



**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA PROPOSTA DE REVISÃO DO RCCTE  
EM TERMOS DE CONFORTO DE VERÃO**

**Estudo de um caso de desconforto térmico num edifício de habitação**

**Maria Paula Alves Aguiar Rodrigues de Melo**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de mestre  
em Construção de Edifícios

Dissertação realizada sob a supervisão da Professora Doutora Maria Helena Corvacho, do  
Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

**Porto, Junho de 2005**

## **AGRADECIMENTOS**

À Professora Doutora Maria Helena Corvacho manifesto a minha gratidão empregando palavras que são muito pequenas para expressar tão grande capacidade de orientação científica, total disponibilidade, incentivo nos momentos mais críticos e o seu grande carácter humano, que ficam marcados ao longo da vida.

Ao Engenheiro Nuno Machado do Departamento de Física das Construções da FEUP pelo seu auxílio e disponibilidade na aquisição dos aparelhos de medição de temperatura.

Ao Fernando Silva pela sua disponibilidade e colaboração na formatação das imagens deste trabalho.

Aos meus Pais pelo apoio que sempre manifestaram.

Aos meus filhos Miguel e Francisco pela compreensão de receberem muitas vezes a palavra “não”.

Ao meu marido Carlos a quem dedico este trabalho pela sua ajuda, pelo seu apoio e pelos incentivos constantes.

## **RESUMO**

A existência de um Projecto de Revisão do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), motivou o estudo da avaliação do impacto da sua aplicação, no que diz respeito à estação de arrefecimento.

Com essa finalidade, analisa-se o comportamento térmico, em termos de arrefecimento, de um edifício multifamiliar e de uma moradia unifamiliar e aprofunda-se o estudo de um caso de desconforto térmico de uma habitação unifamiliar.

Nos cálculos efectuados, aplicam-se as duas metodologias: a do RCCTE em vigor e a do Projecto de Revisão, de modo a comparar as respectivas exigências.

Para o estudo da situação de desconforto térmico são realizadas “in situ” medições de temperaturas e humidades relativas.

Avaliados os resultados, apresentam-se algumas reflexões sobre as novas exigências previstas.

## **ABSTRACT**

The Revision work of Portuguese Thermal Regulation (RCCTE), in progress, has motivated an evaluation study of its application impact, in what concerns the cooling season.

To achieve that aim, we analyze the summer thermal behaviour of a multifamily building and a family residence and we go deeper into the study of a particular case of thermal discomfort in a family residence.

We apply two methodologies to such results, the one adopted by the RCCTE in force and the one of the Revision Project, so that we may compare the respective demands.

For the study of the thermal discomfort situation, experimental measures “in situ” were performed obtaining temperature and relative humidity values.

After evaluating the results, we are able to present some consideration concerning the new foreseen demands.

# ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL .....	VI
--------------------	----

ÍNDICES DE FIGURAS .....	IX
--------------------------	----

ÍNDICES DE QUADROS .....	XII
--------------------------	-----

## CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO .....	1
------------------	---

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
-------------------------------	---

1.2 OBJECTO DO ESTUDO .....	4
-----------------------------	---

1.3 OBJECTIVOS .....	4
----------------------	---

1.4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO .....	5
---------------------------------------	---

## CAPÍTULO 2

REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA NA ÁREA DA TÉRMICA .....	6
--	---

2.1 ENQUADRAMENTO .....	6
-------------------------	---

2.2 REGULAMENTO ACTUALMENTE EM VIGOR .....	9
--	---

2.3 PROJECTO DE REVISÃO .....	18
-------------------------------	----

## **CAPÍTULO 3**

<b>APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS (EM VIGOR E PROPOSTA DE REVISÃO) A PROJECTOS DE EDIFÍCIOS. AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS ALTERAÇÕES PREVISTAS .....</b>	<b>31</b>
3.1 INTRODUÇÃO .....	31
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS ANALISADOS .....	32
3.3 ANÁLISE COMPARATIVA DO NÍVEL DE EXIGÊNCIA DAS DUAS VERSÕES DO RCCTE .....	37
3.4 ESTUDO DA SENSIBILIDADE DA NOVA METODOLOGIA À VARIAÇÃO DE ALGUNS FACTORES INFLUENTES .....	43

## **CAPÍTULO 4**

<b>ESTUDO DE UM CASO DE DESCONFORTO TÉRMICO .....</b>	<b>60</b>
4.1 INTRODUÇÃO .....	60
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA MORADIA .....	62
4.3 MEDIÇÕES EXPERIMENTAIS EFECTUADAS .....	66
4.3.1 Equipamento .....	67
4.3.2 Locais de medição .....	70
4.3.3 Resultados .....	71
4.3.4 Análise de resultados Experimentais .....	79
4.4 APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS REGULAMENTARES À MORADIA EM ESTUDO .....	80
4.4.1 Situações analisadas .....	80
4.4.2 Análise de resultados .....	91

4.4.3	Efeito da variação da área de envidraçados a Sul .....	94
4.4.4	Determinação de valores máximos para o factor solar .....	97
4.5	SOLUÇÕES DE MELHORIA DE COMPORTAMENTO TÉRMICO .....	100

## **CAPÍTULO 5**

<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>105</b>
-------------------------	------------

5.1	PRINCIPAIS CONCLUSÕES DECORRENTES DA APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS REGULAMENTARES A PROJECTOS DE EDIFÍCIOS .....	105
5.2	CONCLUSÕES DECORRENTES DO ESTUDO DE CASO .....	107
5.3	DISCUSSÃO DE EVENTUAIS AJUSTES A FAZER À PROPOSTA DE REVISÃO DO RCCTE .....	108
5.4	POSSÍVEIS DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....	109

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>110</b>
--------------------------	------------

<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>113</b>
---------------------------	------------

<b>ANEXOS .....</b>	<b>116</b>
---------------------	------------

Anexo A – Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)

Anexo B – Projecto de Revisão do Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)

# ÍNDICE DE FIGURAS

## CAPÍTULO 3

### APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS (EM VIGOR E PROPOSTA DE REVISÃO) A PROJECTOS DE EDIFÍCIOS. AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS ALTERAÇÕES PREVISTAS

Figura 3.1-	Edifício Multifamiliar no Porto – Alçado Principal .....	33
Figura 3.2-	Edifício Multifamiliar no Porto – Alçado Sul e Alçado Nascente.....	33
Figura 3.3-	Edifício Multifamiliar no Porto – Planta do 1º e 2º Andares e Planta da Cobertura .....	34
Figura 3.4-	Edifício Multifamiliar – Localização e orientação do fogo analisado .....	34
Figura 3.5 –	Morada em Braga – Alçado Sul .....	35
Figura 3.6 -	Morada em Braga – Alçado Poente, Alçado Norte, Planta do R/C e Planta do 1º Andar .....	36
Figura 3.7 –	Edifício Multifamiliar – Fogo 1 – Orientação das fachadas a Sudeste e a Oeste .....	40
Figura 3.8 –	Edifício Multifamiliar – Variação de Nvc/Nv com a orientação do edifício, para: 1. Solução inicial; 2. S máximo admissível; 3. Aenv = 30% Ap; 4. Ginternos = 7 W/m <sup>2</sup> ; 5. FF = 0,416 .....	45
Figura 3.9 –	Edifício Multifamiliar – Variação de Nvc/Nv com a inércia do edifício, para: 1. Solução inicial; 2. S máximo admissível; 3. Aenv = 30% Ap; 4. Ginternos = 7 W/m <sup>2</sup> ; 5. FF = 0,416 .....	47
Figura 3.10 –	Edifício Multifamiliar – Variação de Nvc/Nv com o coeficiente de absorção da envolvente opaca do edifício, para: 1. Solução inicial; 2. S máximo admissível; 3. Aenv = 30% Ap; 4. Ginternos = 7 W/m <sup>2</sup> ; 5. FF = 0,416 .....	49
Figura 3.11 –	Edifício Multifamiliar – Variação de Nvc/Nv com o Coeficiente de Transmissão Térmica da envolvente opaca do edifício, para: 1. Solução inicial; 2. S máximo admissível; 3. Aenv = 30% Ap; 4. Ginternos = 7 W/m <sup>2</sup> ; 5. FF = 0,416 .....	51

Figura 3.12 – Moradia Unifamiliar – Variação de Nvc/Nv com a orientação do edifício, para: 1. Solução inicial; 2. S máximo admissível; 3. Aenv = 30% Ap; 4. Ginternos = 7 W/m2 .....	55
Figura 3.13 – Moradia Unifamiliar – Variação de Nvc/Nv com a inércia do edifício, para: 1. Solução inicial; 2. S máximo admissível; 3. Aenv = 30% Ap; 4. Ginternos = 7 W/m2 .....	56
Figura 3.14 – Moradia Unifamiliar – Variação de Nvc/Nv com o Coeficiente de Absorção da envolvente opaca do edifício, para: 1. Solução inicial; 2. S máximo admissível; 3. Aenv = 30% Ap; 4. Ginternos = 7 W/m2 .....	57
Figura 3.15 – Moradia Unifamiliar – Variação de Nvc/Nv com o Coeficiente de Transmissão Térmica da envolvente opaca do edifício, para: 1. Solução inicial; 2. S máximo admissível; 3. Aenv = 30% Ap; 4. Ginternos = 7 W/m2 .....	58

## CAPÍTULO 4

### ESTUDO DE UM CASO DE DESCONFORTO TÉRMICO

Figura 4.1-	Casa de Vidro – Brasil – Lina Bo Bradi (1951), Brasil <a href="http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq004/bases/01tex.asp">http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq004/bases/01tex.asp</a> .....	60
Figura 4.2-	Moradia em estudo – Alçado Principal (Norte) e Alçado Posterior (Sul) .....	63
Figura 4.3-	Moradia em estudo – Plantas do R/C, 1º e 2º Andar e Cobertura .....	65
Figura 4.4-	Aparelhos usados na medição da temperatura e da humidade .....	67
Figura 4.5-	Registo de temperatura e humidade .....	68
Figura 4.6-	Exemplo de registo de temperatura e humidade. Sala, semana de 25 de Setembro a 2 de Outubro .....	69
Figura 4.7-	Exemplo de registo de temperatura e humidade. Quarto, semana de 19 a 25 de Setembro .....	69
Figura 4.8-	Locais de medição .....	70
Figura 4.9-	Valores das temperaturas registadas na Sala e no Exterior no dia 23 de Setembro .....	73
Figura 4.10-	Valores das temperaturas registadas na Sala e no Exterior nos dias 24, 25 e 26 de Setembro .....	74
Figura 4.11-	Valores das temperaturas registadas na Sala e no Exterior no dia 27 de Setembro .....	75
Figura 4.12-	Valores das temperaturas registadas no quarto e no exterior nos dias 24, 25 e 26 de Setembro .....	77
Figura 4.13-	Sistemas de Protecção Solar – Estores exteriores <a href="http://www.cruzfer.pt/cgi-bin/cruzfer">http://www.cruzfer.pt/cgi-bin/cruzfer</a> .....	102
Figura 4.14-	Sistemas de Protecção Solar – Lamelas de sombreamento <a href="http://www.cruzfer.pt/cgi-bin/cruzfer">http://www.cruzfer.pt/cgi-bin/cruzfer</a> .....	103
Figura 4.15-	Sistemas de Protecção Solar – Toldos <a href="http://www.cruzfer.pt/cgi-bin/cruzfer">http://www.cruzfer.pt/cgi-bin/cruzfer</a> .....	103
Figura 4.16-	Sistemas de Protecção Solar – Malha metálica Aço Inox <a href="http://www.cruzfer.pt/cgi-bin/cruzfer">http://www.cruzfer.pt/cgi-bin/cruzfer</a> .....	104

# ÍNDICE DE QUADROS

## CAPÍTULO 2

### REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA NA ÁREA DA TÉRMICA

Quadro 2.1-	Folha de Cálculo FCV.1 – RCCTE em vigor .....	13
Quadro 2.2-	Diferenças efectivas de temperatura $\Delta T_e$ (paredes) ( $^{\circ}\text{C}$ ) – RCCTE em vigor (Quadro V.1) .....	14
Quadro 2.3-	Correcção de $\Delta T_e$ para paredes e coberturas – RCCTE em vigor (Quadro V.2) .....	14
Quadro 2.4-	Diferenças efectivas de temperatura $\Delta T_e$ (coberturas) ( $^{\circ}\text{C}$ ) – RCCTE em vigor (Quadro V.3).....	15
Quadro 2.5-	Folha de Cálculo FCV.2 – RCCTE em vigor .....	16
Quadro 2.6-	Folha de Cálculo FCIV.1a e FCV.1b – Projecto de Revisão .....	24
Quadro 2.7-	Folha de Cálculo FCIV.1d – Projecto de Revisão .....	25
Quadro 2.8-	Folha de Cálculo FCV.1c e FCV.1d – Projecto de Revisão .....	27
Quadro 2.9-	Folha de Cálculo FCV.1e – Projecto de Revisão .....	28
Quadro 2.10-	Folha de Cálculo FCV.1f – Projecto de Revisão .....	28
Quadro 2.11-	Folha de Cálculo FCV.1g – Projecto de Revisão .....	29
Quadro 2.12-	Valores limites das necessidades nominais de energia útil para Arrefecimento .....	30

## CAPÍTULO 3

### APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS (EM VIGOR E PROPOSTA DE REVISÃO) A PROJECTOS DE EDIFÍCIOS. AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS ALTERAÇÕES PREVISTAS

Quadro 3.1-	Edifício Multifamiliar (Fogo 1) - Resumo dos resultados do cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento .....	38
Quadro 3.2-	Edifício Multifamiliar (Fogo 1) - Resumo dos resultados do cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento com $A_{env}=30\%AP$ .....	39
Quadro 3.3-	Edifício Multifamiliar (Fogo 1)- Resumo dos resultados do cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento para a orientação mais desfavorável .....	40
Quadro 3.4-	Morada - Resumo dos resultados do cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento .....	41
Quadro 3.5-	Morada - Resumo dos resultados do cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento para os factores solares máximos admissíveis .....	42
Quadro 3.6-	Variação dos diversos parâmetros considerados nas simulações .....	43
Quadro 3.7-	Edifício Multifamiliar (fogo 1) – Valores de $N_{vc}/N_v$ , combinando factores dois a dois .....	53
Quadro 3.8 –	Edifício Multifamiliar (fogo 1) – Valores de $N_{vc}/N_v$ para: Orientação mais desfavorável; $S_{max}$ ; $A_{env} = 30\% Ap$ ; $G_{int} = 7 W/m^2$ ; $\alpha = 0,6$ e $U = 0,3 W/m^2.^\circ C$ .....	54
Quadro 3.9-	Morada unifamiliar – Valores de $N_{vc}/N_v$ , combinando factores dois a dois ..	59
Quadro 3.10 –	Morada unifamiliar – Valores de $N_{vc}/N_v$ para: Orientação maisdesfavorável; $S_{max}$ ; $A_{env} = 30\% Ap$ ; $G_{int} = 7 W/m^2$ ; $\alpha = 0,6$ e $U = U_{max}$ . Adm .....	59

