



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

DIRECÇÃO  
Projecto Especial Edificação Sustentável

Proc. 5101/14/16598

# **CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES INTERIORES**

## **Um modelo explicativo interdisciplinar**

Projecto FCT n.º PTDC/ECM/71914/2006

Lisboa • Outubro de 2009

**I&D** EDIFICAÇÃO SUSTENTÁVEL

**RELATÓRIO 303/2009 – ES/LNEC**



## **CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES INTERIORES: UM MODELO EXPLICATIVO INTERDISCIPLINAR**

### **RESUMO**

O presente relatório enquadra-se num projecto em curso no LNEC co-financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) e denominado *Desenvolvimento de Modelos de Conforto Térmico e Visual Sustentáveis* (PTDC/ECM/71914/2006), cujo foco principal incide sobre as dinâmicas de conforto em ambientes interiores numa perspectiva interdisciplinar e que inclui o desenvolvimento de duas dissertações de doutoramento.

O relatório apresenta os resultados da análise estatística realizada com base no inquérito e nas medições efectuadas no âmbito de um dos temas do projecto acima referido, dedicado especificamente ao desenvolvimento de um modelo adaptativo de conforto térmico em espaços interiores (*Matias 2009*).

Num anterior relatório foram apresentadas reflexões iniciais acerca das representações e práticas quotidianas de conforto térmico veiculadas por utilizadores de diferentes edifícios, designadamente, edifícios residenciais especiais (lares) e convencionais, edifícios académicos e de serviços (*Almeida, Matias, Rebelo, Pina dos Santos 2009*). Adicionalmente, num segundo relatório foram analisadas as percepções dos indivíduos face às condições térmicas envolventes, bem como as estratégias adaptativas utilizadas com o objectivo de alcançar um maior conforto e bem-estar nos espaços em estudo (*Almeida, Matias, Rebelo, Pina dos Santos 2009a*).

Com este terceiro relatório pretende-se propor um modelo explicativo de conforto térmico, integrando factores físicos e psicossociais, numa perspectiva interdisciplinar que, desde o início, tem sido um dos objectivos principais da investigação em curso.

## **THERMAL COMFORT IN INDOOR ENVIRONEMNTS: AN INTERDISCIPLINARY MODEL**

### **SUMMARY**

This report is part of an ongoing project at LNEC funded by the Foundation for Science and Technology (FCT) named "Development of Sustainable Thermal and Visual Comfort Models (PTDC/ECM/71914/2006) and whose primary focus concerns the indoor comfort dynamics in an interdisciplinary perspective, including so the development of two doctoral dissertations.

The report presents a statistical analysis based on survey and measurements taken as part of one of the referred thesis specifically dedicated to the development of an adaptive model of indoor thermal comfort (*Matias 2009*).

In a previous report were presented initial conclusions about the everyday practices and representations of thermal comfort disclosed by users in different types of buildings, in particular, conventional and special residential buildings (elderly homes), as well as academic and office buildings (*Almeida, Matias, Rebelo e Pina dos Santos 2009*). In addition, a second report analyzed the individual perception of the surrounding thermal conditions and the adaptive strategies in searching comfort and well-being in studied spaces (*Almeida, Matias, Rebelo e Pina dos Santos 2009a*).

With this third report the intention is to propose an explanatory model of thermal comfort, incorporating physical and psychosocial factors in an interdisciplinary perspective, which is one of the major goals of the ongoing investigation.

## **CONFORT THERMIQUE EN AMBIANCES INTÉRIEURES: UN MODELE EXPLICATIF INTERDISCIPLINAIRE**

### **RÉSUMÉ**

Ce rapport s'encadre dans un projet en cours au LNEC, cofinancé para la Fondation pour la Science et la Technologie (FCT), dénommé *Développement de Modèles de Confort Thermique et Visuel Soutenables* (PTDC/ECM/71914/2006), dont l'objectif principal se rapporte à l'analyse des dynamiques de confort en ambiances intérieures d'un point de vue interdisciplinaire, et lequel inclus le développement de deux thèses de doctorat.

Les résultats présentent l'analyse statistique basée sur les questionnaires et les mesurages accomplis en vue l'étude d'un des thèmes du projet cité dessus, consacré spécifiquement au développement d'un modèle adaptatif de confort thermique en espaces intérieures (*Matias 2009*).

Dans un précédent rapport des réflexions initiales ont été effectuées au sujet des représentations et pratiques quotidiennes de confort thermique véhiculées par les utilisateurs de différents types de bâtiments, notamment, des bâtiments résidentiels spéciaux (maisons de retraite), bâtiments de services, universités et des bâtiments résidentiels conventionnels (*Almeida, Matias, Rebelo, Pina dos Santos 2009*). Dans un deuxième rapport l'analyse a été concentrée sur la perception des individus face aux conditions thermiques, aussi bien que sur l'analyse des stratégies adaptatives adoptées en vue de l'obtention du confort et du bien-être en ambiances intérieures (*Almeida, Matias, Rebelo, Pina dos Santos 2009a*).

L'intention de ce troisième rapport est de proposer un modèle explicatif de confort thermique, qui intègre des facteurs physiques et psychosociaux, d'un point de vue interdisciplinaire ce quoi, dès le début, a été l'un des objectifs principaux de la recherche en cours.



## **CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES INTERIORES: UM MODELO EXPLICATIVO INTERDISCIPLINAR**

### **ÍNDICE GERAL**

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. CONFORTO TÉRMICO EM ESPAÇOS INTERIORES</b> .....	3
<b>3. DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO INTEGRADO DE CONFORTO TÉRMICO</b> .....	7
3.1 Amostra .....	7
3.2 Medidas .....	8
3.2.1 <i>Variável dependente</i> .....	8
3.2.2 <i>Variáveis independentes</i> .....	10
3.3 O modelo de equações estruturais .....	15
<b>4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	18
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	21

## **CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES INTERIORES: UM MODELO EXPLICATIVO INTERDISCIPLINAR**

### **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 – Percepção de conforto térmico segundo o perfil ocupacional e a estação do ano .....	10
Figura 2 – Estado do sistema de climatização artificial segundo o perfil ocupacional do edifício e a estação do ano.....	13
Figura 3 – Índice de actividade segundo o perfil ocupacional do edifício .....	13
Figura 4 – Distribuição das temperaturas médias exteriores em função da estação do ano .....	14
Figura 5 – Número de acções adaptativas efectuadas segundo a estação do ano.....	15
Figura 6 – Modelo de conforto térmico .....	16

