartos da *Hab. 16*

Frações antes e após a intervenção de reabilitação

Tal como já referido (vd. 1) no decorrer da presente campanha de medições foi possível medir e registar as condições ambientes em contínuo, em seis frações habitacionais de bairro Sá Carneiro, das quais quatro já tinham sido sujeitas às obras de reabilitação e duas (frações localizadas no mesmo edifício), ainda não tinham sido sujeitas à intervenção planeada.

Tendo em conta as diferentes características das frações estudadas (orientação solar, localização em altura no edifício e tipologia da fração), na presente campanha de medições foi possível comparar o desempenho térmico das seis frações¹, três localizadas em pisos intermédios (*Hab. 1*, *Hab. 2* e *Hab. 16*) e outras três em últimos pisos (*Hab. 4*, *Hab. 11* e *Hab. 15*), com o intuito de avaliar a influência da intervenção de reabilitação térmica nos edifícios do bairro Sá Carneiro.

Nesse sentido, indicam-se no Quadro 6 os valores médios da temperatura e da amplitude térmica diária observados no interior dos espaços estudados durante o período da campanha de medição (18 a 24 de janeiro), respetivamente, nos edifícios ainda não reabilitados e nos já reabilitados.

Quadro 6 – Resultados das medições em contínuo da temperatura do ar efetuadas em habitações do bairro Sá Carneiro em função do estado das frações

Habitação		Espaço (Expos.)	Sonda T/HR (Ref ^a)	Resultados obtidos (18 a 24 de janeiro)	
Piso	Referência			Temp. do ar, T _a (°C)	Ampl. térmica diária, ΔT _a (°C)
Frações não reabilitadas					
Último	<i>Hab. 15</i>	Sala (O)	S3	12,4	2,5
		Quarto (E)	S8	13,0	4,9
Intermédio	<i>Hab. 16</i>	Sala (O)	S6	14,1	1,5
		Quarto (E)	S4	16,8	6,1
Frações reabilitadas					
Último	<i>Hab. 4</i>	Sala (E)	S12	16,1	0,9
		Quarto (O)	S15	15,4	1,1
	<i>Hab. 11</i>	Sala (O)	S14	15,6	3,9
		Quarto (E)	S1	14,8	1,6
Intermédio	<i>Hab. 2</i>	Sala (E)	S11	16,9	2,7
		Quarto (O)	S10	15,9	1,2
	<i>Hab. 1</i>	Sala (E)	S9	15,3	0,9
		Quarto (O)	S5	15,1	1,8

Na Fig. 15 e na Fig. 16 representa-se a evolução das temperaturas do ar das frações indicadas no quadro anterior durante o período referido.

¹ - Em todas as frações consideradas, os espaços avaliados foram a sala de estar e um dos quartos, com exposição solar *Este* ou *Oeste*.