## CAPÍTULO 4

### ESTUDO DE UM CASO DE DESCONFORTO TÉRMICO

Quadro 4.1-	Medições de Temperatura e Humidade – Dia 22 de Setembro .....	72
Quadro 4.2-	Medições de Temperatura e Humidade – Dia 23 de Setembro .....	72
Quadro 4.3-	Medições de Temperatura e Humidade – Dia 27 de Setembro.....	76
Quadro 4.4-	Cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento segundo o RCCTE em vigor .....	81
Quadro 4.5-	Cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento segundo o RCCTE em estudo (Folhas de Cálculo FCIV.1a, FCIV.1b, FCIV.1d, FCV.1a, FCV.1d, FCV.1c, FCV1.e, FCV1.f e FCV1.g) .....	84
Quadro 4.6-	Resumo dos resultados do cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento .....	91
Quadro 4.7-	Resumo dos resultados do cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento com a correcção dos requisitos mínimos.....	92
Quadro 4.8-	Variação da dimensão da área dos envidraçados a Sul .....	94
Quadro 4.9-	Resumo dos resultados do cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento com redução de 10% da área de envidraçado a Sul .....	95
Quadro 4.10-	Resumo dos resultados do cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento com redução de 30% da área de envidraçado a Sul .....	95
Quadro 4.11-	Resumo dos resultados do cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento com redução de 50% da área de envidraçado a Sul .....	96
Quadro 4.12-	Factor Solar Máximo dos envidraçados tal que $N_{vc} < N_v$ – Proposta de Revisão .....	97
Quadro 4.13-	Factor Solar Máximo dos envidraçados tal que $N_{vc} < N_v$ – Regulamento em vigor .....	98
Quadro 4.14-	Factor Solar Máximo dos envidraçados tal que $N_{vc} < N_v$ – Valores para o Regulamento em vigor e para a proposta de revisão.....	99

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

#### **1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Ao longo dos tempos, o homem procurou ter condições de conforto térmico nas suas habitações para se proteger do Inverno mas, também, para atenuar o calor do Verão. Desde cedo, apercebeu-se que o conforto no interior da habitação estava associado ao calor resultante da radiação solar e às trocas de calor com o meio exterior por fenómenos de transmissão térmica.

Por razões estruturais, as paredes das habitações eram de grandes espessuras e com reduzidas aberturas de comunicação com o exterior. Estas características e as baixas condutibilidades térmicas de certos materiais utilizados reduziam as trocas de calor, sendo as amplitudes térmicas no interior das habitações inferiores às registadas no exterior.

Quem construiu cidades como Fez, Cairo, Bagdade e Teerão em climas áridos e quentes, conseguiu criar condições de vida confortáveis, para milhões de pessoas, compreendendo as formas pelas quais essas populações se poderiam adaptar ao respectivo ambiente. Estas habitações eram sombreadas durante o Verão, utilizavam colectores de vento e torres de vento

para ventilação natural, eram construídas com paredes de elevada espessura e possuíam as coberturas em abóbada, com o objectivo de promover condições de conforto satisfatórias.

Com o desenvolvimento da engenharia nos sécs. XIX e XX e com a possibilidade de utilizar o betão e o aço, as soluções clássicas de alvenaria com grande espessura foram substituídas por soluções estruturais bastante mais ligeiras. Nestas soluções não só as paredes deixaram de ter funções resistentes, reduzindo-se a sua espessura a valores mínimos, como também se passaram a utilizar janelas com uma área significativa, o que naturalmente conduziu a situações de menor conforto térmico.

As condições que influenciam o conforto térmico dependem de certas características individuais de cada ser humano tais como a actividade que está a exercer, idade, sexo, cor da pele e localização geográfica. Outros factores que influenciam o conforto dependem do ambiente envolvente incluindo-se a temperatura do ar, a radiação, a humidade e a velocidade do ar. Por exemplo, nos Estados Unidos, segundo [1] o conforto térmico é definido numa área da carta psicrométrica limitada entre 20° e 26° e entre 20% e 80% de humidade relativa.

No nosso país as condições ambiente de conforto de referência, conforme [10] são uma temperatura do ar de 20° C para a estação de aquecimento e uma temperatura do ar de 25° C e 50% de humidade relativa para a estação de arrefecimento.

Actualmente, tornamo-nos exigentes quanto à qualidade de vida, reflectindo-se na necessidade permanente de sentir conforto térmico e qualidade do ar que respiramos, tanto nos locais onde habitamos, como onde trabalhamos ou nos divertimos, ou seja, onde

passamos muitas horas das nossas vidas. Para obter este conforto, não necessitamos obrigatoriamente de prejudicar a nossa saúde nem gerar gastos excessivos ou tão pouco agredir o meio ambiente.

Ao nível dos edifícios é possível melhorar as condições de conforto e reduzir os consumos em energia convencional sem agravar significativamente os custos da construção. Os edifícios devem ser encarados como sistemas que interagem positivamente com o clima de tal forma que, pela localização e orientação dos edifícios, assim como pela sua concepção e construção, é possível otimizar a relação perdas energéticas/ganhos solares, isto é, reduzir as perdas e controlar os ganhos.

Embora estejamos a falar essencialmente de energia, não devemos ser tentados a culpar de imediato a tecnologia. Devemos lembrar que o projecto de arquitectura tem sido o principal responsável pela ineficiência no consumo de energia dos edifícios. Em alguns casos, a arquitectura, como prestadora de serviços para o sector imobiliário, foi reduzida a produzir imagens de fachadas. É indiscutível que as primeiras decisões globais na concepção arquitectónica (forma, orientação, distribuição espaço-funcional, transparência), são decisivas na qualidade térmica do espaço interno dos edifícios.

## **1.2 OBJECTO DO ESTUDO**

Com a necessidade de harmonizar os regulamentos nacionais dos vários Estados Membros da Comunidade Europeia, na área da Térmica de Edifícios, com a Directiva Europeia 2002/91/CE, publicada em 4 de Janeiro de 2003 [12], foram, recentemente, levados a cabo trabalhos de revisão do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). O novo documento encontra-se em vias de aprovação.

O presente estudo analisa as novas exigências regulamentares, contidas na proposta de revisão do RCCTE, em termos de estação de arrefecimento.

## **1.3 OBJECTIVOS**

O principal objectivo deste trabalho é a avaliação do impacto das novas exigências regulamentares para a estação de arrefecimento. Para isso, aplica-se essa nova metodologia a projectos de edifícios e em particular a uma habitação com desconforto térmico no Verão, em cujo interior se procede a medições de temperatura e humidade.

Pretende-se avaliar o nível de exigência do novo texto regulamentar por comparação com o anterior e analisar a sensibilidade da nova metodologia à variação de parâmetros influentes, de modo a identificar eventuais aspectos a melhorar na proposta de revisão do RCCTE.

## **1.4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO**

Depois deste primeiro capítulo introdutório, faz-se, no Capítulo 2, a descrição das metodologias adoptadas pelos textos regulamentares (RCCTE em vigor e proposta de revisão) após o enquadramento a nível nacional e Europeu.

No Capítulo 3, apresenta-se a aplicação das duas metodologias a projectos de edifícios, tentando caracterizar o impacto das alterações previstas. Numa primeira fase, compara-se o nível de exigência das duas versões do RCCTE e, em seguida, faz-se variar uma série de parâmetros influentes no cálculo, de modo a evidenciar a sensibilidade da nova metodologia a essa variação.

No Capítulo 4, descreve-se o estudo de um caso de desconforto térmico num edifício de habitação com uma grande área de envidraçados. Apresentam-se os resultados das medições experimentais e testa-se a aplicação das metodologias regulamentares

Finalmente, no Capítulo 5, identificam-se as principais conclusões decorrentes da aplicação do regulamento a projectos de edifícios e do estudo de caso e discutem-se eventuais ajustes a fazer à proposta de revisão do RCCTE. Termina-se sugerindo possíveis desenvolvimentos futuros do tema aqui abordado.

## **CAPÍTULO 2**

### **REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA NA ÁREA DA TÉRMICA**

#### **2.1 ENQUADRAMENTO**

As crises energéticas dos anos setenta, seguidas dos acordos internacionais para a redução de gases poluentes tais com o SO<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, têm vindo a inspirar e a suportar políticas de conservação de energia nos países mais frios que se traduziram em novas e mais rigorosas condições para as envolventes dos edifícios através do aumento dos níveis de isolamento e da redução das infiltrações. Por outro lado novas e maiores exigências têm vindo a ser postas quanto ao uso dos equipamentos e dos sistemas energéticos, através da optimização do seu dimensionamento, da melhoria da sua eficiência e da adopção de novas estratégias de regulação e controle.

Segundo [7], tais medidas viriam naturalmente a ter uma evidente menor incidência em regiões ou países como o nosso, em razão das suas condições específicas de ordem climática cultural e socio-económica que se reflectem, por exemplo, na ausência generalizada de sistemas energéticos para o conforto nos edifícios mas, também, na já referida ausência, igualmente generalizada, de condições mínimas de conforto.

Para enquadrar a regulamentação que se descreve nos sub capítulos seguintes, é indispensável situarmo-nos a nível Mundial naquilo que foi demonstrado no Protocolo de Quioto, como

sendo a vontade dos países signatários. Este documento impõe um limite nas emissões para a atmosfera de CO<sub>2</sub> e outros gases responsáveis pelo aumento do efeito de estufa (GEE) e que contribuem para o aquecimento global. Para isso, impõe-se a criação de mecanismos de actuação e a definição de políticas de curto e médio prazo que reduzam as emissões daqueles gases, de tal modo que os níveis de emissão no período de cumprimento 2008-2012 sejam os de 1990.

Em termos nacionais, a política ambiental para satisfazer o compromisso nacional neste domínio encontra-se explicitado na resolução de Conselho de Ministros nº 59/2001, de 30 de Maio, que aprovou a estratégia para as alterações climáticas, e na Lei 93/2001, de 20 de Agosto, que criou instrumentos para prevenir as alterações climáticas e os seus efeitos, tendo sido recentemente apresentado, neste âmbito o Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC).

Com a resolução do Conselho de Ministros nº 154/2001, de 19 de Outubro, o governo português adoptou formalmente o Programa E4 (Eficiência Energética e Energias Endógenas). O programa E4 assume-se, assim, como um instrumento de primordial importância na estratégia para as alterações climáticas dando um contributo decisivo no sentido do cumprimento das obrigações que Portugal assumiu ao subscrever o protocolo de Quioto, conforme [7].

Na Europa, onde os edifícios representam cerca de 40% dos consumos globais de energia, a União Europeia apontou o objectivo de aumentar a eficiência energética nos edifícios como uma das suas metas mais importantes para o futuro imediato e preparou uma proposta de Directiva para a Eficiência Energética dos Edifícios. Esta Directiva impõe aos Estados

Membros um conjunto de medidas que no essencial, já estão integradas nos objectivos expressos do Programa E4.

Uma das medidas é a dinamização da regulamentação para a certificação energética de edifícios e criação de mecanismos de controlo adequados. Nesse sentido, a Directiva 2002/91/CE, publicada em 4 de Janeiro de 2003, no seu artigo 6º, estabelece que os Estados Membros da União Europeia implementem um sistema de Certificação Energética de todos os novos edifícios ou nos existentes que sofram grandes intervenções de reabilitação. O objectivo desta Directiva é de que os Estados Membros garantam que os requisitos mínimos de desempenho energético regulamentares sejam efectivamente implantados nesses edifícios de forma a assegurar a sua eficiência energética. Esta confirmação de conformidade com a regulamentação térmica será, portanto, a forma como em Portugal, se implementará esta obrigação da referida Directiva, quer aquando do licenciamento dos respectivos projectos, como condição necessária à emissão de licença de construção, quer após a conclusão da construção, então como condição necessária à atribuição da respectiva licença de utilização, para garantia da conformidade do construído e do projectado. Este processo de verificação da conformidade regulamentar dos projectos dos novos edifícios e das grandes intervenções de reabilitação introduzirá uma significativa oportunidade de melhoria qualitativa dos novos edifícios construídos em Portugal.

## **2.2 REGULAMENTO ACTUALMENTE EM VIGOR**

A regulamentação térmica dos edifícios desempenha um papel essencial pois estabelece as características mínimas de desempenho dos edifícios, em termos da sua envolvente e dos seus sistemas consumidores de energia. Nesse sentido, foi criado, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [4], em vigor desde 1 de Janeiro de 1991. Este regulamento tem por objecto o edifício propriamente dito, tomado sem sistemas energéticos e visa estimular a melhoria da qualidade dos edifícios favorecendo a inovação em termos de projecto e de construção de forma a melhorar o conforto térmico. A sua aplicação leva a uma atitude de busca de soluções que conduzirá, preferencialmente, à dispensa de sistemas energéticos, ou seja, melhorar as condições de conforto térmico sem necessariamente requerer aumento de consumo de energia.

O Regulamento foi elaborado no sentido da definição de dois valores ou índices de consumo de energia para condições nominais convencionadas, uma para a estação de aquecimento e outra para a estação de arrefecimento. A opção de criar estes dois índices assenta em três aspectos fundamentais: a referência a condições nominais e não de consumos reais torna menos relevante a adopção de um valor anual; a existência de regiões e condições de edificação que podem exigir um cuidado especial de Inverno ou de Verão com menor atenção ao conforto na outra estação; ainda o facto da metodologia seguida parecer mais ajustada à falta de tradição destas considerações no projecto de edifícios habitual, tornando possível a maior sensibilização do projectista para o feito das suas opções do projecto.

Os valores ou índices de consumo de energia têm um significado global para o edifício numa dada estação, não impondo, por isso, à priori, nenhuma solução construtiva. Assim pode-se fazer com que um edifício passe a satisfazer o Regulamento alterando as fachadas em função da orientação, ou alterando a área ou as características dos envidraçados, ou ainda, aplicando isolamento na cobertura ou num pano de parede opaca. O número elevado de variáveis e a sua combinação permite uma gama infinita de soluções regulamentares. Este tipo de Regulamento favorece a inovação, não sendo prescritivo nas soluções que permite e não colocando portanto limitações à criatividade dos projectistas, como é desejável.

Como referido, o RCCTE assenta na definição de dois valores máximos permissíveis para as necessidades nominais do edifício, um para a estação de aquecimento ( $N_i$ ) e outro para a estação de arrefecimento ( $N_v$ ). Estes dois índices representam a energia que num ano médio seria preciso fornecer (em aquecimento) ou retirar (em arrefecimento) a um dado edifício (ou zona independente) para compensar o calor perdido ou ganho, respectivamente, através da sua envolvente quando no seu interior é mantido um ambiente termostaticado a uma temperatura de referência ( $18^{\circ}\text{C}$  no Inverno e  $25^{\circ}\text{C}$  no Verão).