### **ÍNDICE DE QUADROS**

Quadro 1 – Recodificação das escalas das variáveis referentes à sensação e preferência térmicas.....	8
Quadro 2 – Distribuição de frequências do índice de conforto térmico (resultante da média entre sensação e preferência térmicas recodificadas).....	9
Quadro 3 – Pontuação factorial de cada variável na componente extraída (AFCP) .....	10
Quadro 4 – Listagem das variáveis independentes integradas no modelo de equações estruturais .....	11
Quadro 5 – Estado do sistema de climatização artificial.....	12
Quadro 6 – Número de acções adaptativas efectuadas.....	15
Quadro 7 – Estatísticas de ajustamento do modelo de equações estruturais.....	15

## **CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES INTERIORES: UM MODELO EXPLICATIVO INTERDISCIPLINAR**

### **1. Introdução**

O presente relatório constitui o terceiro de uma série de trabalhos realizados (*Almeida, Matias, Rebelo e Pina dos Santos 2009; Almeida, Matias, Rebelo e Pina dos Santos 2009a*), que têm como base o estudo do conforto térmico em ambientes interiores. Estes trabalhos enquadram-se num projecto desenvolvido pelo LNEC e co-financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) denominado de *Desenvolvimento de Modelos de Conforto Térmico e Visual Sustentáveis*<sup>1</sup>.

Um das principais preocupações do referido projecto prende-se com o interesse em acrescentar conhecimento a uma área científica ainda pouco desenvolvida em Portugal, não só pelo objecto de estudo que pretende abordar, mas também pelo seu carácter interdisciplinar que integra a visão das ciências físicas e da engenharia sobre o conforto térmico sustentável, bem como o entendimento da Psicologia Ambiental acerca das atitudes e comportamentos dos utilizadores de edifícios relacionadas com o conforto.

Num primeiro relatório apresentaram-se reflexões iniciais acerca das representações e práticas quotidianas de conforto térmico veiculadas por utilizadores de diferentes edifícios, designadamente, edifícios residenciais especiais (lares) e convencionais, bem como de edifícios académicos e de serviços (*Almeida, Matias, Rebelo, Pina dos Santos 2009*). Nessas análises concluiu-se que os dispositivos de climatização existentes se destinam, maioritariamente, ao aquecimento ambiente e que os equipamentos de ar condicionado estão ainda pouco disseminados nos vários tipos de edifícios analisados. No entanto, parece haver uma maior tendência para o aumento do seu uso em edifícios de serviços, especialmente em escritórios.

Outra conclusão interessante refere-se à imagem que os inquiridos revelaram ter dos sistemas de ar condicionado. Uma parcela significativa considerou que estes

---

<sup>1</sup> Projecto PTDC/ECM/71914/2006.

equipamentos teriam mais aspectos negativos do que positivos, tais como problemas de saúde derivados do seu uso, o seu impacto no ambiente, bem como os custos elevados de aquisição e funcionamento. Ainda assim, alguns inquiridos admitiram utilizar ou poder vir a utilizar este tipo de sistemas de controlo da temperatura no seu lar, em especial por razões relacionadas com problemas de desempenho térmico das suas habitações.

No segundo relatório desenvolvido no âmbito do projecto analisaram-se as percepções dos indivíduos face às condições térmicas envolventes, bem como as suas estratégias adaptativas destinadas a um maior conforto e bem-estar nos espaços objecto de estudo (*Almeida, Matias, Rebelo, Pina dos Santos 2009a*). Globalmente, a actividade adaptativa dos inquiridos foi baixa, ainda que as oportunidades adaptativas fossem elevadas. Esta aparente inactividade adaptativa, aliada a uma satisfação com a liberdade de controlo sobre o ambiente, parece demonstrar que os ocupantes destes espaços avaliam as condições ambientes interiores como aceitáveis, evidenciando desse modo, uma elevada tolerância térmica.

Com o presente relatório procura-se dar um contributo empírico para o conhecimento sobre o conforto térmico humano, tendo por base o pressuposto de que este é um processo dinâmico entre homem e ambiente, onde a interacção passa pela adaptação do ser humano aos espaços que ocupa, ajustando as suas preferências e expectativas de acordo com a experiência que tem desses mesmos espaços. Nesse sentido, as dinâmicas de conforto térmico serão sustentadas empiricamente por um conjunto de factores de natureza física, psicológica e social, com o objectivo de propor um modelo explicativo de conforto térmico numa perspectiva interdisciplinar que, desde o início, tem sido um dos objectivos principais da investigação em curso.

## 2. Conforto térmico em espaços interiores

A temática do conforto em edifícios, particularmente a sua vertente térmica, tem sido objecto de estudo no seio de variadas áreas disciplinares, sobretudo no contexto da investigação de processos de ocupação de ambientes interiores, onde as ciências da engenharia têm tido uma posição de relevo.

Os primeiros estudos na área do conforto térmico tiveram como base pressupostos que perspectivavam o conceito de conforto térmico enquanto uma condição física, determinada por parâmetros como as temperaturas exterior e interior, a velocidade do ar, as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente, etc. O propósito destes estudos era estimar uma gama de temperatura considerada confortável para a maioria dos ocupantes dos espaços, e que fosse aplicável de forma universal e uniforme a todo o tipo de edifícios, independentemente da sua localização geográfica e contexto cultural (*Fanger* 1970). Isso seria possível através do cálculo de uma equação matemática que estimaria as condições ambientes nas quais a maioria das pessoas afirmasse sentir-se termicamente confortável<sup>2</sup>. A metodologia de investigação aplicada nestas pesquisas com o intuito de analisar a resposta térmica humana era desenvolvida em ambiente laboratorial, com condições controladas e intervalos de temperatura estáveis e constantes<sup>3</sup>, geralmente apenas conseguidos recorrendo a sistemas de climatização artificial como o ar condicionado. (*Matias e outros* 2007).

No entanto, este tipo de modelos que perspectivam o conceito de conforto térmico como uma condição estática, apresentam lacunas no que diz respeito à integração de factores que potencialmente influenciam a sensação de conforto, como o contexto espaço-temporal e a componente psicossocial dos próprios ocupantes dos ambientes

---

<sup>2</sup> Neste contexto sentir-se confortável corresponderia a afirmar-se termicamente neutro "não sinto nem frio nem calor".

<sup>3</sup> As normas actualmente aplicáveis a edifícios baseiam-se, na sua grande maioria, em conclusões resultantes deste tipo de pesquisas efectuadas em ambiente laboratorial.

estudados. O facto destes estudos serem realizados em ambiente laboratorial não permite ter em conta os contextos reais de ocupação do espaço, como por exemplo os espaços domésticos ou laborais. Como referem *de Dear* e *Brager*, estes modelos de análise das condições de conforto térmico em ambientes interiores "...are based on a static model of thermal comfort that views occupants as passive recipients of thermal stimuli driven by the physics of the body's thermal balance with its immediate environment, and mediated by autonomic physiological responses (...) it ignores important cultural, climatic, social and contextual dimensions of comfort, leading to an exaggeration of the need of air conditioning." (*de Dear* e *Brager* 1998a: 1).