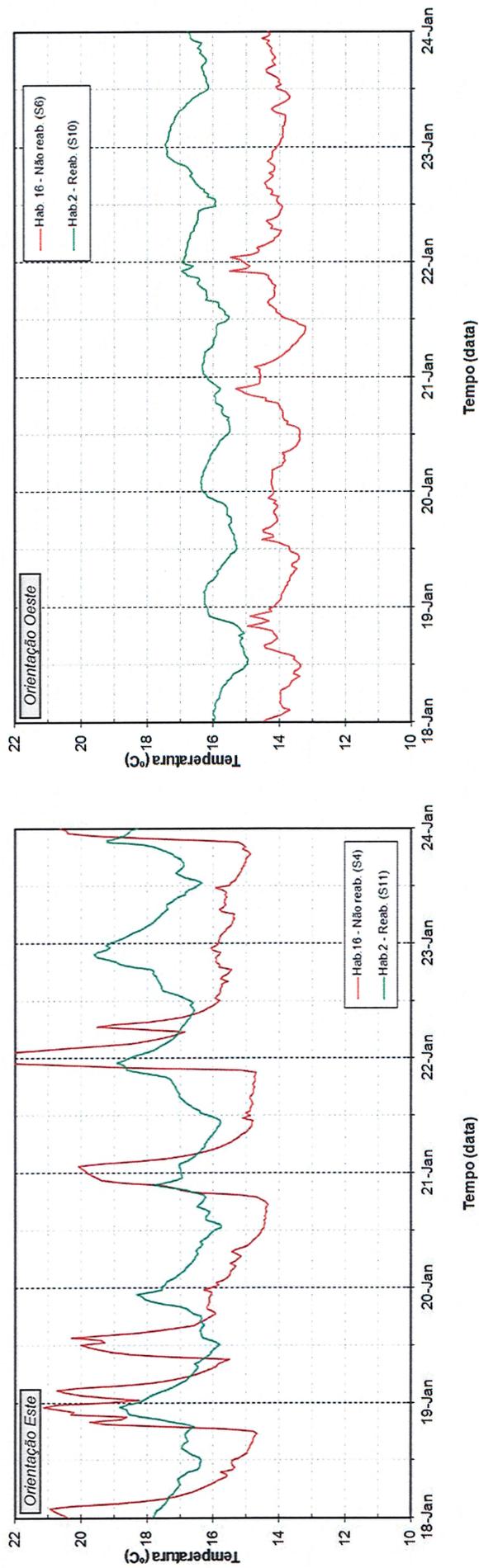


Fig. 15 – Evolução da temperatura em espaços de frações localizadas em piso intermédios (exposição solar Este).

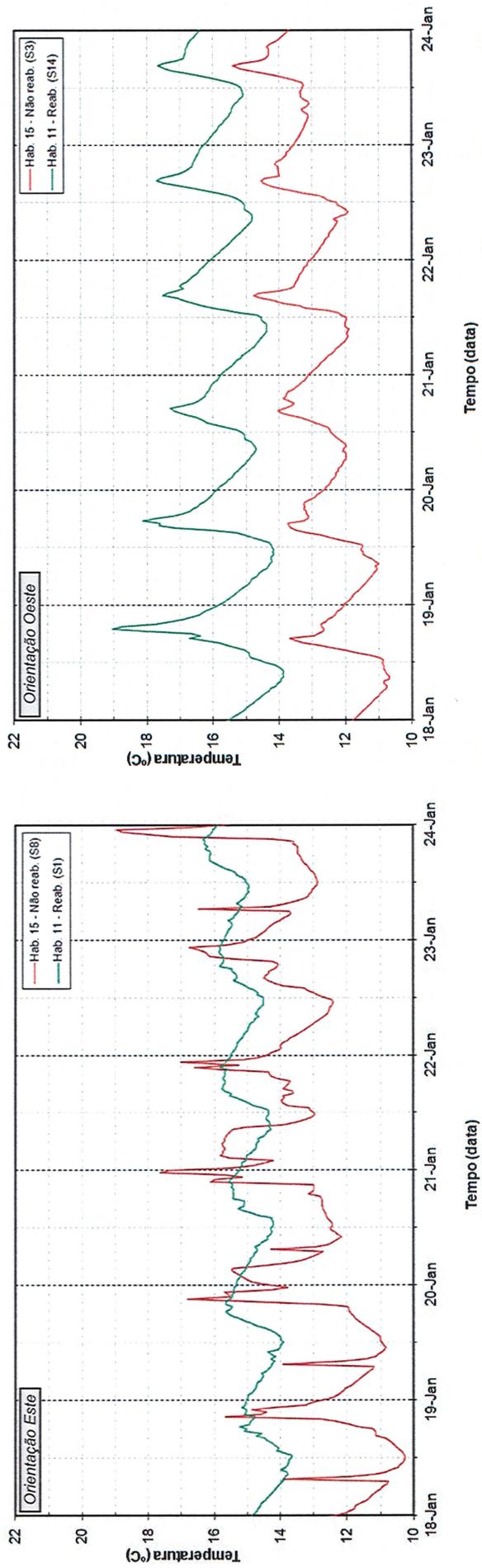


Fig. 16 – Evolução da temperatura em espaços de frações localizadas em últimos pisos (exposição solar Este)