Um edifício (ou zona independente) poderá adoptar quaisquer soluções construtivas desde que o valor das suas necessidades energéticas, calculado por uma metodologia padrão ( $N_{ic}$  e  $N_{iv}$ ) seja inferior ao valor máximo permissível para cada uma das estações de aquecimento e de arrefecimento e desde que ainda satisfaça os padrões mínimos de qualidade impostos para o  $K$  (Coeficiente de Transmissão Térmica) dos elementos da envolvente e para o factor solar dos envidraçados com sombreamento no Verão.

Dado que o presente estudo incide nas preocupações de conforto de Verão apresentaremos, de seguida, os procedimentos a seguir para aplicação da metodologia do RCCTE para o Verão.

Assim, para proceder à verificação das necessidades de arrefecimento, após a verificação prévia dos factores solares máximos admissíveis, são necessários os seguintes passos:

1. Fazer o levantamento de edifício, medindo:
  - a. Área útil do pavimento (excluindo a área dos espaços anexos não úteis)
  - b. Área, medida pelo exterior, de cada tipo de parede e por cada orientação
  - c. Área, medida pelo exterior de cada tipo de envidraçado e por cada orientação
  - d. Pé direito médio
  - e. Área, medida pelo exterior, de cada tipo de parede cobertura, pavimento ou envidraçado existente na envolvente interior
2. Identificar o coeficiente de transmissão térmica (K) de cada tipo de elemento da envolvente exterior e da envolvente interior.
3. Identificar face ao projecto, o valor do coeficiente de concentração de perdas térmicas da envolvente

4. Identificar o nível de inércia térmica da zona independente do edifício.
  
5. Do levantamento dimensional do edifício efectuado no passo 1., retirar os valores das áreas totais de parcelas “verticais” (ângulos de inclinação iguais ou superior a 60° relativamente à horizontal), e de elementos “horizontais” (ângulos de inclinação iguais ou inferiores a 60° relativamente à horizontal) e de envidraçados em toda a envolvente, quer esta seja interior, quer exterior.
  
6. Verificar se a área de envidraçados é ou não inferior a 15% da área útil de pavimento. Caso seja superior, o valor a adoptar no processo de cálculo de  $N_i$  (e de  $N_v$ ) é exactamente igual aos 15% da área de pavimento. Caso seja inferior, usa-se o valor real da área de envidraçado da zona independente em análise.
  
7. Identificar o factor solar de cada envidraçado, pela metodologia constante no Anexo VI do Regulamento.
  
8. Confirmar se o factor de obstrução é 0,7 ou outro mais aconselhável. Se não for, alterar o factor 0,7 inscrito na folha de cálculo FCV.1. (Quadro 2.1)
  
9. Preencher a parte Envidraçados da folha de cálculo FCV.1 (Quadro 2.1).

### QUADRO 2.1 - Folha de Cálculo FCV.1 – RCCTE em vigor

**Folha de Cálculo FCV.1**

*Cálculo das Necessidades Nominais de Arrefecimento Resultantes da Transmissão de Calor através da Envolvente*

		Orient.	Área (m <sup>2</sup> )	f	S Factor Solar	Ganhos Solares Médios	Ganho Incidente
Envidraç.		N		0,7		26	0,00
		NE		0,7		37	0,00
		E		0,7		67	0,00
		SE		0,7		75	0,00
		S		0,7		67	0,00
		SW		0,7		83	0,00
		W		0,7		77	0,00
		NW		0,7		43	0,00
		Horiz.		0,7		135	0,00
Tipo	Orient. Cor	Área (m <sup>2</sup> )	f (-)	K (W/m <sup>2</sup> °C)	ΔTe (°C)		
Paredes (PL,PM,PP)							0,00
							0,00
							0,00
							0,00
							0,00
Coberturas (CT,CTTnV,CDV)							0,00
							0,00
							0,00
<b>Total</b>							<b>0,00</b>

Factor de inércia.....	x	
Duração Média da Insolação na Estação de Arrefecimento.....	x	
Necessidades Globais.....	=	
Necessidades nominais, Nvc=Nec. globais/Ap.....		
		<input style="border: 2px solid black; width: 50px; height: 20px;" type="text"/>

10. Identificar o tipo de inércia das paredes exteriores.

11. Identificar a zona climática de Verão do concelho onde o edifício está localizado.

12. Determinar o valor das diferenças efectivas de temperatura para cada tipo de parede, conforme o valor dos Quadros V.1 e V.2 do Regulamento (Quadro 2.2; 2.3).

**QUADRO 2.2 - Diferenças efectivas de temperatura  $\Delta T_e$  (paredes) ( $^{\circ}\text{C}$ ) – RCCTE em vigor (Quadro V.1)**

Orientação	Tipo de parede		
	Leve - Massa < 200 kg/m <sup>2</sup>	Média	Pesada - Massa > 400 kg/m <sup>2</sup>
N	5,5	2,5	2
NE	10,5	7	5,5
E	12,5	10,5	8
SE	11,5	9,5	7,5
SE	8	6	5,5
SW	11,5	6,5	6,5
W	10	7	7
NW	5	4,5	4,5

**QUADRO 2.3 - Correção de  $\Delta T_e$  para paredes e coberturas – RCCTE em vigor (Quadro V.2)**

Zonas	Correcção de $\Delta T_e$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
V1:	
Continente	-2,5
Açores	-2,5
Madeira	-2,0
V2	0
V3	+ 1,5

13. Proceder de modo idêntico para as coberturas, mediante recurso aos Quadros V.3 e V.2 do Regulamento (Quadro 2.3; 2.4).

**QUADRO 2.4 - Diferenças efectivas de temperatura  $\Delta T_e$  (coberturas) ( $^{\circ}\text{C}$ ) – RCCTE em vigor (Quadro V.3)**

Cor	Coberturas ( $^{\circ}\text{C}$ )		
	Terraço sem tecto falso	Terraços com tecto falso ou cobertura em desvão não ventilado	Cobertura em desvão ventilado
Clara (inclui telha vermelha)	4	3	2
Escuro (preto, cinzento-escuro)	11,5	10	7,5

14. Terminar o preenchimento da folha de cálculo FCV.1, obtendo as necessidades nominais de arrefecimento ( $N_{vc}$ ) da zona independente em análise.

Para que o edifício esteja regulamentar, é necessário que este valor ( $N_{vc}$ ) seja inferior ao valor máximo admissível das necessidades nominais de arrefecimento imposto pelo Regulamento ( $N_v$ ). O seu cálculo faz-se através do disposto no artigo 6º do Regulamento e o respectivo processo de cálculo está esquematizado na Folha de Cálculo FCV.2 (Quadro 2.5).

### QUADRO 2.5 - Folha de Cálculo FCV.2 – RCCTE em vigor

***Folha de Cálculo FCV.2***

***Verificação da Satisfação das Exigências do Regulamento (Verão)***

Kfr (coef. de transmissão térmica das fachadas)(W/m <sup>2</sup> °C).....	<input type="text"/>
Área, Af (m <sup>2</sup> ).....	<input type="text"/>
Khr (coef. de transmissão térmica das coberturas e pavimentos)(W/m <sup>2</sup> °C)...	<input type="text"/>
Área, Ah (m <sup>2</sup> ).....	<input type="text"/>
Gref (kWh/m <sup>2</sup> .mês).....	<input type="text"/>
Área, Aenv (m <sup>2</sup> ).....	<input type="text"/>
ΔTr (°C).....	<input type="text"/>
ΔTh (°C).....	<input type="text"/>
Nv (Valor máximo imposto no Artigo 5º do Regulamento)(kWh/m <sup>2</sup> .ano).....	<input type="text"/>

$$\boxed{N_{vc} < N_v}$$

15. Conhecida a zona climática de Verão em que se localiza o edifício (passo 11º), a respectiva duração da estação de arrefecimento e os K de referência, é possível seleccionar da própria folha de cálculo FCV.2 os valores de referência para a radiação solar (Gref) e diferenças efectivas de temperatura de referência para paredes e coberturas.

16. Calcular o valor de  $N_v$  e compara-lo com  $N_{vc}$ .

Chegado a este ponto fica completa a verificação das necessidades de arrefecimento, ou seja, a verificação referente ao Verão.

## **2.3 PROJECTO DE REVISÃO**

A versão em vigor do RCCTE não é ainda muito exigente. Trata-se das primeiras intervenções no sector e, portanto, houve um cuidado especial em ter objectivos moderados. Criada a sensibilidade à aplicação deste regulamento, é oportuno proceder à sua revisão.

Com a proposta de revisão pretende-se aumentar o grau de exigência e melhorar o desempenho energético de referência tanto para os edifícios a construir como para os edifícios a renovar.

Contrariamente ao que acontecia na altura da entrada em vigor do RCCTE, segundo a introdução da proposta de revisão do mesmo [10], actualmente verifica-se uma penetração de equipamentos de climatização, com um numero significativo de edifícios novos a preverem equipamentos de aquecimento, mesmo no sector residencial, e com um cada vez maior recurso a equipamentos de ar condicionado, quer no sector residencial, quer nos edifícios de serviços, dando portanto lugar as consumos reais para controlo do ambiente interior dos edifícios, o que se tem traduzido por um crescimento dos consumos de energia no sector dos edifícios. Assim, justifica-se agora uma contabilização mais realista de consumos que com muito maior probabilidade possam ocorrer, evoluindo portanto na direcção de maiores exigências de qualidade térmica da envolvente dos edifícios.

A proposta de revisão assenta no pressuposto de que uma parte significativa dos edifícios virão a ter meios de promoção das condições ambientais nos espaços interiores, quer no

Inverno quer no Verão, e impõe limites aos consumos que decorrerão dos seus potenciais existência e uso. Nesta proposta de revisão são fixadas as condições ambientais de referência para o cálculo dos consumos energéticos nominais, segundo padrões típicos admitidos como os médios prováveis, quer em termos de temperatura ambiente quer em termos de ventilação para renovação do ar e garantia de uma qualidade do ar interior aceitável, que se tem vindo a degradar com a maior estanquidade das envolventes e uso de novos materiais e tecnologias na construção que libertam importantes poluentes. Este regulamento alarga, assim, as suas exigências ao definir objectivos de provisão de taxas de renovação do ar adequadas que os projectistas deverão obrigatoriamente satisfazer.

A verificação do cumprimento da proposta de revisão aplica-se a fracções autónomas de todos os novos edificios de habitação. Por fracção autónoma de um edificio entende-se cada uma das partes de um edificio dotada de contador individual de consumo de energia.

Apresentando de uma forma sucinta a estrutura da Projecto de Revisão (PR) podemos descrevê-la da seguinte forma:

- É composta por vinte artigos subdivididos por cinco capítulos e nove anexos. Os anexos definem procedimentos de cálculo e dados necessários à sua aplicação.
- O anexo I define os espaços com requisitos de conforto térmico

- O anexo II contém definições
- O anexo III caracteriza o país, subdividindo-o em três zonas climáticas de Inverno (I1,I2 e I3) e três zonas climáticas de Verão (V1,V2 e V3) e estabelece os parâmetros climáticos de cada zona.

- Inverno          Numero de graus dias de aquecimento (GD)

Energia solar média incidente numa superfície vertical a Sul

- Verão          Temperatura do ar (Temperatura exterior de projecto e amplitude térmica diária)

Temperatura do ar exterior e intensidade da radiação solar

- O anexo IV descreve e justifica o cálculo das necessidades nominais de aquecimento (Ni), que representa a energia que num ano médio seria preciso fornecer (em aquecimento) a um determinado edifício ou divisão independente para compensar o calor perdido através da sua envolvente, quando no seu interior é mantido um ambiente termostaticado à temperatura de referencia de 20°C.
- O anexo V descreve e justifica o cálculo das necessidades nominais de arrefecimento (Nv), que representa a energia que num ano médio seria preciso retirar (em arrefecimento) a um determinado edifício ou divisão independente para compensar o

calor ganho através da sua envolvente, quando no seu interior é mantido um ambiente termostaticado à temperatura de referencia de 25°C.

- O anexo VI descreve e justifica o cálculo das necessidades de energia para a preparação das águas quentes sanitárias (Nac).
- O anexo VII quantifica Parâmetros Térmicos tais como: o coeficiente de transmissão térmica (U) e a inércia térmica do edifício (It).
- O anexo VIII faz referencia às fichas para licenciamento.
- O anexo IX define os requisitos mínimos de qualidade térmica para a envolvente dos edifícios, tais como: coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis; zonas não correntes da envolvente; factor solar máximo admissível; valores de referencia para dispensa de verificação detalhada do RCCTE em habitações unifamiliares com área útil menor que Amv.

Da mesma forma que consideramos para o texto em vigor, vamos estudar a proposta de Revisão para a estação do Verão. Assim, para proceder à verificação das necessidades de arrefecimento, são necessários os seguintes passos:

1. Verificação previa dos factores solares máximos admissíveis.
2. Fazer o levantamento de edifício, medindo:

- a) Área útil do pavimento (excluindo a área dos espaços anexos não úteis)
  - b) Área, medida pelo interior, de cada tipo de parede e por cada orientação
  - c) Área, de cada tipo de envidraçado e por cada orientação
  - d) Pé direito médio
3. Área, medida pelo interior, de cada tipo de parede cobertura, pavimento ou envidraçado existente na envolvente interior.
  4. Identificar o coeficiente de transmissão térmica (K) de cada tipo de elemento da envolvente exterior e da envolvente interior (o que passará a designar-se por U).
  5. Identificar o coeficiente de absorção solar da superfície exterior da protecção solar Anexo V – Quadro V.5 da proposta de Revisão.
  6. Identificar o nível de inércia térmica da zona independente do edifício.
  7. Verificar se a área de envidraçados é ou não inferior a 15% da área útil de pavimento. Caso seja superior, o valor a adoptar no processo de cálculo de  $N_i$  (e de  $N_v$ ) é

exactamente igual aos 15% da área de pavimento. Caso seja inferior, usa-se o valor real da área de envidraçado da zona independente em análise.

8. Identificar o factor solar de cada envidraçado, pela metodologia constante no Anexo V Quadro - V.4 e Anexo IV - Tabela IV.1 da proposta de Revisão.
9. Determinar o factor de obstrução.
10. Identificar o factor de selectividade do vidro (Quadro V.3 da proposta de Revisão).
11. Identificar a intensidade da radiação solar na estação de arrefecimento

Depois, recolhidos todos os parâmetros listados nos passos anteriores, interessa atender a que para se efectuar o cálculo das necessidades nominais de arrefecimento do edifício é necessário proceder ao cálculo das perdas de calor por condução pela envolvente, das perdas de calor resultantes da renovação do ar e do cálculo dos ganhos internos, solares e através da envolvente opaca e transparente.

As perdas de calor pela envolvente, isto é, pelas paredes, pelos envidraçados, pela cobertura e pelo pavimento, são devidas à diferença de temperatura entre o interior e o exterior do edifício. Para o cálculo das perdas térmicas recorre-se à FCIV.1a e FCV.1b (Quadro 2.6).