Desde então têm surgido pesquisas efectuadas com base em abordagens alternativas que permitiram concluir a existência de alguma insatisfação por parte dos ocupantes de espaços com temperaturas constantes e poucas oportunidades adaptativas disponíveis para controlo da respectiva temperatura (*Nikopoulou* e *Koen* 2003; *Humphreys* 1994). Esta situação, combinada com os altos consumos de energia requeridos para o funcionamento de sistemas de climatização artificial capazes de proporcionar um ambiente térmico uniforme, viria a dar o mote para uma nova abordagem do conforto em ambientes interiores.

Deste modo, a hipótese de que haveria mais para explicar o conforto térmico do que apenas um conjunto de parâmetros físicos e fisiológicos, veio trazer um novo fôlego a este campo de pesquisa, captando o interesse de especialistas de outras áreas, que não apenas da engenharia. Com base no estudo das inter-relações entre homem e ambiente, as dinâmicas psicossociais inerentes ao fenómeno de conforto térmico assumiram maior destaque, trazendo para o debate a importância de uma perspectiva multidisciplinar, que complementasse uma análise mais objectiva com os aspectos subjectivos da temática do conforto. Sendo assim, a par dos parâmetros físicos responsáveis pela criação de um ambiente térmico interior, integram-se factores como o contexto cultural que serve de pano de fundo às práticas quotidianas dos indivíduos, bem como as suas experiências térmicas passadas e expectativas face aos espaços que ocupam. Estes parâmetros têm efeitos comprovados na percepção térmica dos indivíduos (*de Dear* e *Brager* 1998, *Nikopoulou* e *Koen* 2003;

*Gonzalez, Fernandez e Camesellet 1997; Lin 2009; Brown e Cole 2009*), dando assim um contributo para a definição da sensação térmica humana.

A conjugação de diferentes abordagens disciplinares deu lugar a um modelo explicativo do conforto baseado nos conceitos de adaptação psicológica e comportamental (além da adaptação física), imprimindo flexibilidade à definição de conforto térmico. Nesta perspectiva, os indivíduos passam a ter um papel mais activo na definição das suas preferências térmicas, deixando assim de serem vistos como “recipientes passivos do ambiente térmico” (*de Dear e Brager 1998; Humphreys 1995; Nicol e Roaf 2005; Nicol 2007*). Em suma, a satisfação com um ambiente interior parece resultar das condições térmicas efectivas de determinado contexto cultural e geográfico, bem como das expectativas dos ocupantes relativamente ao que esse ambiente interior deveria ser. Adicionalmente, existem mecanismos de adaptação ao ambiente térmico interior que os indivíduos accionam com o objectivo de atingirem uma sensação de satisfação, interagindo assim com a envolvente ou adaptando as suas expectativas às condições térmicas interiores (*de Dear e Brager, 1998a*). Os mesmos autores sublinham ainda a necessidade de um modelo adaptativo que tenha a capacidade de alterar as normas actuais, de modo a integrar os efeitos contextuais das dinâmicas de conforto térmico: “A variable temperature standard would link indoor temperatures to the climatic context of the building, thereby accounting for past thermal experiences and thermal expectations of their occupants” (*de Dear e Brager 1998: 93*).

Isto significa que a relação homem-ambiente é influenciada por uma complexidade de factores que não são tidos em conta nos modelos estáticos de conforto térmico. Podem ser factores relacionados com as próprias características da população, como o género, a idade, a cultura, o estatuto social e económico; com o contexto envolvente (estrutura e função do edificado, estação do ano, clima, semântica), com a interacção ambiental (iluminação, acústica, qualidade do ar), bem como com aspectos relacionados com a cognição (atitudes, preferências e expectativas) (*de Dear e Brager 1998a*).

A suposição até aqui predominante de que o ambiente influenciaria o comportamento de modo mecânico é ultrapassada pela compreensão do espaço como um sistema

complexo cujas interdependências são determinadas pela percepção e avaliação subjectiva que é feita desse mesmo espaço pelos seus ocupantes. “Uma outra forma de compreender a relação no espaço é partir da maneira como o homem utiliza um lugar, como o trata afectiva e cognitivamente. Trata-se de um espaço vivido, ou seja, investido por uma experiência sensorial, motora, táctil, visual, afectiva e social, que produz, através das relações estabelecidas com ele, um conjunto de significações carregadas de valores culturais próprios.” (Fischer 1994: 38). Fischer refere ainda que o espaço social é revestido de elementos físicos que interagem com as características sociais e culturais inerentes a esses locais. Os indivíduos conhecem os seus ambientes através das imagens que deles têm, e a partir destas orientam os seus julgamentos e comportamentos, de forma a se adaptarem satisfatoriamente aos mesmos. Segundo Gonzalez, Fernandez e Camesellet (1997), a reacção emocional ao ambiente, o construído em particular, é uma componente central da percepção ambiental.

Alguns estudos têm demonstrado o papel das experiências térmicas passadas e da expectativa dos indivíduos na definição da sensação de conforto térmico. Esse papel revela-se bem presente quando comparadas as respostas de indivíduos localizados em edifícios com sistemas de climatização artificial, em contraste com espaços naturalmente ventilados mais expostos a variações térmicas. Os mecanismos de habituação térmica permitem criar determinadas expectativas quanto ao que deverá ser o desempenho térmico desse mesmo espaço no futuro. Nos espaços com ventilação natural observou-se uma maior tolerância da parte dos ocupantes face a variações na temperatura interior, facto decorrente da maior abertura deste tipo de edifícios às condições climáticas exteriores, e portanto mais sensíveis às alterações destas (de Dear e Brager 1998a; Toftu, Andersen e Jensen 2009; Brown e Cole 2009). O contrário passa-se em edifícios com ar condicionado, que mantendo condições térmicas constantes imprimem nos indivíduos expectativas de conforto térmico menos flexíveis comparativamente ao caso anterior (ambientes com ventilação natural). “Environment and behavior research teaches that one’s experience of a place is a multivariate phenomena and a reflection of the degree to which the place contributes to a person’s objectives and expectations”. (de Dear e Brager 1998: 85).

### **3. Desenvolvimento de um modelo integrado de conforto térmico**

A compreensão do conforto térmico como um fenómeno multivariado explicado por factores de natureza diversa, constitui um dos objectivos do presente estudo. A análise estatística de uma base de dados recolhida no âmbito de uma dissertação de doutoramento apoiada pelo projecto de investigação (*Matias 2009*), permitiu retirar conclusões interessantes relativamente ao objecto de estudo.