A análise geral dos resultados apresentados no quadro e nas figuras anteriores permite retirar as seguintes principais conclusões:

- as temperaturas medidas e registadas nas frações habitacionais durante o período de medição (18 a 24 de janeiro) foram mais baixas nos espaços de edifícios não reabilitados do que reabilitados, quer estes estejam localizados em últimos pisos ou pisos intermédios; em relação aos valores médios das temperaturas interiores as diferenças atingiram valores máximos de, cerca de, 3 °C (Quadro 6);
- este facto permite evidenciar uma melhoria das condições ambientes (temperaturas mais elevadas) durante o período de inverno resultantes da intervenção de reabilitação térmica (melhoria do isolamento térmico);
- salienta-se, ainda, que as diferenças entre os valores médios determinados nos espaços orientados a *Este* (Fig. 15 e Fig. 16) foram mais reduzidas, pelo facto de nas frações não reabilitadas ter existido um maior recurso a sistemas de aquecimento durante o período em análise (evidente nos picos representados).
- refira-se que nos espaços orientados a *Oeste*, representados nas figuras anteriores, os períodos cíclicos (período da tarde) em que se verifica um aumento de temperatura assinalável, em simultâneo nas duas habitações, resultam essencialmente dos ganhos solares através dos vãos envidraçados.

Perceção térmica (folha de registo)

De acordo com a metodologia do presente estudo (*vd. 2*), no início de período de medição dos parâmetros higrotérmicos foi fornecida uma ficha de registo aos residentes de todas as habitações estudadas para que, regularmente, durante o período de três semanas pudessem exprimir as suas perceções térmicas nos espaços em estudo.

Para esse efeito era solicitada apenas que exprimissem a sua ***sensação térmica*** e a sua ***preferência térmica*** na hora do preenchimento da referida ficha (sendo ainda indicada a data e a hora da operação), através das escalas térmicas (Fig. 5 e Fig. 6).

A análise dos resultados¹ obtidos através das referidas folhas de registo permitiu concluir que em, cerca de, 60% dos votos expressos os inquiridos manifestaram estar satisfeitos com o ambiente térmico interior (*vd. 2.5*). Os restantes votos, como seria de esperar face às temperaturas registadas, indicaram que os inquiridos consideraram estar com frio.

¹ - Na presente campanha de medições foram recolhidas 3 folhas de registo, correspondentes apenas a frações reabilitadas (*Hab. 1, Hab. 2 e Hab. 11*), representando assim apenas 50% das habitações estudadas.

4. CONFORTO TÉRMICO (MEDIÇÕES PONTUAIS)

4.1. Critério de avaliação

As recomendações de condições satisfatórias de conforto térmico aplicáveis a espaços interiores são expressas utilizando vários indicadores, entre eles a temperaturas do ar, a temperatura operativa e índices térmicos. Apresentam-se a seguir, de forma sucinta, as recomendações aplicáveis a espaços interiores, especificadas em documentos regulamentares ou normativos, que serviram de base à apreciação das condições registadas no presente.

a) *Temperatura do ar*

No domínio regulamentar o atual *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios* (RCCTE) [4] considera que *as condições ambientes de conforto de referência, para a estação de aquecimento (inverno), são uma temperatura do ar de 20 °C.*

b) *Índices PMV e PPD*

Tal como foi referido no relatório anterior [2], os índices térmicos PMV (*voto médio previsível*) e PPD (*percentagem prevista de insatisfeitos*) são especificados para ambientes térmicos moderados e constituem a base da norma europeia EN ISO 7730 [6], sendo também considerados nas normas ASHRAE 55 [9] e EN 15251 [8], para a caracterização de ambientes interiores de edifícios climatizados.