## QUADRO 2.6 - Folha de Cálculo FCIV.1a e FCV.1b – Projecto de Revisão

**Folha de Cálculo FCIV.1a**  
**Perdas associadas à Envolvente Exterior**

Paredes Exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
			0,00
			0,00
			0,00
TOTAL			0,00

Pavimentos Exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
			0,00
			0,00
TOTAL			0,00

Coberturas Exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
			0,00
			0,00
TOTAL			0,00

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m <sup>2</sup> °C)	ψ.B (W/°C)
			0,00
			0,00
TOTAL			0,00

Pontes térmicas Ligações entre:	Comp. (m)	ψ (W/m <sup>2</sup> °C)	ψ.B (W/°C)
Fachada com os pavimentos térreos			0,00
Fachada com os pavimentos			0,00
Fachada com pavimentos intermédios			0,00
Fachada com cobertura inclinada ou terraço			0,00
Fachada com varanda			0,00
Duas paredes verticais			0,00
Fachada com caixa de estore			0,00
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril			0,00
Outras			0,00
TOTAL			0,00

Perdas pela envolvente exterior

da Fração Autónoma (W/°C)	<b>TOTAL</b>	0,00
---------------------------	--------------	------

**Folha de Cálculo FC V.1b**  
**Perdas associadas a Coberturas e Envidraçados Exteriores**

Perdas associadas às coberturas exteriores

Coberturas ex	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
			0,00
			0,00
			0,00
TOTAL			0,00

Perdas associadas aos envidraçados exteriores

Envidraçados	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
Verticais:			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
Horizontais:			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
TOTAL			0,00

As perdas de calor resultantes da renovação do ar são devidas ao processo natural de renovação do ar interior do edifício. Para este cálculo, procede-se ao preenchimento da FCIV.1d (Quadro 2.7).

### QUADRO 2.7 - Folha de Cálculo FCIV.1d – Projecto de Revisão

#### Folha de Cálculo FC IV.1d Perdas associadas à Renovação de Ar

Área Útil de Pavimento		<input type="text"/>	(m2)
Pé-direito médio		<input type="text"/>	(m)
Volume interior	(V)	<input type="text" value="0,00"/>	(m3)
<b>VENTILAÇÃO NATURAL</b>			
Cumpre a NP 1037-1?	(S ou N)	<input type="text"/>	se SIM: <input type="text" value="RPH=0,6"/>
Se NÃO:			
Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	<input type="text"/>	Taxa de Renovação Nominal: <input "="" type="text" value="RPH="/>
Caixas de Estore	(S ou N)	<input type="text"/>	
Classe de Exposição	(1, 2, 3 ou 4)	<input type="text"/>	<input "="" type="text" value="RPH="/>
Aberturas Auto-reguladas?	(S ou N)	<input type="text"/>	
Área de envidraçados > 15% Ap?	(S ou N)	<input type="text"/>	Ver Quadro IV.1
Portas Exteriores bem vedadas?	(S ou N)	<input type="text"/>	
<b>VENTILAÇÃO MECÂNICA (excluir exaustor da cozinha)</b>			
Caudal de Insuflação	Vins - (m3/h)	<input type="text"/>	Vf = <input type="text"/>
Caudal Extraído	Vev - (m3/h)	<input type="text"/>	
Diferença entre Vins e Vev	(m3/h)	<input type="text"/>	V = <input type="text"/> (volume int) (RPH)
Infiltrações	(Vx)	<input type="text"/>	
Recuperador de calor	(S ou N)	<input type="text"/>	se SIM: <input type="text" value="η ="/> se NÃO: <input type="text" value="η = 0"/>
Taxa de Renovação Nominal	(mínimo: 0,6)	<input type="text"/>	(Vf / V + Vx) (1-η)
Consumo de Electricidade para os ventiladores		<input type="text"/>	(Ev=Pv.24.0,03 M(kWh))
Volume		<input type="text" value="0"/>	
Taxa de Renovação Nominal		<input type="text" value="0"/>	
		<input type="text" value="0,34"/>	
TOTAL		<input type="text" value="0"/>	(W/°C)

Os ganhos térmicos totais resultam da soma dos ganhos:

- Internos, isto é, calor libertado pelas pessoas, iluminação e equipamento - FCV.1e (Quadro 2.9)
- Que penetram através da envolvente, quer os que entram directamente através dos envidraçados FCV1d (Quadro 2.8), quer os que sendo absorvidos pelas superfícies exteriores opacas da envolvente, são conduzidos até ao interior – FCV.1c (Quadro 2.8).

### QUADRO 2.8 - Folha de Cálculo FCV.1c e FCV.1d – Projecto de Revisão

#### Folha de Cálculo FC V.1c Ganhos Solares pela Envolvente Opaca

		POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL					
		.....	.....	.....	.....		
Área, A (m2)							
		x	x	x	x		
U (W/m2°C)							
		x	x	x	x		
Coeficiente de absorção, $\alpha$ (Quad V.5)							
		=	=	=	=		
$\alpha \cdot U \cdot A$		0	0	0	0	(W/°C)	
		x	x	x	x		
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (KWh/m2) (Quadro III.9)							
		x	x	x	x		
		0,04	0,04	0,04	0,04		
		=	=	=	=		
<b>Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior</b>		0	0	0	0	<b>TOTAL</b>	<b>0 (KWh)</b>

#### Folha de Cálculo FC V.1d Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores

		POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL					
		.....	.....	.....	.....		
Área, A (m2)							
		x	x	x	x		
Factor solar do vão envidraçado							
		x	x	x	x		
Fracção envidraçada, Fg (Quad. IV.5)							
		x	x	x	x		
Factor de obstrução, Fs							
		x	x	x	x		
Factor de selectividade do vidro, Fw (Quadro V.3)							
		=	=	=	=		
Área Efectiva, Ae		0,00	0,00	0,00	0,00		
		x	x	x	x		
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (KWh/m2) (Quadro III.9)							
		=	=	=	=		
<b>Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores</b>		0,00	0,00	0,00	0,00	<b>TOTAL</b>	<b>0,00 (KWh)</b>

### QUADRO 2.9 - Folha de Cálculo FCV.1e – Projecto de Revisão

Folha de cálculo FC V.1e  
Ganhos Internos

Ganhos Internos médios (W/m2) (Quadro IV.3)	<input type="text"/>	
	x	
Área Útil de Pavimento (m2)	<input type="text" value="0"/>	
	x	
	2,928	
	=	
<b>Ganhos internos Totais</b>	<input type="text" value="0"/>	<b>(KWh)</b>

Após o preenchimento das FCV.1c, FCV.1d e FCV.1e, preenche-se a Folha de Calculo do Ganhos totais na estação de arrefecimento (verão) – FCV.1f (Quadro 2.10).

### QUADRO 2.10 - Folha de Cálculo FCV.1f – Projecto de Revisão

Folha de cálculo FC V.1f  
Ganhos Totais na estação de arrefecimento (verão)

<b>Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores</b> (FCV.1d)	<input type="text"/>	<b>(KWh)</b>
	+	
<b>Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior</b> (FCV.1c)	<input type="text"/>	<b>(KWh)</b>
	+	
<b>Ganhos internos</b> (FCV.1e)	<input type="text"/>	<b>(KWh)</b>
	=	
<b>Ganhos Térmicos Totais</b>	<input type="text"/>	<b>(KWh)</b>

Para calcular o valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc), preenche-se a FCV.1g (Quadro 2.11). Compara-se, de seguida, o valor obtido com o valor do NV tabelado (Quadro 2.12).

### QUADRO 2.11 - Folha de Cálculo FCV.1g – Projecto de Revisão

Folha de cálculo FCV.1g  
 Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

Ganhos Térmicos Totais (FCV.1e)		<input type="text" value="0"/>	(KWh)
		/	
Perdas Térmicas Totais (FCV.1a)		<input type="text" value="0,00"/>	(KWh)
		=	
Relação Ganhos-Perdas	γ	<input type="text"/>	
Inércia do edifício		<input type="text"/>	

		<input type="text" value="1"/>	
		-	
Factor de utilização dos ganhos, η (Gráfico IV.1)		<input type="text"/>	
		=	
		<input type="text" value="1"/>	
		x	
Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)		<input type="text" value="0,00"/>	(KWh)
		=	
Necessidades Brutas de Arrefecimento		<input type="text" value="0,00"/>	(KWh/ano)
		+	
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)		<input type="text"/>	(Ev=Pv.24.0,03.122(kWh))
		=	
	TOTAL	<input type="text" value="0,00"/>	(KWh/ano)
		/	
Área Útil de Pavimento (m2)		<input type="text" value="0,00"/>	
		=	
Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc		<input type="text"/>	(KWh/m2.ano)
		≤	
Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv		<input type="text"/>	(KWh/m2.ano)

**QUADRO 2.12 - Valores limites das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento**

	Zona V1		Zona V2		Zona V3		Açores	Madeira
	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul		
<b>NV</b> kWh/m2.ano	16	22	18	32	26	32	21	23

## **CAPÍTULO 3**

### **APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS (EM VIGOR E PROPOSTA DE REVISÃO) A PROJECTOS DE EDIFÍCIOS. AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS ALTERAÇÕES PREVISTAS**

#### **3.1 INTRODUÇÃO**

Com o objectivo de avaliar o impacto das alterações previstas na proposta de revisão, serão aplicadas as duas versões do RCCTE a dois projectos, um de um edifício multifamiliar e outro de uma moradia unifamiliar.

À semelhança do que existe para o RCCTE em vigor, foi desenvolvida uma folha de cálculo, em Excel, com as tabelas da proposta de Revisão, para o Verão, a fim de facilitar a realização de simulações resultantes da alteração de alguns parâmetros.

Neste capítulo, começa-se por caracterizar os edifícios analisados, apresentam-se, de seguida, os cálculos efectuados para avaliar o nível de exigência do novo texto em comparação com o anterior e finalmente, analisam-se os resultados de um estudo da sensibilidade da nova metodologia à variação de alguns factores influentes.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS ANALISADOS

O primeiro projecto é o de um edifício multifamiliar localizado no Porto. Este edifício é constituído por cave, r/c, 1º, e 2º andar (Figuras 3.1, 3.2 e 3.3). A cave é reservada a estacionamento automóvel, no r/c existe um estabelecimento comercial e os 1º e 2º pisos têm dois fogos tipo T3 por piso. O fogo seleccionado para o estudo localiza-se no 2º andar e tem os principais alçados orientados a Noroeste e a Este (Figura 3.4). Com esta escolha procurou-se a situação mais desfavorável atendendo a que se localiza abaixo da cobertura.

O edifício em estudo tem a seguinte solução construtiva:

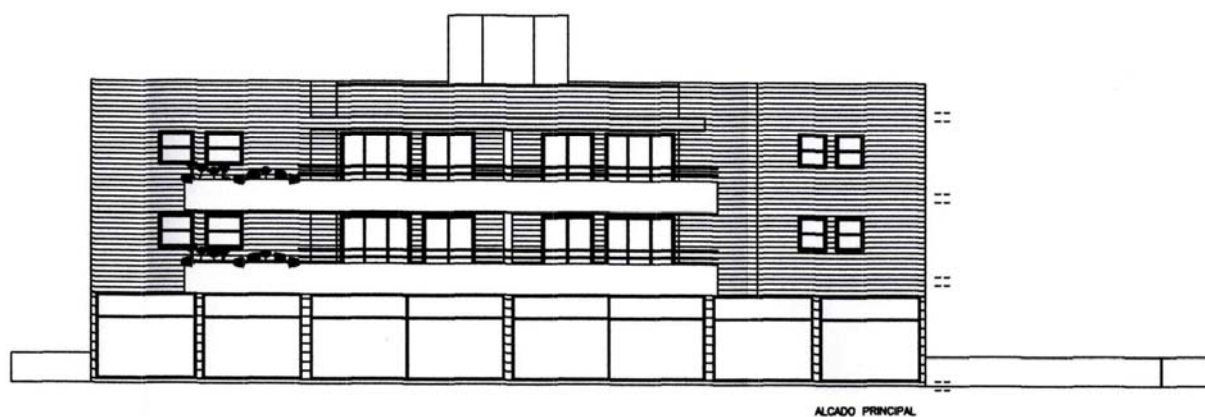
Paredes: Parede dupla (11+4+11) de tijolo cerâmico com isolamento de poliestireno expandido com 2cm – ( $K=0,74 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ;  $F_c=1,3$ ).

Cobertura: Laje aligeirada com 12+4 de blocos cerâmicos com isolamento térmico de poliestireno extrudido com 4cm – ( $K=0,66 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ;  $F_c=1,0$ ).

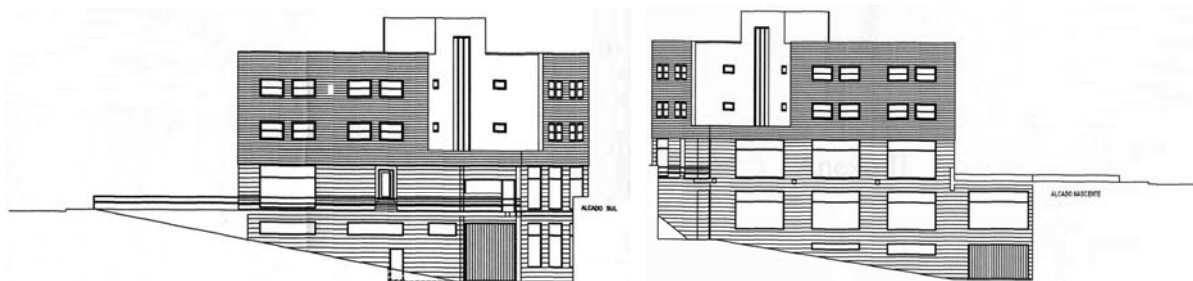
Envidraçados: Caixilharia de alumínio com vidro 6mm simples incolor com persiana exterior de plástico branco – ( $K=4,20 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ;  $S=0,07$ ).

$A_{env} = 17\% A_p$ .

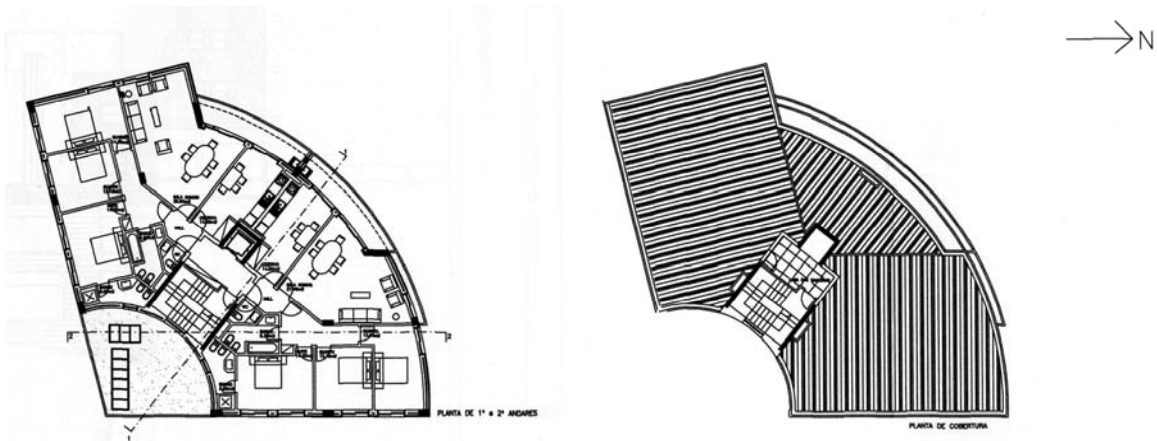
O Factor de Forma para o fogo em estudo é de 0,785.