Para tal recorreu-se a uma ferramenta de análise estatística capaz de modelar a relação de dependência entre variáveis. A transposição desta relação para um modelo de equações estruturais permitiu conhecer o nível de dependência do conceito de conforto térmico<sup>4</sup> face a um conjunto de parâmetros potencialmente influenciadores.

Numa primeira fase, realizaram-se análises de regressão linear múltipla que permitiram concluir a existência de relações de dependência entre as variáveis em estudo. Posteriormente construiu-se um modelo de equações estruturais, com o intuito de "...analisar na globalidade e para a amostra estudada, a validade do pressuposto teórico enunciado, avaliando relações de dependência ou interdependência simultâneas entre um conjunto de variáveis" (*Cardoso 2007: 194*).

#### **3.1 Amostra**

Para a realização deste estudo, foi recolhida informação sobre 101 espaços interiores em 38 edifícios distribuídos por várias zonas do país. Foram registados dados objectivos com base em medições de vários parâmetros ambientes (temperatura operativa, temperatura do ar, humidade relativa do ar, entre outros) e dados subjectivos relativos às opiniões dos indivíduos acerca dos espaços que ocupavam,

---

<sup>4</sup> A variável 'conforto térmico' mede a percepção de conforto dos ocupantes e será apresentada mais adiante.

mais especificamente acerca das suas impressões sobre o ambiente térmico interior. Os dados subjectivos dizem respeito a 1518 indivíduos inquiridos que frequentavam os espaços seleccionados e localizados em edifícios de serviços (escritórios e universidades) e em edifícios residenciais (lares de idosos, habitações convencionais)

### 3.2 Medidas

#### 3.2.1 Variável dependente

A maioria dos investigadores avalia a noção de conforto térmico dos indivíduos, através da sensação térmica que estes afirmam ter (*de Dear* 1998; *Humphreys* 1994; *Fanger* 1974). No entanto, considera-se aqui que a noção de conforto pode integrar mais avaliações do que apenas a sensação térmica de um indivíduo num dado momento, como por exemplo o que o indivíduo prefere sentir (*Almeida, Matias, Rebelo e Pina dos Santos* 2009a). Assim, um indivíduo que afirma sentir-se neutro nem sempre prefere manter-se assim, desejando sentir, por exemplo, mais frio ou mais calor consoante a estação do ano, os sistemas de climatização existentes no edifício, ou outros factores. Com base neste pressuposto, criou-se uma nova variável a partir das variáveis 'sensação térmica' e 'preferência térmica'<sup>5</sup>, recodificando-se previamente as suas escalas de sete pontos para três níveis, designadamente, "desconfortável" (nível 1), "ligeiramente desconfortável" (nível 2) e "confortável" (nível 3) (cf. Quadro 1).

Quadro 1 – Recodificação das escalas das variáveis referentes à sensação e preferência térmicas

Escala original	Sensação térmica	Preferência térmica	Escalas após recodificação	
-3	Muito quente	Muito mais quente	Desconfortável	1
-2	Quente	Mais quente		
-1	Ligeiramente quente	Ligeiramente mais quente	Ligeiramente desconfortável	2
0	Nem quente nem frio	Tal como está	Confortável	3
1	Ligeiramente frio	Ligeiramente mais frio	Ligeiramente desconfortável	2
2	Frio	Mais frio	Desconfortável	1
3	Muito frio	Muito mais frio		

<sup>5</sup> As variáveis sensação e preferência térmicas foram medidas segundo uma escala de 7 pontos (sensação térmica: escala entre -3 (muito frio) e 3 (muito quente); preferência térmica: escala entre -3 (muito mais frio) e 3 (muito mais quente)).

Posteriormente, construiu-se um índice de conforto térmico, resultante da média aritmética entre a sensação e a preferência térmicas recodificadas, cuja distribuição se apresenta no Quadro 2. Uma breve análise descritiva da distribuição do índice de conforto térmico revela que a maioria dos indivíduos tende a considerar-se confortável, tal como expresso pelas percentagens de resposta que são mais elevadas nos últimos pontos da escala. É no extremo da escala (ponto 3) que estão presentes os indivíduos que afirmaram sentir-se confortáveis e não querer alterar as condições térmicas envolventes.

Quadro 2 – Distribuição de frequências do índice de conforto térmico (resultante da média entre sensação e preferência térmicas recodificadas)

<b>Índice de Conforto Térmico</b>			
	Frequência	%	% Acumulada
1	24	1,6	1,6
1,5	84	5,5	7,1
2	369	24,3	31,4
2,5	384	25,3	56,8
3	656	43,2	100
Total	1517	99,9	
NR	2	0,1	
Total	1519	100	

A análise da Figura 1, em que se apresenta a distribuição do índice de conforto térmico em função da estação do ano e do perfil ocupacional dos espaços interiores, permite afirmar que:

- No Verão, os inquiridos em lares de idosos são os que mais se afirmam como confortáveis, seguidos dos indivíduos inquiridos em universidades e edifícios de escritórios;
- No Inverno são os inquiridos em universidades os mais confortáveis, havendo menor percentagem de utentes de escritórios a partilhar dessa percepção.

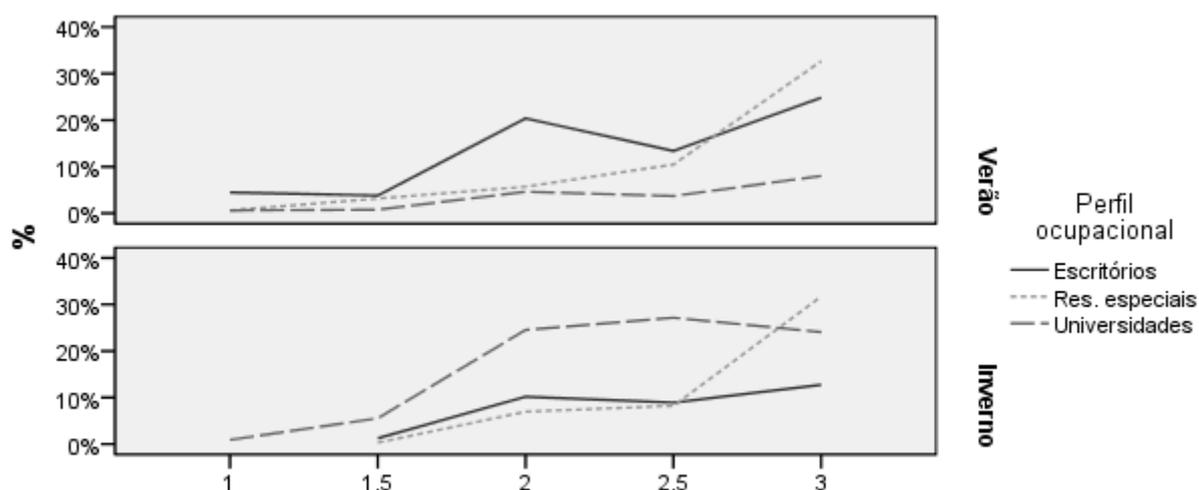


Figura 1 – Percepção de conforto térmico segundo o perfil ocupacional e a estação do ano

### 3.2.2 Variáveis independentes

Foi realizada uma análise factorial em componentes principais (AFCP) com o objectivo de reduzir o número de variáveis intervenientes no modelo e a detectar possíveis correlações entre elas. Como se pode observar no Quadro 3, a AFCP efectuada gerou dois factores ou componentes, os quais são responsáveis por 73% da variação total.