No Quadro 7 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 7 – Ambientes térmicos e respetivas exigências [6]

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

À semelhança do ocorrido nas campanha de medições anteriores (meia-estação e verão) admitiu-se que para os espaços em análise a classe dos ambientes a considerar é a C. Assim, tendo em conta os valores referidos no Quadro 7 são recomendados uma percentagem prevista de insatisfeitos (PPD) inferior a **15 %**, e um voto médio previsível (PMV) compreendido entre **- 0,7** e **0,7**.

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 [8] classifica os ambientes térmicos em função do grau de exigência estabelecido para o edifício em análise e para os seus ocupantes¹ (Quadro 8).

Quadro 8 – Aplicabilidade das classes de ambientes térmicos e gamas de temperaturas aceitáveis [8]

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 ativos² [8].

Para temperaturas exteriores inferiores a 15 °C (o que aconteceu sempre nesta campanha experimental, a norma EN 15251 recomenda uma temperatura de conforto constante partindo do princípio que para as referidas condições exteriores os espaços interiores estarão sempre climatizados.

Atribuindo uma classe III³ (Quadro 8) aos espaços estudados e atendendo aos valores da temperatura exterior registados nos dias que antecederam as medições, a temperatura operativa considerada adequada pela norma europeia é de **18 °C** para os dias 12 e 13 de janeiro (vd. 4.2; Fig. 17).

De acordo com o Quadro 8, aos espaços interiores das frações reabilitadas, embora possa ser discutível, poderia ser atribuída a classe II (mais exigente). Nesse sentido, segundo a norma europeia, tendo em conta as temperaturas exteriores observadas, a temperatura mínima aceitável a considerar deverá ser **19 °C** para os dias 12 e 13 de janeiro (data em que se realizaram os levantamentos de conforto).

¹ - As classes de I a III (Quadro 8) são equivalentes às classes A a C apresentadas no Quadro 7.

² - Para edifícios climatizados a norma específica os limites aceitáveis dos índices *PMV* e *PPD* [6].

³ - Os ambientes nos espaços reabilitados, de acordo com o Quadro 8, podem ser classificados na classe II. No entanto, de modo a ser possível comparar as condições ambientes nas diversas frações estudadas, no presente estudo consideram-se todos os espaços como classe III.

Considerando o modelo adaptativo desenvolvido no LNEC [1], a gama de conforto térmico para as temperaturas exteriores¹ verificadas no período de medição (12 e 13 de janeiro) tem como valor mínimo um valor de **16,5 °C** (vd. 4.2; Fig. 17).

4.2. Resultados obtidos

4.2.1. Parâmetros higrotérmicos e índices térmicos

Nos dias 12 e 13 de janeiro foram efetuados seis levantamentos das condições ambientes em várias habitações de edifícios do bairro Sá Carneiro em Leiria (vd. 2.2; Quadro 3).

No Quadro 9 apresentam-se os resultados dos principais parâmetros ambientes registados durante os levantamentos efetuados (*Lev.*) no referido bairro, no âmbito da presente campanha de medições. 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 cada período de medição (com duração aproximada de uma hora).

Nesse quadro indicam-se, ainda, os índices térmicos (*PMV* e *PPD*) calculados com base nos parâmetros interiores registados e em valores individuais estimados (atividade física e vestuário)², assim como a exposição solar dos espaços estudados. Saliencia-se ainda, que em nenhum dos levantamentos realizados se verificou a utilização que qualquer sistema de aquecimento existente nos espaços estudados.

Quadro 9 – Resultados obtidos nos levantamentos pontuais efetuados em várias habitações do bairro Sá Carneiro

<i>Levantamento</i>	<i>Bloco</i>	<i>Exposição solar</i>	<i>Parâmetros ambientais</i>				<i>Índices térmicos</i>	
			<i>T_a</i> (°C)	<i>T_{op}</i> (°C)	<i>HR</i> (%)	<i>T_{ext}</i> (°C)	<i>PMV</i>	<i>PPD</i> (%)
Lev 1	14	Oeste	12,9	13,2	68	13	-1,8	67
Lev 2		Oeste	14,2	14,3	65	15	-1,6	54
Lev 3	8	Este	16,8	16,7	66	14	-1,0	26
Lev 4		Este	16,6	16,8	70	14	-1,0	24
Lev 5	9	Este	15,7	15,5	60	7	-1,3	39
Lev 6	1	Oeste	14,5	14,6	65	10	-1,5	49