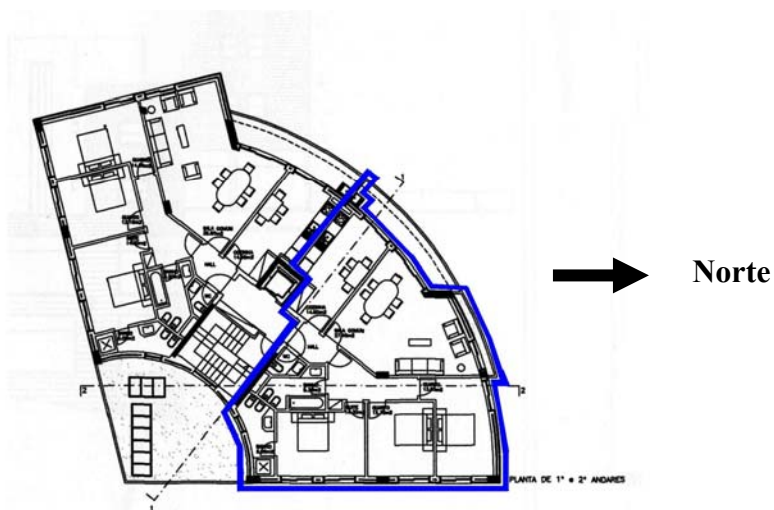
**Figura 3.1 - Edifício Multifamiliar no Porto – Alçado Principal**



**Figura 3.2 - Edifício Multifamiliar no Porto – Alçado Sul e Alçado Nascente.**



**Figura 3.3 - Edifício Multifamiliar no Porto – Planta do 1º e 2º Andares e Planta da Cobertura**



**Figura 3.4 Edifício Multifamiliar – Localização e orientação do fogo analisado**

O segundo projecto considerado é o de uma moradia unifamiliar situada em Braga, tendo a fachada principal voltada a Sul e com dois pisos, R/C e 1º andar (Figuras 3.5 e 3.6).

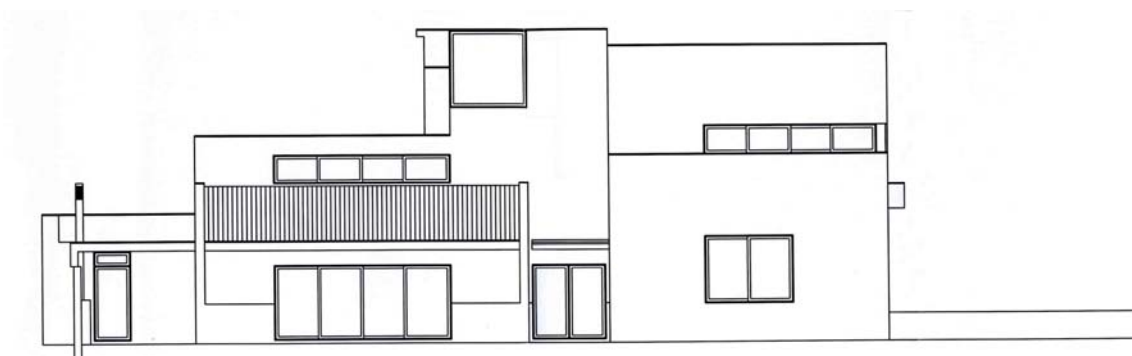
O projecto da moradia tem a seguinte solução construtiva:

Paredes: Parede dupla (15+5+11) de tijolo cerâmico com isolamento de poliestireno expandido com 4cm – ( $K=0,50 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ;  $Fc=1,8$ ).

Cobertura: Laje aligeirada de 20cm com blocos cerâmicos com isolamento térmico de poliestireno extrudido com 4cm – ( $K=0,50 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ;  $Fc=1,0$ ).

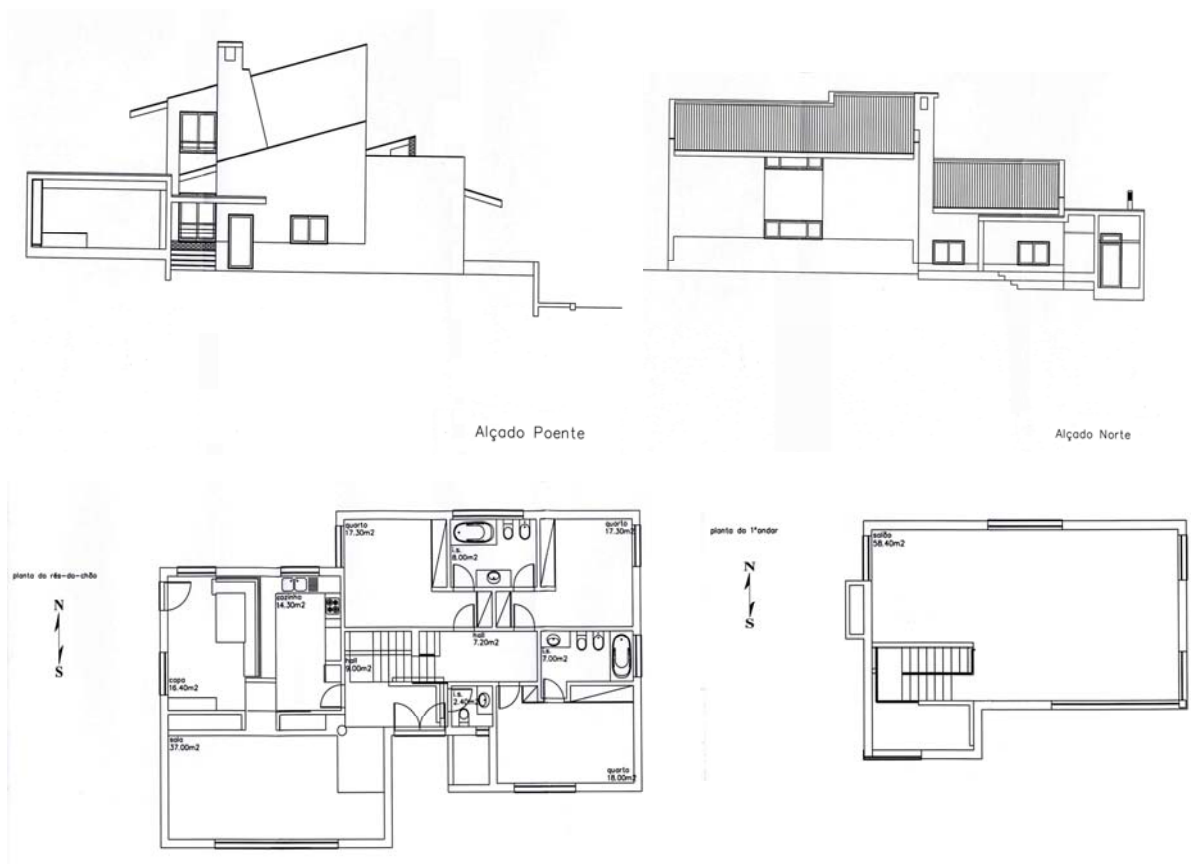
Envidraçados: Caixilharia de madeira com vidro duplo 5+6+5 incolor com estores metálicos de cor branca – ( $K=2,90 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ;  $S=0,04$ )  
 $A_{env} = 23 \% A_p$ .

O Factor de Forma da moradia em estudo é de 1,105.



**Figura 3.5 – Moradia em Braga – Alçado Sul**

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA PROPOSTA DE REVISÃO DO RCCTE EM TERMOS DE CONFORTO DE VERÃO  
Estudo de um caso de desconforto térmico num edifício de habitação



**Figura 3.6 - Moradia em Braga – Alçado Poente, Alçado Norte, Planta do R/C e Planta do 1º Andar**

### **3.3 ANÁLISE COMPARATIVA DO NÍVEL DE EXIGÊNCIA DAS DUAS VERSÕES DO RCCTE**

Conforme foi referido atrás, elaboraram-se cálculos para a verificação das necessidades de arrefecimento, quer pelo regulamento em vigor quer pela proposta de revisão, de modo a avaliar o nível de exigência do novo documento em comparação com o anterior.

Para avaliar a influência da localização geográfica, seleccionaram-se seis concelhos portugueses localizados nas seis diferentes zonas climáticas de Verão consideradas pela proposta de revisão. São eles:

- Porto – V1, Norte;
- Almada – V1, Sul;
- Braga – V2, Norte;
- Loulé – V2, Sul;
- Mirandela – V3, Norte;
- Beja – V3, Sul.

Os cálculos efectuados seguiram a metodologia do regulamento em vigor e a metodologia da proposta de revisão que sugere que “o factor solar do envidraçado deve ser tomado com dispositivos de sombreamento moveis activados a 70%, ou seja, o factor solar do vão envidraçado será igual à soma de 30% do factor solar do vidro mais 70% do factor solar do

vão envidraçado com a protecção solar móvel actuada”. Na metodologia em vigor o valor do factor solar a considerar é o do envidraçado com a protecção total do envidraçado.

Como se pode ver pelos resultados apresentados no Quadro 3.1, o projecto do edifício multifamiliar verifica o regulamento tanto para a versão em vigor como para a proposta de revisão. Este resultado é válido para todas as zonas climáticas do país, sendo, em todos os casos, o valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc), consideravelmente, inferior ao valor limite das Necessidades Nominais de Energia Útil para Arrefecimento (Nv).

**QUADRO 3.1 - Edifício Multifamiliar (Fogo 1) - Resumo dos resultados do cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento**

ZONA CLIMÁTICA	REGULAMENTO EM VIGOR				PROPOSTA DE REVISÃO			
	Nvc	Nv	Resultado	Nvc / Nv	Nvc	Nv	Resultado	Nvc / Nv
V1 NORTE Porto	1,62	8,03	<b>O.K.</b>	20%	2,12	16	<b>O.K.</b>	13%
V1 SUL Almada	3,45	17,99	<b>O.K.</b>	19%	6,24	22	<b>O.K.</b>	28%
V2 NORTE Braga	3,96	11,32	<b>O.K.</b>	35%	2,50	18	<b>O.K.</b>	14%
V2 SUL Loulé	6,12	19,48	<b>O.K.</b>	31%	17,54	32	<b>O.K.</b>	55%
V3 NORTE Mirandela	6,36	13,58	<b>O.K.</b>	47%	10,99	26	<b>O.K.</b>	42%
V3 SUL Beja	7,72	18,26	<b>O.K.</b>	42%	17,51	32	<b>O.K.</b>	55%

Verifica-se que, para uma mesma situação, a exigência regulamentar será tanto maior quanto mais próximo do limite máximo(Nv) estiver o valor de Nvc ou por outras palavras, quanto mais alta for a percentagem Nvc/Nv. Analisando o Quadro 3.1, podemos concluir que, para o cenário considerado, a proposta de revisão do RCCTE revela-se menos exigente do que a versão em vigor, para a zona Norte e, consideravelmente, mais exigente para a zona Sul, em particular para as zonas V2 Sul e V3 Sul.

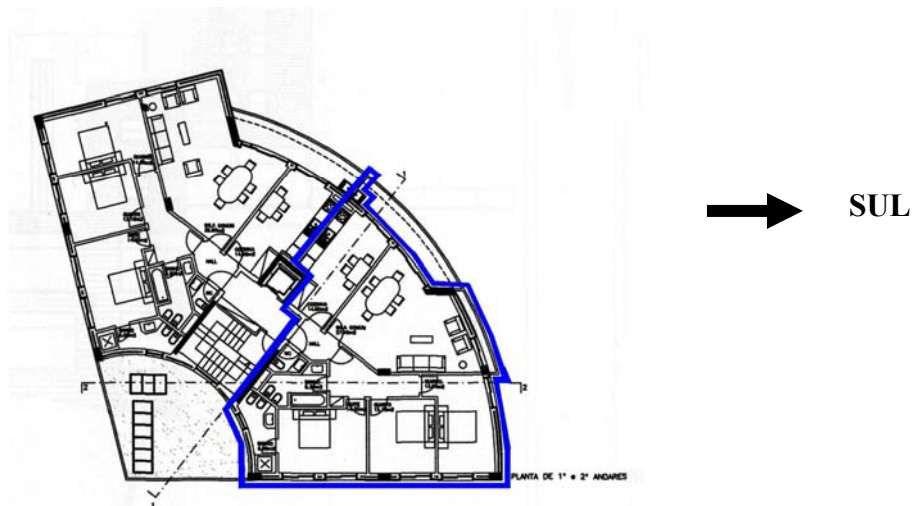
Tendo em conta os resultados do Quadro 3.1 e sabendo que a área de envidraçado do edifício multifamiliar é de cerca de 17% da área útil do pavimento, aumentou-se a área de envidraçado para 30% da área útil do pavimento para avaliar os resultados desta alteração.

**QUADRO 3.2 - Edifício Multifamiliar (Fogo 1) - Resumo dos resultados do cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento com  $A_{env}=30\%A_p$**

ZONA CLIMÁTICA	REGULAMENTO EM VIGOR				PROPOSTA DE REVISÃO			
	Nvc	Nv	Resultado	Nvc / Nv	Nvc	Nv	Resultado	Nvc / Nv
V1 NORTE Porto	1,89	7,50	<b>O.K.</b>	25%	2,4	16	<b>O.K.</b>	15%
V1 SUL Almada	4,02	16,67	<b>O.K.</b>	24%	7,13	22	<b>O.K.</b>	32%
V2 NORTE Braga	4,11	10,18	<b>O.K.</b>	40%	2,86	18	<b>O.K.</b>	16%
V2 SUL Loulé	6,35	17,43	<b>O.K.</b>	36%	20,44	32	<b>O.K.</b>	64%
V3 NORTE Mirandela	6,37	12,19	<b>O.K.</b>	52%	12,63	26	<b>O.K.</b>	49%
V3 SUL Beja	7,74	16,12	<b>O.K.</b>	48%	20,24	32	<b>O.K.</b>	63%

Analisando os resultados do Quadro 3.2 e comparando-os com os do Quadro 3.1, verificamos que o agravamento da área de envidraçado para 30% da área útil de pavimento, não traz problemas de verificação do RCCTE em vigor ou da proposta de Revisão. O acréscimo sofrido pelos valores de Nvc não chega a ser, neste caso, muito significativo, dado o valor reduzido do Factor Solar.

Como as situações estudadas para o fogo seleccionado verificam a Regulamentação, testa-se, de seguida, o comportamento do fogo, considerando a orientação que se identificou como sendo a mais desfavorável ou seja orientando as fachadas a Sudeste e a Oeste (Figura 3.7) para verificar se há variações significativas no resultado.