Quadro 3 – Pontuação factorial de cada variável na componente extraída (AFCP)

<i>Variáveis</i>	<i>Factores</i>	
	<b>Percepção do ambiente térmico</b>	<b>Parâmetros físicos do ambiente interior</b>
Temperatura do ar		0,947
Velocidade do ar		0,694
Temperatura interior		0,953
Índice de vestuário		-0,792
Tolerância térmica do inquirido	0,853	
Avaliação do ambiente térmico	0,858	

O factor 1, denominado de “Percepção do ambiente térmico” integra as variáveis ‘tolerância térmica’ e ‘avaliação do ambiente térmico’<sup>6</sup>. Com este factor pretende-se medir a percepção térmica dos indivíduos relativamente ao ambiente térmico envolvente com base, por um lado, na avaliação que estes fazem desse ambiente, e por outro lado, na sua tolerância face ao mesmo. O segundo factor, o qual foi designado por ‘Parâmetros físicos do ambiente interior’ agrega as variáveis quantitativas ‘temperatura interior’, ‘temperatura do ar’ e ‘velocidade do ar’, bem como o ‘índice de vestuário dos inquiridos. O valor negativo atribuído ao peso desta variável na componente 2 significa que tem uma distribuição contrária às restantes variáveis presentes na mesma componente. Isto significa que quanto mais alta a temperatura do ar, mais baixo o índice de vestuário dos indivíduos.

Quadro 4 – Listagem das variáveis independentes integradas no modelo de equações estruturais

<b>Código da variável</b>	<b>Nome da variável</b>	<b>Natureza da variável</b>	<b>Modalidades de resposta</b>
Factor 1	Parâmetros ambientes interiores	Quantitativa ( <i>scores</i> factoriais)	-----
Factor 2	Percepção do ambiente térmico	Quantitativa ( <i>scores</i> factoriais)	Varia entre percepção do ambiente como desconfortável a confortável
Tr7	Temperatura média <sup>7</sup> exterior dos últimos 7 dias	Quantitativa	-----
Act_i	Índice de actividade dos ocupantes	Quantitativa	Varia entre pouca ou nenhuma actividade motora e muita actividade
Clim_on	Estado do sistema de climatização	Qualitativa dicotómica ( <i>Dummy</i> )	0 =Desligado/sem sistema 1= Ligado
Scont_i_rec	Satisfação com o grau de liberdade de actuação sobre o ambiente térmico	Qualitativa dicotómica ( <i>Dummy</i> )	0= Insatisfeito 1=Satisfeito
Comp_adapt	Adaptação comportamental (nº de acções efectuadas)	Quantitativa	Varia entre 0 (min) e 3 (Max) acções adaptativas

<sup>6</sup> A variável ‘tolerância térmica’ mede o nível de tolerância do inquirido face ao ambiente térmico numa escala de 1 (Intolerável) a 4 (Tolerável), enquanto a variável ‘avaliação do ambiente térmico’ mede a avaliação geral – em termos de aceitabilidade – dos inquiridos face às condições térmicas interiores numa escala de 1 (Muito desconfortável) a 4 (Confortável).

<sup>7</sup> Este índice de temperatura exterior corresponde ao valor médio diário exponencialmente ponderado dos últimos sete dias.

Além das componentes obtidas através da análise factorial efectuada, o modelo de equações estruturais procurou ter também em conta outros aspectos, designadamente, as condições climáticas exteriores ('temperatura exterior'), o 'nível de actividade metabólica' dos ocupantes, o "estado dos sistemas de climatização artificial", o 'grau de satisfação com a liberdade de controlo das condições ambientes' e o 'número de acções adaptativas' efectuadas pelos indivíduos. O Quadro 4 sintetiza todas as variáveis independentes incluídas no modelo de equações estruturais, bem como a informação específica acerca de cada uma delas.

A análise da distribuição da variável "estado do sistema de climatização artificial" (cf. Quadro 5) permite afirmar que mais de 60% dos indivíduos ocupavam espaços com climatização artificial desligada ou inexistente.

Quadro 5 – Estado do sistema de climatização artificial

<b>Sistema de climatização</b>	<b>N</b>	<b>%</b>
Desligado/sem sistema	983	64,8
Ligado	535	35,2
<b>Total</b>	<b>1518</b>	<b>100,0</b>

Uma análise mais refinada de acordo com o perfil ocupacional dos edifícios e a estação do ano fornece as seguintes conclusões (cf. Figura 2):

- No Verão os ocupantes de edifícios de escritórios são os que têm mais sistemas de climatização em funcionamento, contrariamente ao que acontece nos lares de idosos (residenciais especiais) que estão em maioria no que diz respeito aos sistemas de climatização desligados (ou inexistentes);
- No Inverno o padrão é diferente, sendo os inquiridos em edifícios de ensino os que têm mais sistemas desligados e os que ocupam lares de idosos os que têm mais sistemas em funcionamento, demonstrando provavelmente uma maior intolerância destes utentes a temperaturas baixas.

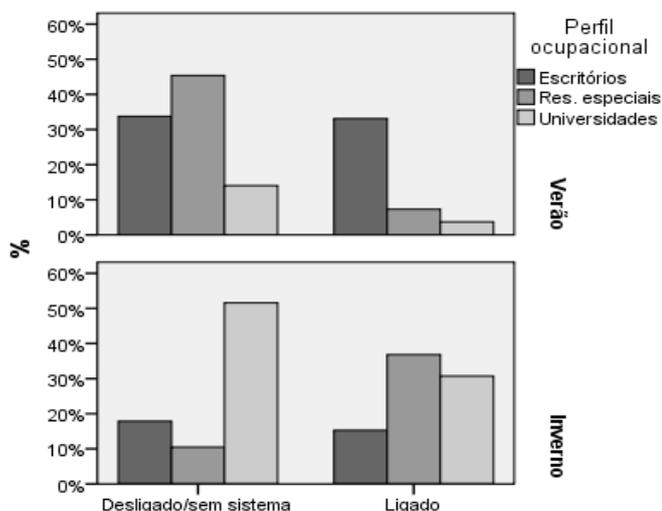


Figura 2 – Estado do sistema de climatização artificial segundo o perfil ocupacional do edifício e a estação do ano

Relativamente ao índice de actividade dos inquiridos<sup>8</sup> segundo o perfil de ocupação do edifício, é possível observar (cf. Figura 3) que os indivíduos inquiridos em residências especiais são os que revelam ter menor actividade física. Entre os indivíduos presentes em edifícios de ensino e em escritórios não há diferenças significativas, apesar dos inquiridos em escritórios parecerem assumir um pouco mais de actividade.