T_a – Temperatura interior
T_{ext} – Temperatura exterior

T_{op} – Temperatura operativa
PMV – Voto Médio Previsível

HR – Humidade relativa interior
PPD – Percentagem Média de Insatisfeitos

¹ - Expressas, tal como na norma EN 15251, em termos da temperatura média exterior, exponencialmente ponderada, *T_{mp}*, dos últimos sete dias [8].

² - Face à informação obtida durante a observação visual efetuada pelo técnico que realizou os levantamentos, os valores estimados foram 1,2 *met* para a taxa de metabolismo (atividade física) e 1,0 *clo* para a resistência térmica do vestuário (valor típico para o inverno).

A análise dos resultados apresentados no quadro anterior, face aos critérios indicados em 4.1, permite retirar as seguintes ilações acerca das condições ambientes registadas nos espaços em estudo.

a) Temperatura do ar

Em termos das temperaturas interiores (T_a) registadas, da análise dos valores indicados no Quadro 9, verifica-se que os correspondentes valores variaram entre cerca de, **13 °C** e **17 °C**, sendo bastante inferiores ao valor da temperatura de *referência* de conforto para o período de aquecimento (**20 °C**), indicado na regulamentação térmica e energética atualmente em vigor em Portugal [4][7].

Nesse sentido, tendo em conta o referido valor convencional de conforto, estima-se que as temperaturas registadas foram bastante reduzidas indiciando assim sempre situações de desconforto térmico.

b) Índices PMV e PPD

Relativamente aos índices térmicos calculados (Quadro 9), que têm em conta os efeitos de vários parâmetros ambientais e, ainda, os parâmetros individuais (atividade e vestuário), verifica-se que os valores obtidos para o índice *PMV* indicam que a opinião média estimada para um grupo de indivíduos, no dia dos levantamentos, é de que o ambiente estaria entre uma situação de “*ligeiramente frio*” ($PMV = -1$) e “*frio*” ($PMV = -1,8$).

Considerando os limites para a existência de condições satisfatórias de conforto térmico recomendados nas normas EN ISO 7730 e ASHRAE 55 ($PPD < 15\%$; $-0,7 < PMV < 0,7$) (vd. 4.1b), estima-se que nos levantamentos efetuados tenham existido sempre condições de desconforto térmico, de acordo com as referidas normas internacionais.

c) Temperatura operativa

Numa abordagem adaptativa (vd. 4.1c), isto é adotando modelos que consideram que, além dos fatores físicos, os fatores 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 (T_{op})¹.

¹ - Neste caso, os valores de T_{op} , em termos médios, são muito semelhantes aos da temperatura do ar interior, T_a .

Na Fig. 17 representam-se os limites de temperaturas de conforto resultantes, da aplicação, quer do modelo desenvolvido pelo LNEC [1], quer da norma europeia EN 15251 [8], assim como, as temperaturas operativas interiores obtidas no decorrer de todos os levantamentos pontuais efetuados no Bairro Sá Carneiro.