**Figura 3.7 – Edifício Multifamiliar – Fogo 1 – Orientação das fachadas a Sudeste e a Oeste**

**QUADRO 3.3 – Edifício Multifamiliar (fogo 1) - Resumo dos resultados do cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento para a orientação mais desfavorável**

ZONA CLIMÁTICA		REGULAMENTO EM VIGOR			PROPOSTA DE REVISÃO		
		Nvc	Nv	Nvc/Nv	Nvc	Nv	Nvc/Nv
V1 NORTE	Porto	1,96	8,03	24%	2,87	16	18%
V1 SUL	Almada	4,17	17,99	23%	7,76	22	35%
V2 NORTE	Braga	4,43	11,32	39%	3,49	18	19%
V2 SUL	Loulé	6,84	19,48	35%	23,88	32	75%
V3 NORTE	Mirandela	6,96	13,58	51%	13,30	26	51%
V3 SUL	Beja	8,45	18,26	46%	19,96	32	62%

Pelo Quadro 3.3, verifica-se que ambas as metodologias são sensíveis à variação da orientação, sendo a proposta de revisão que dá origem a alterações mais significativas, sobretudo na zona Sul (nomeadamente em V2 Sul). Para as 3 situações analisadas

relativamente ao edifício multifamiliar, mantém-se a tendência de uma maior exigência da versão em vigor para a zona Norte e da proposta de revisão para a zona Sul.

Para a moradia unifamiliar, segue-se a mesma metodologia para avaliar o impacto em todas as zonas climáticas. Nesse sentido, prevê-se a localização desta moradia nos concelhos escolhidos para representar as zonas climáticas de Verão. Tal como no caso da habitação multifamiliar, considera-se que a orientação se mantém a mesma em todas as cidades.

**QUADRO 3.4 - Moradia - Resumo dos resultados do cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento**

ZONA CLIMÁTICA	REGULAMENTO EM VIGOR				PROPOSTA DE REVISÃO			
	Nvc	Nv	Resultado	Nvc / Nv	Nvc	Nv	Resultado	Nvc / Nv
V1 NORTE Porto	2,62	13,66	<b>O.K.</b>	19%	2,06	16	<b>O.K.</b>	13%
V1 SUL Almada	5,56	31,94	<b>O.K.</b>	17%	5,91	22	<b>O.K.</b>	27%
V2 NORTE Braga	6,50	23,32	<b>O.K.</b>	28%	2,48	18	<b>O.K.</b>	14%
V2 SUL Loulé	10,05	41,12	<b>O.K.</b>	24%	16,57	32	<b>O.K.</b>	52%
V3 NORTE Mirandela	10,50	26,25	<b>O.K.</b>	40%	10,6	26	<b>O.K.</b>	41%
V3 SUL Beja	12,75	40,77	<b>O.K.</b>	31%	16,8	32	<b>O.K.</b>	53%

Mais uma vez, é notória a maior exigência da proposta de revisão para a zona Sul, verificando-se o contrário para as zonas V1 Norte e V2 Norte. Para a moradia, na zona V3 Norte, o nível de exigência das duas versões é, praticamente, equivalente.

Para determinar a influência do factor solar na aplicação das duas metodologias utiliza-se, de seguida, os valores máximos admissíveis do Factor Solar dos vãos envidraçados e suas protecções, para as diferentes localizações (Quadro 3.5). Note-se que o regulamento em vigor

determina a consideração das protecções solares activadas a 100%, enquanto que a nova metodologia apenas as considera a 70%.

**QUADRO 3.5 – Moradia - Resumo dos resultados do cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento para os factores solares máximos admissíveis.**

ZONA CLIMÁTICA		S Max. Adm.	REGULAMENTO EM VIGOR			PROPOSTA DE REVISÃO		
			Nvc	Nv	Nvc / Nv	Nvc	Nv	Nvc / Nv
V1 NORTE	Porto	0,56	9,70	13,66	71%	6	16	38%
V1 SUL	Almada	0,56	20,61	31,94	65%	13,28	22	60%
V2 NORTE	Braga	0,56	16,24	23,32	70%	7,24	18	40%
V2 SUL	Loulé	0,56	25,10	41,11	61%	26,96	32	84%
V3 NORTE	Mirandela	0,50	21,47	28,25	76%	19,05	26	73%
V3 SUL	Beja	0,50	26,07	40,76	64%	26,20	32	82%

Ambas as metodologias penalizam consideravelmente a adopção do Factor Solar máximo admissível, no entanto, verificam-se na versão em vigor aumentos mais significativos de Nvc/Nv.

Apesar dessa penalização, constata-se pelo Quadro 3.5 que, mesmo utilizando os valores máximos admissíveis dos Factores Solares dos vãos envidraçados, este projecto cumpre a Regulamentação, nas suas duas versões. Atendendo a que a área de envidraçados da moradia em estudo é de 23% da área de pavimento, o que já é considerável, conclui-se que, neste aspecto, nenhuma das metodologias é muito exigente.

### 3.4 ESTUDO DA SENSIBILIDADE DA NOVA METODOLOGIA À VARIAÇÃO DE ALGUNS FACTORES INFLUENTES

Com o objectivo de avaliar a sensibilidade da nova metodologia à variação dos diversos factores influentes, procedeu-se a um conjunto de simulações para os dois edifícios em análise. No Quadro 3.6, sintetizam-se as variações consideradas para ambos os edifícios. No edifício multifamiliar, considerou-se ainda a possibilidade do fogo se situar a um nível intermédio, resultando num Factor de Forma de 0,416 (confronte-se com  $FF=0,785$ , considerado para o fogo sob a cobertura).

**QUADRO 3.6 – Variação dos diversos parâmetros considerados nas simulações**

Parâmetro	Valores ou situações consideradas
Inércia	Inércia fraca, média ou forte.
Área de envidraçados	- Área real de envidraçados; - Área de envidraçados igual a 30% da área útil de pavimento.
Factor Solar dos envidraçados	- Factor Solar real; - Factor Solar máximo admissível.
Orientação	Partindo da orientação real, rotação de 90°, 180° e 270°.
Coefficiente de Transmissão Térmica (U) da envolvente opaca	$U = 0,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$ ; U real; U máximo admissível.
Coefficiente de absorção ( $\alpha$ ) da envolvente opaca	$\alpha = 0,4$ ; $\alpha = 0,6$ ; $\alpha = 0,8$ .
Ganhos internos	Ganhos Internos = $4 \text{ W/m}^2$ (residencial); Ganhos internos = $7 \text{ W/m}^2$ (serviços).

Partindo da situação real dos edifícios analisados, procedeu-se à verificação das alterações introduzidas pela variação de cada parâmetro considerado e pela variação do conjunto de dois deles. Identificadas as tendências simularam-se algumas combinações de factores consideradas mais desfavoráveis.

De seguida, apresentam-se os resultados do estudo de sensibilidade efectuado, através de gráficos e quadros.

Os gráficos das Figuras de 3.8 a 3.11 dizem respeito ao edifício multifamiliar. Os gráficos relativos ao comportamento da moradia são apresentados nas Figuras de 3.12 a 3.15.

Na Figura 3.8, podemos ver a variação da razão  $N_{vc}/N_v$ , com a orientação do edifício, para a solução inicial e para soluções adoptando ora o valor máximo admissível do Factor Solar, ora uma área de envidraçados igual a 30% da área de pavimento, ora um valor de ganhos internos de  $7 \text{ W/m}^2$ , típico para edifícios de serviços, ora uma localização intermédia para o fogo em estudo ( $FF= 0,416$ ).

Na Figura 3.9, apresenta-se a variação de  $N_{vc}/N_v$  com a inércia do edifício, considerando a influência dos mesmos parâmetros considerados na Figura 3.8.

Na Figura 3.10, segue-se o mesmo procedimento para a variação de  $N_{vc}/N_v$  com o factor de absorção da envolvente opaca. Finalmente, na Figura 3.11, apresentam-se os resultados das mesmas simulações, para uma variação do Coeficiente de Transmissão Térmica da envolvente opaca.

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA PROPOSTA DE REVISÃO DO RCCTE EM TERMOS DE CONFORTO DE VERÃO  
Estudo de um caso de desconforto térmico num edifício de habitação

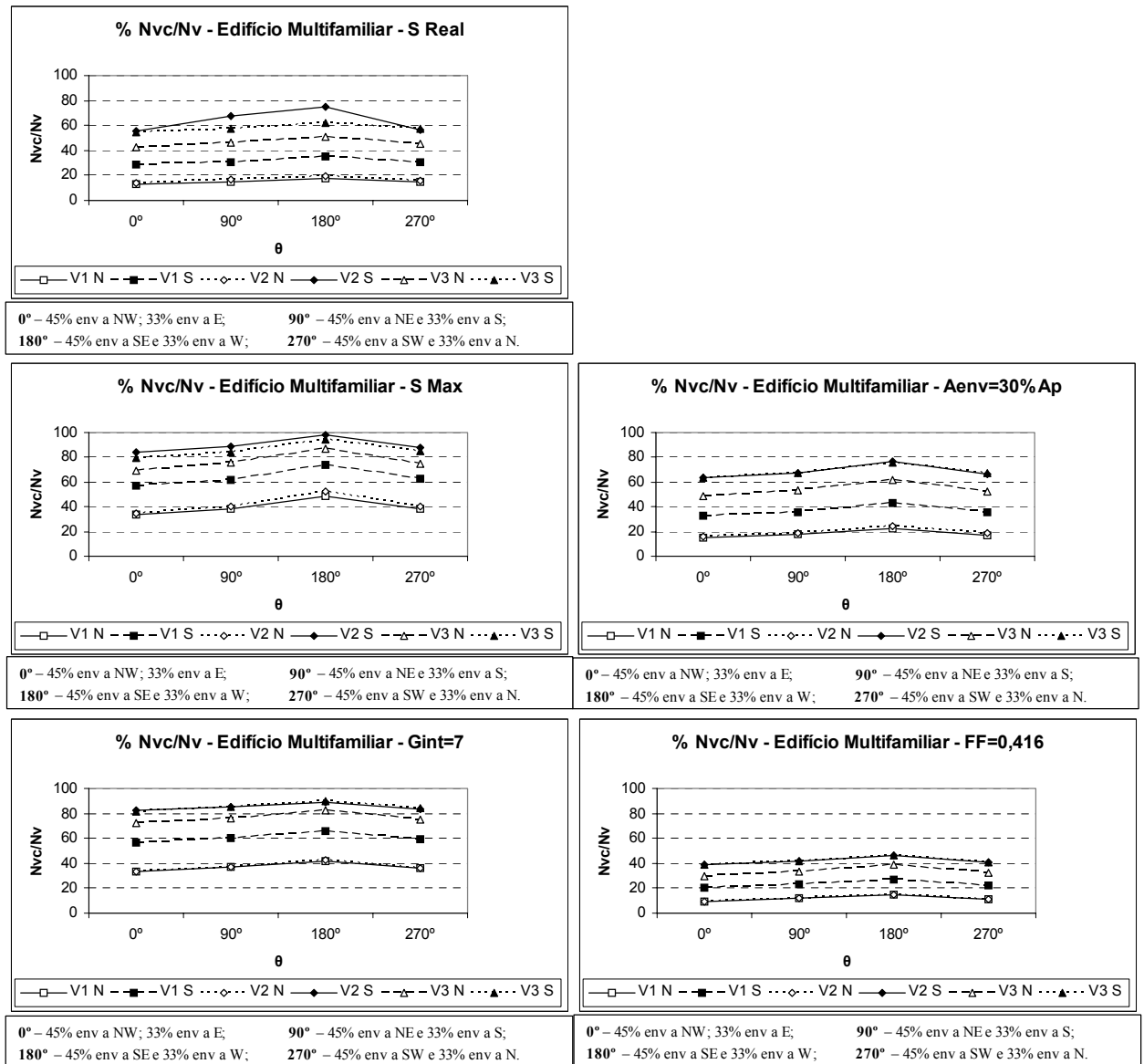


Figura 3.8 – Edifício Multifamiliar – Variação de Nvc/Nv com a orientação do edifício, para: 1. Solução inicial; 2. S máximo admissível; 3. Aenv = 30% Ap; 4. Ginternos = 7 W/m<sup>2</sup>; 5. FF = 0,416

Como se pode ver na Figura 3.8, a orientação mais desfavorável para o fogo estudado é a que resulta de uma rotação de 180° relativamente à orientação real e que conduz a uma orientação de 45% dos envidraçados, a SE e de 33% dos envidraçados, a Oeste.

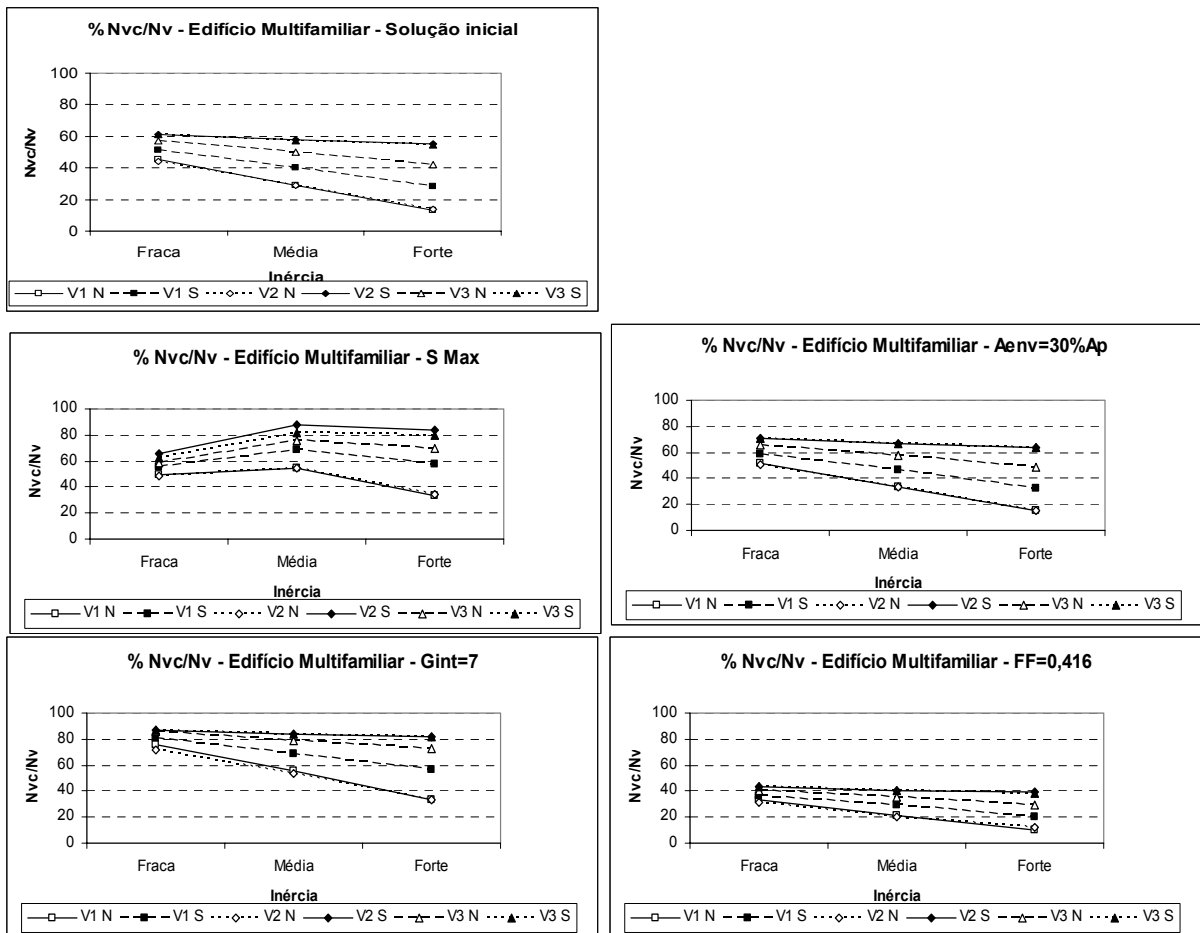
A variação sofrida pela razão  $N_{vc}/N_v$ , com a orientação, é mais acentuada para as zonas V2 Sul e V3 Sul e menos acentuada para a zona V1 Norte. Como seria de esperar, existe uma maior influência da orientação para um Factor Solar elevado ou para uma área de envidraçados significativa.