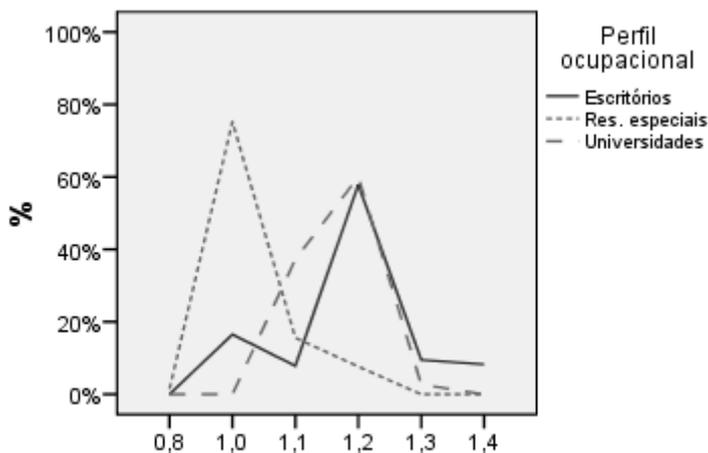


Figura 3 – Índice de actividade segundo o perfil ocupacional do edifício

<sup>8</sup> Quanto maior o valor do índice, maior o nível de actividade dos inquiridos.

A Figura 4 apresenta a distribuição das temperaturas médias exteriores em cada estação do ano num total de 285 medições. No Verão, as temperaturas exteriores oscilaram entre cerca de 18°C e 29°C e no Inverno entre, sensivelmente, 7°C e 16°C. As temperaturas exteriores na meia estação aproximaram-se mais do padrão do Inverno (entre 7°C a 19°C).

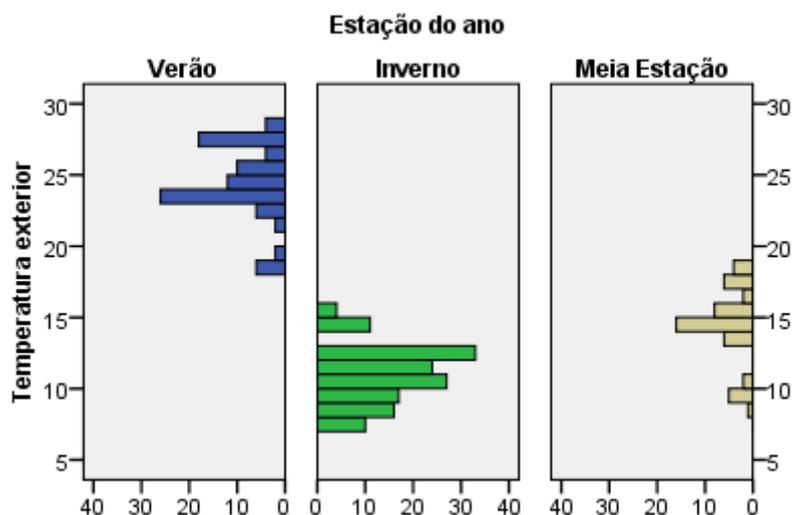


Figura 4 – Distribuição de frequências das temperaturas médias exteriores em função da estação do ano

De acordo com o Quadro 6, onde constam as percentagens globais do número de acções efectuadas pelos inquiridos de modo a se adaptarem às condições térmicas envolventes, mais de 70% dos inquiridos não realizaram nenhuma acção. Este facto pode ser explicado, quer por uma limitada actuação sobre o ambiente, quer pelo desinteresse dos ocupantes em agir sobre o mesmo. Ainda assim, 20% dos inquiridos agiram uma vez de modo a se adaptarem ao ambiente térmico (cf. Quadro 6). Se analisarmos os mesmos valores, mas segundo a estação do ano (cf. Figura 5), no Verão parece existir maior necessidade de adaptação como se pode verificar pelas percentagens (ainda que residuais) de inquiridos que levaram a cabo duas e três acções adaptativas. Os indivíduos que se adaptaram através de apenas uma acção, distribuem-se equitativamente entre as estações de Verão e de Inverno.

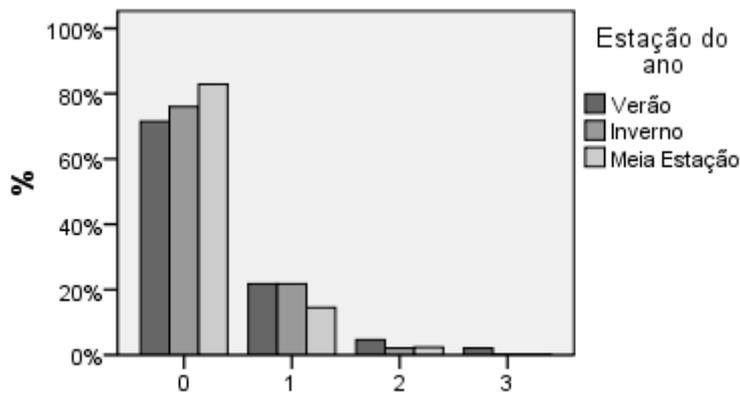


Figura 5 – Número de acções adaptativas efectuadas segundo a estação do ano

Nº de acções	Frequência	%
0	1162	76,5
1	303	20,0
2	43	2,8
3	10	0,7
Total	1518	100,0
NR	1	
Total	1519	

Quadro 6 – Número de acções adaptativas efectuadas

### 3.3 O modelo de equações estruturais

Foi testado um modelo teórico de relações hipotéticas entre as variáveis. A aceitabilidade desse modelo teórico foi avaliada através de medidas de *fitness* (ou indicadores de ajustamento do modelo) entre os dados observados e o modelo teórico. O Quadro 7 apresenta as referidas medidas de ajustamento, as quais se aproximam dos valores de referência, permitindo assim a aceitabilidade do modelo teórico.