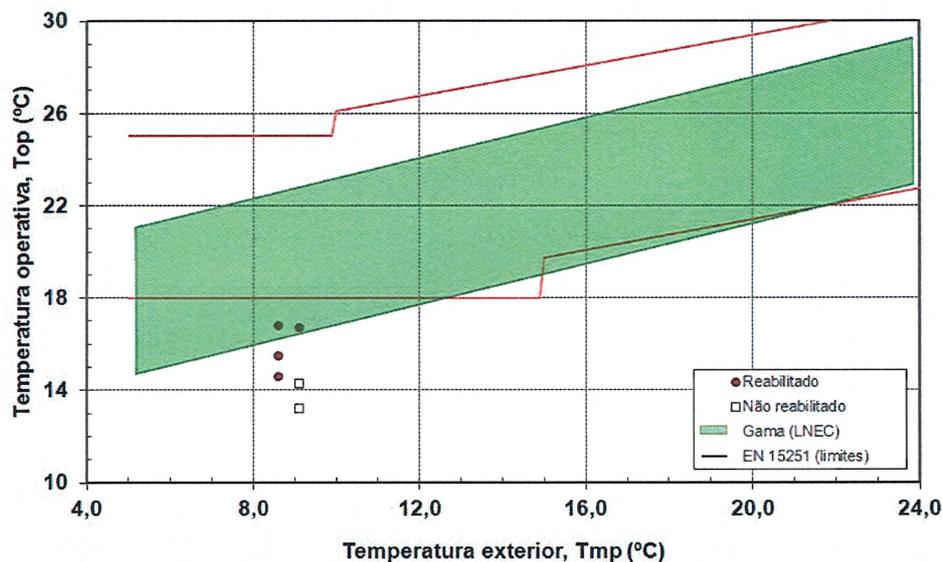


Fig. 17 – Temperaturas operativas obtidas ao longo dos levantamentos efetuados e limites recomendados

A análise dos resultados apresentados na Fig. 17 permite concluir que, adotando o modelo adaptativo indicado na norma europeia EN 15251 [8], em todos os levantamentos realizados no Bairro Sá Carneiro na presente campanha de medições de inverno, se verificaram condições de desconforto térmico. Tendo em conta o modelo desenvolvido no LNEC [1] estima-se que em dois levantamentos (*Lev. 3 e Lev. 4*) se observaram condições minimamente aceitáveis de conforto térmico (em frações reabilitadas).

4.2.2. Perceções térmicas

À semelhança do que foi efetuado nas campanhas anteriores, de seguida descrevem-se e analisam-se as perceções 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.

No decorrer do período de medições (dias 12 e 13 de janeiro) realizadas no Bairro Sá Carneiro, em que foram efetuados seis levantamentos das condições ambientes em diversas frações (Quadro 3), foram recolhidos seis questionários¹ que compilam a informação fornecida pelos ocupantes das referidas frações.

¹ - Em cada levantamento foi obtido um questionário.

De acordo com os votos expressos nos questionários recolhidos verificou-se que em todos os levantamentos os utentes inquiridos manifestaram uma sensação de *neutralidade* considerando que, naquele momento, o ambiente estava “*nem quente nem frio*” (vd. Fig. 5; $sti = 0$).

Em relação à *preferência* térmica, a maioria¹ dos utentes inquiridos (83%) gostaria que o ambiente estivesse “*ligeiramente mais quente*” ($pti = +1$).

¹ - Apenas um inquirido expressou que preferia manter-se nas condições ambientes em que se encontrava ($pti = 0$) aquando da realização do questionário.

CONCLUSÕES

Nos capítulos precedentes apresentaram-se os resultados da terceira e última campanha de medições, que decorreu no período de 12 de janeiro a 8 de fevereiro do corrente ano, inserida num programa de avaliação das condições ambientes em diversas frações habitacionais de vários edifícios do bairro social Sá Carneiro em Leiria.

Entre março e abril do ano transato foi realizada a 1ª campanha de medições para avaliar as condições ambientes interiores no período de meia-estação [2], e nos meses de agosto e setembro decorreu a 2ª campanha de medições, com o intuito de conhecer as condições interiores no verão [3].

Tal como foi referido na metodologia de estudo adotada (*vd.* 2), no decorrer do presente estudo foram efetuadas medições das condições higrotérmicas (temperatura e humidade relativa do ar), em contínuo durante uma sequência de quatro semanas, em simultâneo, no interior de várias habitações representativas de diversas localizações nos edifícios (pisos diferentes) e no bairro (orientações solares distintas) de modo a avaliar as condições ambientes interiores das habitações quer reabilitadas quer não reabilitadas.