Para a orientação mais desfavorável e o Factor Solar máximo admissível,  $N_{vc}$  atinge praticamente o valor limite regulamentar nas zonas V2 Sul e V3 Sul.

Quando os ganhos internos são elevados, como em certos edifícios de serviços, a orientação torna-se menos determinante, já que os ganhos solares terão menor peso, nessas circunstâncias. Confirma-se esse facto pelo declive pouco acentuado das curvas do gráfico relativo aos ganhos internos de  $7 \text{ W/m}^2$ .

Finalmente, em relação à localização do fogo a um nível intermédio ( $FF = 0,416$ ), a redução do valor de  $N_{vc}/N_v$  é generalizada e significativa, sobretudo nas zonas climáticas V2 Sul e V3 Sul, onde se chega a verificar uma redução de 40%. Compreende-se, assim, a importância da cobertura no comportamento térmico de Verão.

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA PROPOSTA DE REVISÃO DO RCCTE EM TERMOS DE CONFORTO DE VERÃO  
 Estudo de um caso de desconforto térmico num edifício de habitação

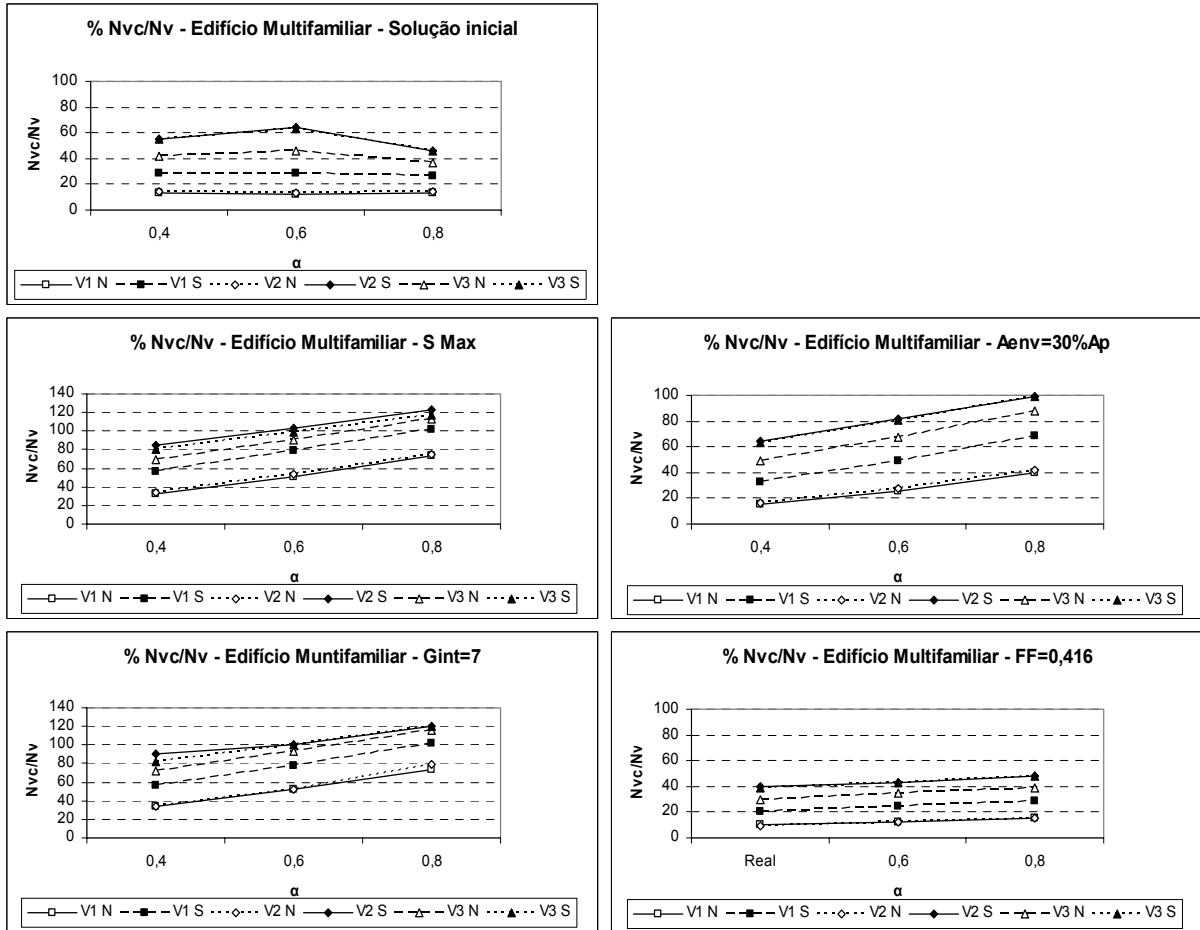


**Figura 3.9 – Edifício Multifamiliar – Variação de Nvc/Nv com a inércia do edifício, para: 1. Solução inicial; 2. S máximo admissível; 3. Aenv = 30% Ap; 4. Ginternos = 7 W/m<sup>2</sup>; 5. FF = 0,416**

Na Figura 3.9, podemos ver de que forma o novo texto regulamentar considera o efeito da inércia do edifício nas exigências de Verão. Como é evidente, à medida que se aumenta a inércia as necessidades de arrefecimento diminuem, já que diminuem os ganhos térmicos não úteis. Pelos gráficos apresentados, constata-se que essa diminuição é muito mais significativa nas zonas climáticas de Verão menos exigentes como a V1 Norte ou a V2 Norte e muito pouco acentuada para zonas onde os ganhos solares são mais elevados como a V2 Sul ou a V3 Sul.

Em zonas de Verão com grandes ganhos térmicos, a razão entre ganhos e perdas é muito elevada. Para o caso do fogo analisado, a razão entre ganhos e perdas é superior a 2 para V2 Sul e V3 Sul. Ora quanto maior é a razão entre ganhos e perdas, maior é a percentagem de ganhos não úteis e menos se faz sentir o efeito da inércia, como se pode verificar pelos gráficos apresentados.

Quanto ao gráfico relativo à adopção do Factor Solar máximo admissível, há que notar que a perturbação da tendência geral (verifica-se um aumento de  $N_{vc}/N_v$  ao passar da inércia fraca para a inércia média) se deve, exclusivamente, ao facto do valor máximo admitido pelo regulamento para o Factor Solar ser muito mais baixo para os edifícios de inércia fraca do que para os edifícios de inércia média ou forte.



**Figura 3.10 – Edifício Multifamiliar – Variação de Nvc/Nv com o coeficiente de absorção da envolvente opaca do edifício, para: 1. Solução inicial; 2. S máximo admissível; 3.  $A_{env} = 30\% A_p$ ; 4.  $G_{internos} = 7 \text{ W/m}^2$ ; 5.  $FF = 0,416$**

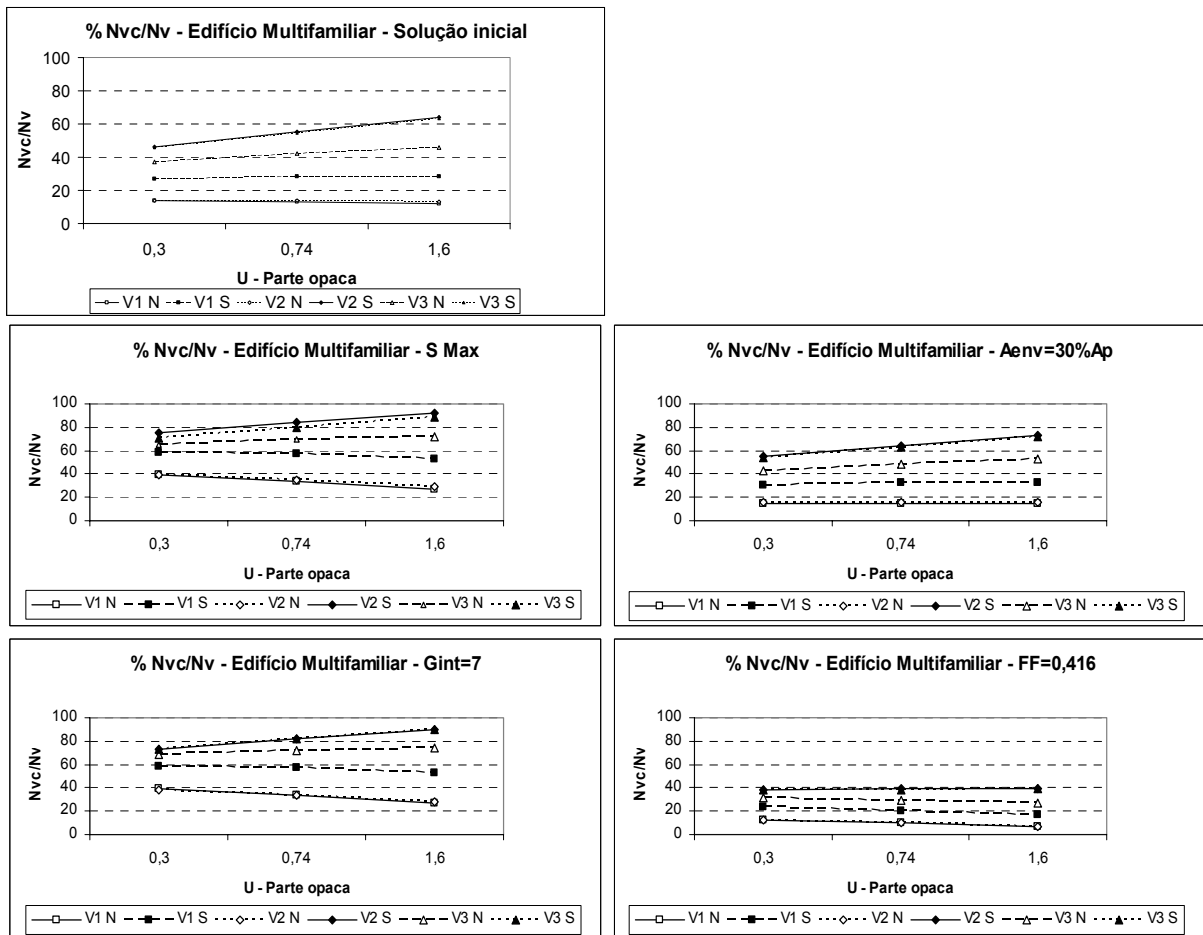
Na Figura 3.10, podemos avaliar o efeito do coeficiente de absorção do paramento exterior da envolvente opaca do edifício (paredes e cobertura).

A tendência é a do crescimento da razão  $N_{vc}/N_v$  com o  $\alpha$  da envolvente opaca para todas as situações e para todas as zonas climáticas.

Verifica-se que ao utilizar cores escuras e materiais absorventes para os paramentos exteriores ( $\alpha$ 's de 0,6 ou 0,8), permitindo, simultaneamente, valores elevados para o Factor Solar dos envidraçados ou elevados ganhos internos, corremos o risco de não cumprir o regulamento. É o que se verifica nos gráficos relativos a  $S_{max}$  e a  $G_{int} = 7 \text{ W/m}^2$ .

Para o fogo a um nível intermédio, a influência de  $\alpha$  é menos acentuada já que não se faz sentir através da cobertura.

Para as outras situações, conclui-se que o coeficiente de absorção da envolvente é um aspecto determinante. O aumento de  $\alpha$ , de 0,4 para 0,8, pode provocar aumentos de  $N_{vc}/N_v$  do simples para o dobro.



**Figura 3.11 – Edifício Multifamiliar – Variação de Nvc/Nv com o Coeficiente de Transmissão Térmica da envolvente opaca do edifício, para: 1. Solução inicial; 2. S máximo admissível; 3. Aenv = 30% Ap; 4. Ginternos = 7 W/m<sup>2</sup>; 5. FF = 0,416**

Como se pode ver pela Figura 3.11, a influência do valor do Coeficiente de Transmissão Térmica da envolvente opaca pode exercer-se nos dois sentidos contrários consoante o balanço entre perdas e ganhos. De facto, quanto maior o valor de  $U$ , maiores serão as perdas térmicas por transmissão para o exterior mas também, simultaneamente, maiores serão os ganhos através da envolvente opaca.

A relevância de  $U$  para o resultado final vai depender da área da envolvente opaca, do coeficiente de absorção do seu paramento exterior, da importância relativa de outras perdas e ganhos e da localização geográfica e respectivas características de temperatura e radiação solar.

Para o fogo de nível intermédio ( $FF = 0,416$ ), o valor de  $U$  é pouco relevante, desde logo pelo facto de termos uma área relativamente modesta de envolvente opaca exterior.

Nas zonas climáticas com radiação menos intensa, um valor elevado de  $U$  proporciona perdas mais acentuadas que compensam os eventuais ganhos não úteis. Verifica-se uma tendência decrescente de  $N_{vc}/N_v$  com o aumento de  $U$ . Nas zonas climáticas de Verão mais rigoroso, verifica-se o fenómeno inverso.

É ainda de notar, um aspecto interessante relativamente ao valor de  $U$ . Por exemplo, para as zonas climáticas V1 Sul e V2 Norte, existe uma tendência de quase estabilidade ou ligeira subida de  $N_{vc}/N_v$  com a subida de  $U$ , para a solução inicial. Nas situações com grandes ganhos não provenientes da envolvente opaca ( $S$  máximo admissível ou elevados ganhos internos), a tendência inverte-se e a razão  $N_{vc}/N_v$  passa a descer quando o valor de  $U$  da envolvente opaca sobe.

Para terminar a apresentação dos resultados obtidos para o edifício multifamiliar, pode ver-se no Quadro 3.7, os valores de  $N_{vc}/N_v$ , do edifício multifamiliar, para as diversas zonas climáticas, combinando, dois a dois, factores desfavoráveis como o Factor Solar Máximo Admissível, uma área de envidraçados igual a 30% da área de pavimento e um valor de ganhos internos igual a  $7 \text{ W/m}^2$ .