Quadro 7 – Estatísticas de ajustamento do modelo de equações estruturais

	Qui-Quadrado (x <sup>2</sup> ) (sig.)	Graus de liberdade	CFI	RMSEA	NFI
Valores de referência	$p < 0,05$		$> 0,9$	$< 0,08$	$> 0,9$
Modelo final	198,930 ( $p < 0,001$ )	20	0,875	0,077	0,865

Legenda: CFI – comparative fit index; RMSEA – Root mean square error of approximation; NFI – Bentler-Bonnet Normed of fit index.

A Figura 6 apresenta o modelo de equações estruturais desenvolvido com o objectivo de compreender as dinâmicas de conforto térmico existentes em ambientes interiores.

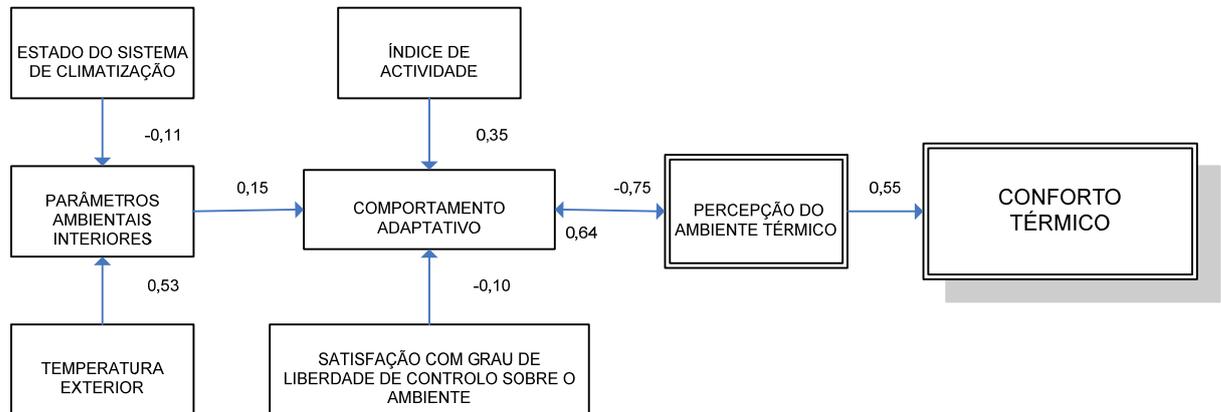


Figura 6 – Modelo de conforto térmico

A variável “conforto térmico” é directamente explicada pela percepção do ambiente térmico significando uma relação positiva e directamente proporcional entre as duas variáveis, ou seja, quanto maior a sensação individual de conforto térmico mais positivas são as percepções térmicas acerca do ambiente anterior. No entanto, e apesar da relação directa com o conforto térmico, a percepção do ambiente térmico integra no modelo o comportamento adaptativo que parece constituir a ligação chave entre os demais parâmetros do modelo final, designadamente, as variáveis objectivas (temperatura exterior, parâmetros ambientes interiores) e físicas dos espaços (sistemas de climatização) e as variáveis avaliativas (satisfação com o grau de liberdade de actuação sobre o conforto térmico).

Assim, verificamos que o “comportamento adaptativo” é uma variável que detém uma complexa rede de ligações entre as várias dimensões deste modelo. Ao iniciarmos a análise pela dimensão física do espaço, verificamos que os parâmetros ambientes interiores são influenciados pela temperatura exterior que, numa relação directamente proporcional, acompanha o aumento ou a diminuição destes. A não existência de sistemas de climatização artificial ou o facto de estes se encontrarem desligados contribui igualmente para o aumento dos valores dos parâmetros ambientes que, por sua vez, levam a um aumento do número de acções de adaptação dos indivíduos ao ambiente interior.

Mas não são apenas os parâmetros ambientes que influenciam o comportamento adaptativo. O nível de actividade no momento da observação (quanto mais activo, mais actuou) e a satisfação dos inquiridos com o grau de liberdade de controlo sobre o ambiente exercem também algum efeito nas opções comportamentais dos indivíduos. Ainda assim, é com base na percepção que têm do ambiente que os inquiridos agem de forma a se adaptarem às condições térmicas, seja ingerindo bebidas, abrindo janelas, actuando nos sistemas de climatização ou alterando o vestuário. No entanto, esta relação é bilateral, uma vez que, depois de actuar sobre o ambiente, o indivíduo irá ver a sua percepção alterada, conduzindo a uma sensação de conforto.

A sensação de conforto térmico está assim directamente ligada à percepção que os indivíduos têm do ambiente térmico e, indirectamente, ligada a parâmetros objectivos de conforto, revelando-a como uma construção social das características objectivas de conforto térmico dos espaços interiores. Essa sensação de bem-estar revela-se tanto maior quanto mais positiva é a avaliação que os ocupantes fazem do ambiente térmico que os rodeia, bem como do seu nível de tolerância face a essas mesmas condições ambientes.

## 4. Discussão de resultados e considerações finais

O estudo das questões relacionadas com o conforto em ambientes interiores permitiu retirar algumas conclusões, nomeadamente a existência de altos níveis de tolerância térmica acompanhada de uma avaliação geralmente positiva do ambiente térmico envolvente, originando um sentimento global de conforto por parte dos inquiridos.

Mais de 70% dos inquiridos não realizaram qualquer acção adaptativa na hora anterior à aplicação do inquérito por questionário, o que pode ser explicado pela falta de necessidade em fazê-lo, uma vez que já poderiam sentir-se confortáveis. Entre os restantes inquiridos que agiram de modo a melhor se adaptarem ao ambiente térmico, podemos concluir que a necessidade de adaptação é mais marcada no Verão do que nas restantes estações do ano analisadas (Inverno e meia-estação).

No Verão verificamos que são os ocupantes de edifícios de escritórios os que mais utilizam sistemas de climatização, contrariamente aos inquiridos em contextos residenciais especiais (lares), reforçando os resultados referidos em relatórios anteriores, de que os edifícios de serviços tendem a aumentar a utilização de sistemas de climatização artificial para arrefecimento dos ambientes interiores (*Almeida, Matias, Rebelo e Pina dos Santos 2009; Almeida, Matias, Rebelo e Pina dos Santos 2009a*). Por outro lado, nos edifícios residenciais especiais, verificamos um menor uso de dispositivos de ar condicionado no Verão, mas uma maior percentagem de utilização de sistemas de aquecimento da temperatura no Inverno. Isto pode revelar uma menor tolerância dos idosos a temperaturas frias, a qual se junta um menor índice de actividade física por partes destes utentes.

De facto, a análise da dependência da variável 'conforto térmico' relativamente a outras variáveis permitiu concluir que o factor que directamente influencia o estado de conforto térmico é a sua percepção dos indivíduos face às condições térmicas ambientes. A percepção do ambiente térmico inclui a tolerância térmica e a avaliação

que é feita em termos da aceitabilidade das condições térmicas envolventes. Assim, quanto mais positiva é a percepção térmica, maior a sensação de conforto.