A análise dos resultados obtidos (*vd.* 3.1) durante o referido período permitiu retirar as seguintes principais conclusões:

- Para temperaturas médias diárias exteriores que variaram de **6 °C** a **10 °C**, as temperaturas médias do ar no interior das diferentes frações analisadas oscilaram entre cerca de **13 °C** e **17 °C** (*vd.* Quadro 4); as temperaturas interiores registadas resultaram, em parte, das trocas de calor com o exterior e dos ganhos solares através da envolvente, sobretudo dos vãos envidraçados. Todavia, a utilização de sistemas de aquecimento nalguns períodos em algumas frações também contribuiu para o aumento das temperaturas interiores;
- em termos de humidade do ar interior, na presente campanha os elevados valores (superiores a 80%) observados nalgumas frações determinaram a ocorrência de anomalias decorrentes da presença de humidade;
- quando se comparam as temperaturas interiores registadas em frações de pisos intermédios e em últimos pisos de edifícios não reabilitados, conclui-se que as temperaturas foram bem mais reduzidas nos pisos superiores (2 - 3 °C inferiores; *vd.* Quadro 5), situação natural que resulta da maior área de envolvente exterior existente (parte dela cobertura em terraço) nas frações de último piso. Nos edifícios

reabilitados essa diferença foi bastante mais atenuada, pelo facto da referida área em contacto com o exterior estar isolada termicamente;

- a análise das temperaturas do ar registadas em espaços interiores com diferentes exposições solares em cada habitação (*Este / Oeste e Norte / Sul*) demonstrou uma grande uniformidade no interior das frações estudadas, apenas com exceção de uma habitação pelo facto de esta ter um dos espaços aquecido, com a porta de acesso, em geral, fechada;
- das medições efetuadas com vista à análise do grau de eficácia da intervenção de reabilitação térmica, verificou-se que as temperaturas registadas nas frações não reabilitadas foram mais baixas, o que permite concluir que, para as referidas condições exteriores, se verificou uma melhoria nas condições ambientes associada à reabilitação térmica.

A análise dos resultados obtidos no conjunto de levantamentos pontuais das condições de conforto térmico (*vd.* Quadro 2) realizados nos dias 12 e 13 de janeiro, considerando os diferentes critérios de avaliação das condições de conforto térmico (*vd.* 4.1), levou às seguintes conclusões:

- adotando, quer a temperatura convencional de referência indicada na atual regulamentação nacional (20,0 °C) [4][7], quer os valores normativos recomendados para os índices térmicos (PMV e PPD) [6][8][9], os resultados obtidos nos levantamentos (Quadro 9) permitem estimar a ocorrência de situações de desconforto térmico em todos os levantamentos efetuados, durante os quais se registaram temperaturas máximas de cerca de **17 °C**;
- considerando a abordagem adaptativa, aplicando o modelo indicado na norma europeia EN 15 251 [8], verifica-se que também em todos os levantamentos efetuados as condições ambientes seriam consideradas insatisfatórias (*vd.* Fig. 17)
- se for utilizado o modelo adaptativo desenvolvido no LNEC [1], admite-se que em dois levantamentos realizados no âmbito da presente campanha de medições (*Lev. 3 e Lev. 4*; *vd.* Quadro 9), se verificou uma situação de conforto térmico mínimo; salienta-se que a temperatura média registada nos referidos levantamentos foi próxima de **17 °C**;
- os ocupantes dos espaços estudados, diretamente inquiridos por questionário acerca das suas perceções térmicas durante as medições efetuadas nas várias habitações, manifestaram uma satisfação térmica generalizada (neutralidade térmica) face às condições ambientes existentes (*vd.* 4.2.2), embora a grande

maioria (83%) considere que gostaria que o ambiente estivesse *ligeiramente mais quente*.

Durante um período próximo de um ano, que decorreu entre 30 de março de 2011 e 8 de fevereiro de 2012, foram avaliadas as condições ambientes interiores de 16 frações habitacionais, integradas em 10 blocos do bairro social Sá Carneiro, nos períodos de meia estação, verão e inverno. Em cada campanha experimental desenvolvida procurou-se avaliar as condições ambientes, em edifícios reabilitados e por reabilitar, em proporções semelhantes.

A análise global do conjunto significativo de resultados obtidos no decorrer das três campanhas de medições permitiu retirar as seguintes conclusões:

- As condições ambientes em frações localizadas em últimos pisos são, em geral, sempre mais desfavoráveis (mais quente no verão e mais frio no inverno) quando comparadas com frações localizadas em pisos intermédios; em edifícios não reabilitados a diferença é mais acentuada;
- em geral, verificou-se uma grande uniformidade de temperatura no interior das frações estudadas, com exceção de algumas habitações com orientações *Este / Oeste*, no período de meia estação, em que se observaram temperaturas mais elevadas nos espaços orientados a *Este* [2];
- a melhoria das condições de conforto resultante da intervenção de reabilitação térmica foi evidenciada nas três campanhas de medições, tendo no entanto maior destaque nos períodos de verão e de inverno
- salienta-se no entanto que o comportamento dos utilizadores dos espaços (utilização das janelas ou estores) é fundamental na definição das condições ambientes;
- com base nos resultados dos levantamentos pontuais realizados nas diferentes épocas do ano, verificou-se que apenas na meia estação as condições ambientes eram consideradas satisfatórias, tendo em conta os valores de referência indicados, quer na regulamentação nacional [4][7], quer em normalização europeia [6];
- adotando a aproximação adaptativa, em particular, recorrendo a um modelo desenvolvido especificamente para edifícios em Portugal [1] verificou-se que grande parte das condições observadas são consideradas de conforto (temperaturas interiores entre 16 °C e 25 °C);
- esta última abordagem, que tem em conta a possibilidade e a necessidade de adaptação, reflete com maior aproximação a perceção expressa pelos ocupantes dos espaços estudados;

- a grande maioria dos inquiridos manifestou estar satisfeito com as condições interiores; todavia, observou-se uma muito maior satisfação nos moradores das habitações reabilitadas, independentemente das condições interiores terem sido melhores ou não, o que demonstra a forte influência dos fatores psicológicos na definição do que se considera ser o conforto térmico.

Lisboa e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em julho de 2012.

VISTO

O Chefe da Equipa de Projeto Especial
Edificação Sustentável



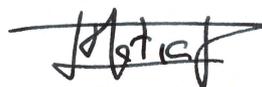
Carlos Alberto Pina dos Santos

O Conselho Diretivo



Carlos Pina
Presidente do LNEC

AUTORIA



Luís Matias
(Investigador Auxiliar)



Carlos Alberto Pina dos Santos
(Investigador Principal)

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. MATIAS, L.; PINA SANTOS, C. – *Conforto térmico em edifícios de habitação social. Bairro Sá Carneiro (Leiria). Medições na meia-estação*. Relatório nº 197/2011 – ES/LNEC. Lisboa: LNEC, maio de 2011.
3. MATIAS, L.; PINA SANTOS, C. – *Conforto térmico em edifícios de habitação social. Bairro Sá Carneiro (Leiria). Medições no verão*. Relatório nº 427/2011 – ES/LNEC. Lisboa: LNEC, dezembro de 2011.
4. /PI/ - 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.
5. COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION (CEN) – *Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities (ISO 7726:1998)*. EN ISO 7726: 2001.
6. 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.
7. /PI/ - 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.
8. 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.
9. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE) – *Thermal environmental conditions for human occupancy*. ANSI/ASHRAE Standard 55-2010.
10. INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (INE); DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA (DGEG) – *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010. Estatísticas oficiais*. ISBN 2182-0139. Edições 2011.
11. MATIAS, L. – *Avaliação das condições de conforto térmico em edifícios de habitação (Lisboa e Leiria). verão de 2010*. Relatório 110/2011-ES/LNEC. Lisboa: LNEC, abril 2011.

12. MATIAS, L. – *Avaliação das condições de conforto térmico em edifícios de habitação. inverno 2010 / 2011*. Relatório 196/2011-ES/LNEC. Lisboa: LNEC, maio 2011.
13. 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.
14. 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.