Por seu lado, a percepção térmica é directamente influenciada pela actuação dos indivíduos: quanto menos estes actuaram (de forma a se adaptarem termicamente) anteriormente à aplicação do questionário, mais positiva foi a sua percepção térmica, e concomitantemente maior a sensação de conforto. A variável comportamento adaptativo é um elemento fulcral na análise, uma vez que faz a ligação entre os referidos parâmetros psicológicos e os parâmetros físicos do ambiente térmico.

Os parâmetros objectivos do ambiente térmico interior (temperatura, velocidade do ar, etc.) são definidos em grande medida pela temperatura exterior, por um lado revelando uma relação dinâmica entre ambiente interior e condições climáticas exteriores e, por outro lado, pelo estado de funcionamento dos sistemas de climatização. Além destes parâmetros, também o nível de actividade física dos inquiridos e a sua satisfação com a liberdade de controlo sobre o ambiente térmico, demonstram a sua influência sobre o comportamento adaptativo dos participantes.

É possível detectar então um conjunto variado de factores responsáveis pelo comportamento adaptativo dos indivíduos. A decisão de actuar ou não sobre as condições térmicas (comportamento adaptativo) integra variáveis objectivas das condições ambientes do espaço físico (parâmetros interiores e exteriores, estado do sistema de climatização, etc.) e factores subjectivos ligados à percepção do ambiente térmico e à satisfação com a liberdade de controlo. Assim, verificamos que é a decisão de actuar ou não sobre as condições térmicas do ambiente físico que vai influenciar a percepção dos indivíduos sobre esse mesmo ambiente (num sentido bi-direccional) e, conseqüentemente, a sua sensação de conforto térmico.

Lisboa e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em Outubro de 2009.

**VISTO**

O Chefe da Equipa de Projecto Especial  
Edificação Sustentável



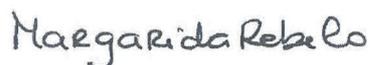
Carlos Alberto Pina dos Santos

O Conselho Directivo



Carlos Matias Ramos  
Presidente do LNEC

**AUTORIAS**



Margarida Rebelo  
(Investigadora Auxiliar)



Sílvia Almeida  
(Bolseira FCT)



Luís Matias  
(Assistente de Investigação)



Carlos Alberto Pina dos Santos  
(Investigador Principal)

## 5. Referências bibliográficas

1. ALMEIDA, S. MATIAS, L. REBELO, M. E PINA DOS SANTOS, C. (2009) – *Representações e práticas de conforto térmico em ambientes interiores*, Lisboa: LNEC.
2. ALMEIDA, S. MATIAS, L. REBELO, M. E PINA DOS SANTOS, C. (2009a) – *Percepção e adaptação térmica em ambientes interiores*, Lisboa: LNEC.
3. BRAGER, G., DEAR, R. de (1998) *Thermal adaptation in the built environment: a literature review*, *Energy and buildings* 27, 83-96
4. BROWN, Z., COLE, R. (2009) *Influence of occupants' knowledge on comfort expectations and behaviour*, *Building Research & Information*, nº37:3, 227-245.
5. DEAR, R. de, BRAGER, G. (1998), *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference*, Center for the Built Environment, Berkeley California.
6. FANGER, O. (1970) *Thermal comfort analysis and applications in environmental engineering*, New York, Mcgraw Hill.
7. FISCHER, G. (1994) *Psicologia Social do Ambiente*, Instituto Piaget, Lisboa
8. GONZALEZ, M., FERNANDEZ, C., CAMESELLET, J. (1997) *Empirical Validation of a Model of User Satisfaction with Buildings and their Environments as Workplaces*, *Journal of Environmental Psychology* nº 17, 69-74
9. HUMPHREYS, M. (1994) *Field studies and climate chamber experiments in thermal comfort research* em Oseland, N. e Humphreys, M., *Thermal comfort: past, present and future*. Watford, Building Research Establishment: 52-69.
10. HUMPHREYS, M. (1995) *Thermal comfort temperatures and the habits of hobbits* em Nicol, F., Humphreys, M., Sykes, O. e Roaf, S, *Standards for thermal comfort*. London, E & F N Spon: 3-14.
11. LIN, T. (2009) *Thermal Perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions*, *Building and Environment*, nº 44, 2017-2026.

12. MATIAS, L. (2009) - *Desenvolvimento de um modelo adaptativo para definição das condições de conforto térmico em Portugal*, Tese de doutoramento em Engenharia Civil. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
13. MATIAS, L., ALMEIDA, S., REBELO, M., PINA DOS SANTOS, C., CORREIA GUEDES, M. (2009a) - *Adaptive Thermal Comfort for Buildings in Portugal based on Occupants' Thermal Perceptions*, PLEA2009- 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture: Quebec city, Canada, 22-24 June 2009.
14. MATIAS, L.; ALMEIDA, S.; REBELO, M.; SANTOS, C.; CORREIA GUEDES, M. (2008) – *Conforto térmico em edifícios e sustentabilidade*, Congresso Internacional de Inovação na Construção Sustentável (CINCOS'08), p. 427-439. Curia: Plataforma para a Construção Sustentável, 23-25 Outubro 2008.
15. MATIAS, L., PINA DOS SANTOS, C., CORREIA GUEDES, C. (2006) – *Condições de conforto térmico em edifícios em Portugal. Modelo adaptativo*, Actas do Encontro Nacional sobre Qualidade e Inovação na Construção – QIC2006, Lisboa, p. 355-365.
16. MATIAS, L.; SANTOS, C.; REBELO, M.; SILVA, D.; CORREIA GUEDES, M. (2007) – *Constant or variable indoor environments? Sustainable option of adaptive thermal comfort*, Congresso International Portugal SB07 – Sustainable Construction. Materials and Practices, Challenge of the Industry for the New Millenium, p. 403-410. Lisboa: IST, 12-14 Setembro 2007.
17. NICOL, F. e ROAF, S. (2005) *Post-occupancy evaluation and field studies of thermal comfort*. Building Research & Information, 33 (4), 338-346.
18. NICOL (2007) *Comfort and energy use in buildings – getting them right*. Energy and Buildings, 39 (7), 737-739.
19. NIKOLOPOULOU, M., KOEN, S. (2003) *Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces*, Energy and Buildings, 35, 95-101.
20. TOFTUM, J., ANDERSEN, R.V., JENSEN, K.L. (2009) *Occupant performance and building energy consumption with different philosophies of determining acceptable thermal conditions*, Building and Environment, 44, 2009-2016.