**QUADRO 3.7 – Edifício Multifamiliar (fogo 1) – Valores de  $N_{vc}/N_v$ , combinando factores dois a dois.**

Zona Climática	S max. adm. Aenv = 30% Ap	S max. adm. G internos = $7 \text{ W/m}^2$	A env = 30% Ap G internos = $7 \text{ W/m}^2$
V1 NORTE Porto	52%	64%	35%
V1 SUL Almada	83%	91%	60%
V2 NORTE Braga	46%	63%	35%
V2 SUL Loulé	<b>113%</b>	<b>112%</b>	82%
V3 NORTE Mirandela	95%	<b>102%</b>	78%
V3 SUL Beja	<b>106%</b>	<b>107%</b>	90%

A combinação de mais do que um factor desfavorável pode comprometer, como seria de esperar, a verificação regulamentar. Note-se, no entanto, que para as zonas V1 Norte e V2 Norte (e até mesmo para a zona V1 Sul), o novo texto admite com bastante benevolência as 3 situações consideradas no Quadro 3.7. Na prática, reconhece-se que qualquer uma das situações caracterizadas poderão provocar desconforto, o que tornará discutível o critério adoptado pela proposta de revisão.

Se para uma solução de projecto particularmente infeliz, conjugássemos a adopção da orientação mais desfavorável, o factor solar máximo admissível para os envidraçados, uma

área destes de 30% de  $A_p$ , um valor de ganhos internos de  $7 \text{ W/m}^2$ , um Coeficiente de Absorção da envolvente opaca de 0,6 e um Coeficiente de Transmissão Térmica de  $0,3 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , obteríamos os valores apresentados no Quadro 3.8.

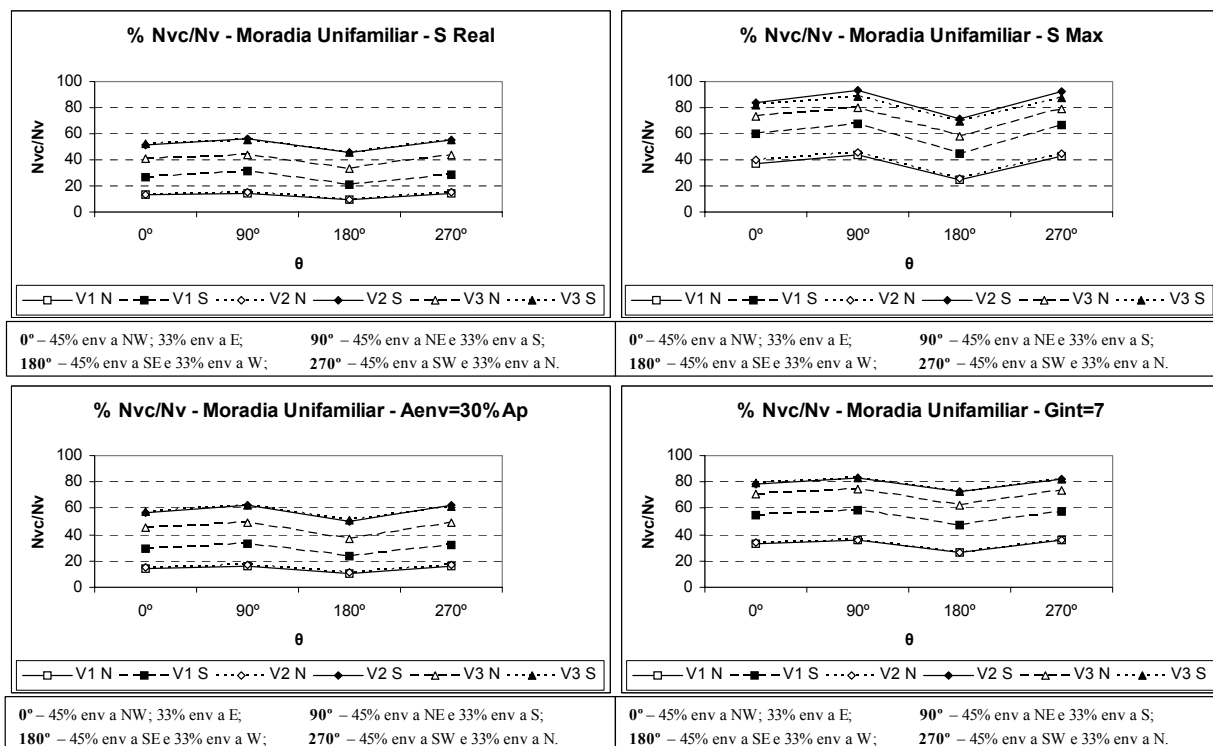
**QUADRO 3.8 – Edifício Multifamiliar (fogo 1) – Valores de  $N_{vc}/N_v$  para: Orientação mais desfavorável;  $S_{max}$ ;  $A_{env} = 30\% A_p$ ;  $G_{int} = 7 \text{ W/m}^2$ ;  $\alpha = 0,6$  e  $U = 0,3 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$**

Zona Climática	$N_{vc}/N_v$
V1 NORTE Porto	148%
V1 SUL Almada	223%
V2 NORTE Braga	168%
V2 SUL Loulé	324%
V3 NORTE Mirandela	264%
V3 SUL Beja	309%

Como seria de esperar, o valor de  $N_{vc}$  está, em todos os casos, francamente acima do valor de  $N_v$ .

A Figura 3.12, apresentada adiante, diz respeito à moradia unifamiliar e apresenta a variação de  $N_{vc}/N_v$  em função da orientação do edifício para a solução inicial e para soluções adoptando ora o valor máximo admissível do Factor Solar, ora uma área de envidraçados igual a 30% da área de pavimento, ora um valor de ganhos internos de  $7 \text{ W/m}^2$ .

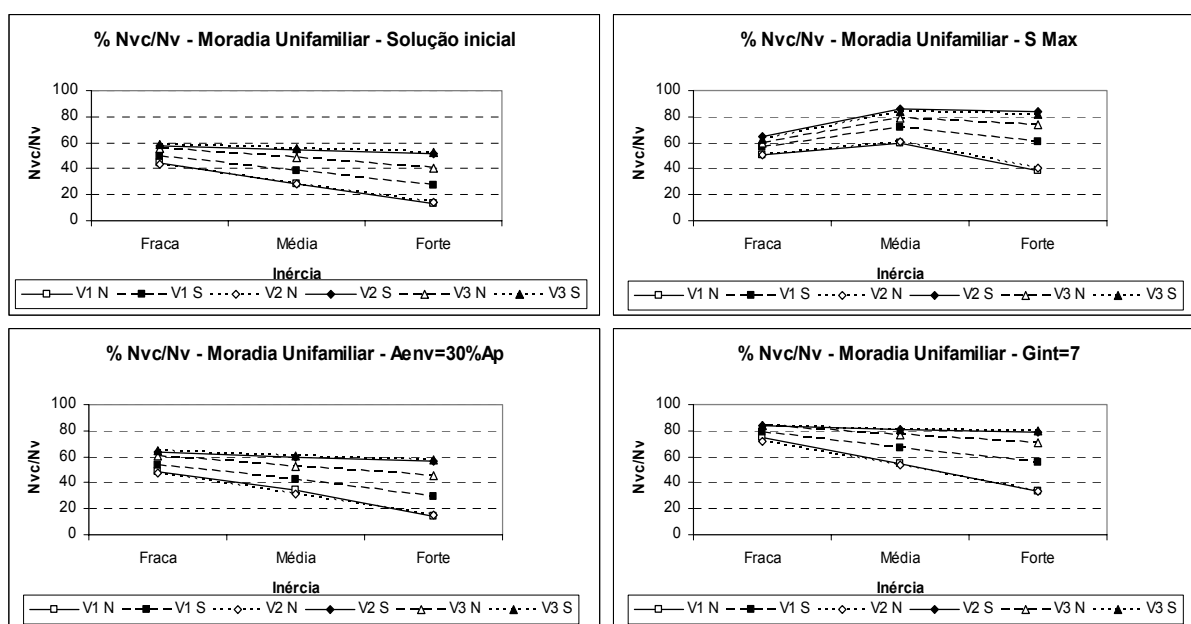
Nas Figuras 3.13, 3.14 e 3.15, fornece-se a variação da razão  $N_{vc}/N_v$  para a moradia, em função da inércia do edifício, do Coeficiente de Absorção da envolvente opaca e do seu Coeficiente de Transmissão Térmica, respectivamente, para as várias situações já consideradas atrás.



**Figura 3.12 – Moradia Unifamiliar – Variação de  $Nvc/Nv$  com a orientação do edifício, para: 1. Solução inicial; 2. S máximo admissível; 3.  $A_{env} = 30\% A_p$ ; 4.  $G_{internos} = 7 \text{ W/m}^2$ .**

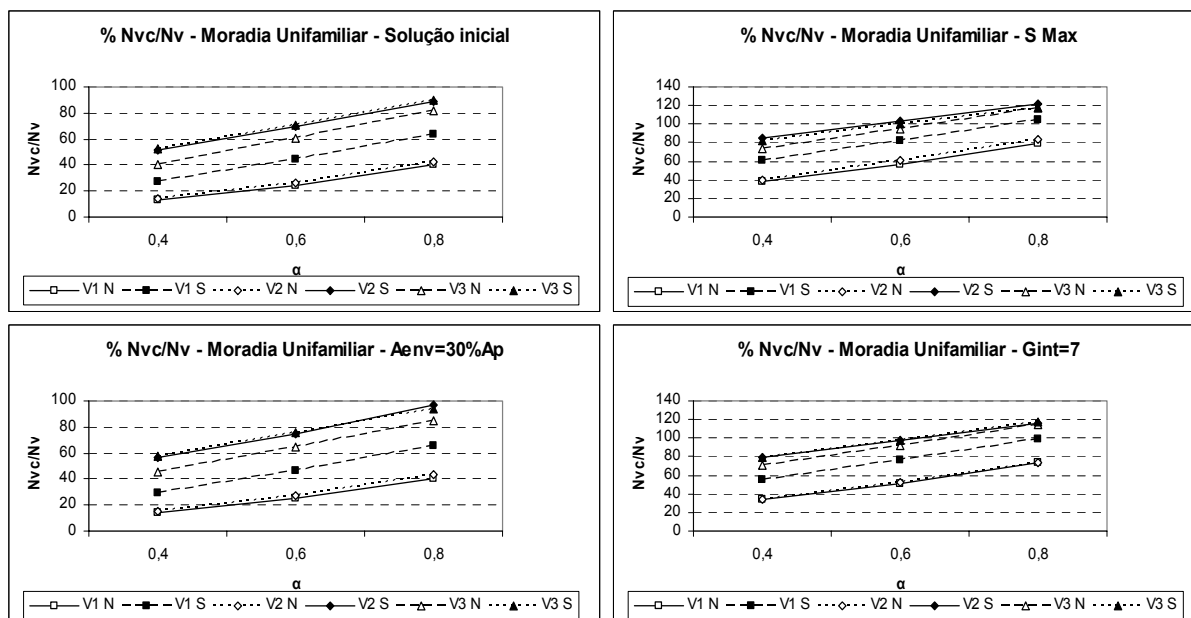
No caso da moradia, podem identificar-se duas orientações desfavoráveis e, praticamente, equivalentes entre si. As diferenças entre as diversas orientações são, como é evidente, realçadas quando se adopta o Factor Solar máximo admissível. As observações que foram feitas para o edifício multifamiliar (Figura 3.8) aplicam-se, de uma maneira geral, também à moradia.

O facto da moradia apresentar um Factor de Forma superior não se faz sentir negativamente nas simulações da Figura 3.12, já que os valores de U e do Factor Solar dos envidraçados são baixos.



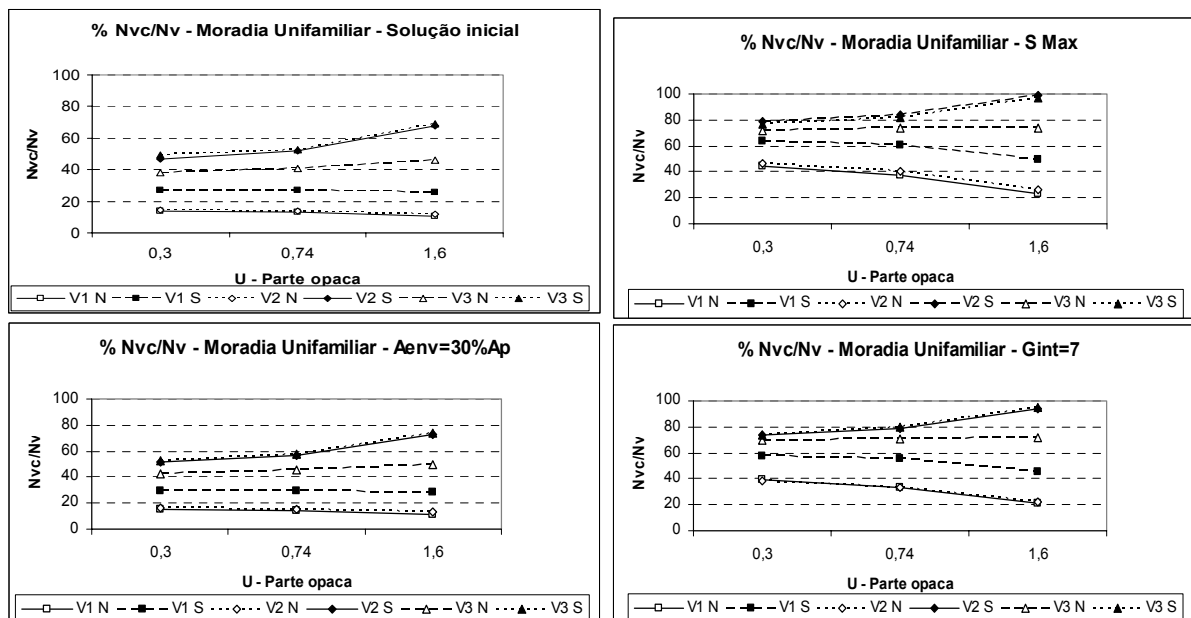
**Figura 3.13 – Moradia Unifamiliar – Variação de Nvc/Nv com a inércia do edifício, para: 1. Solução inicial; 2. S máximo admissível; 3. Aenv = 30% Ap; 4. Ginternos = 7 W/m<sup>2</sup>.**

Aplica-se, aqui, o que foi dito para o edifício multifamiliar (Figura 3.9).



**Figura 3.14 – Moradia Unifamiliar – Variação de Nvc/Nv com o Coeficiente de Absorção da envolvente opaca do edifício, para: 1. Solução inicial; 2. S máximo admissível; 3.  $A_{env} = 30\% A_p$ ; 4.  $G_{int} = 7 \text{ W/m}^2$ .**

Mais uma vez, aplicam-se à moradia as observações feitas para o edifício (Figura 3.10).



**Figura 3.15 – Moradia Unifamiliar – Variação de Nvc/Nv com o Coeficiente de Transmissão Térmica da envolvente opaca do edifício, para: 1. Solução inicial; 2. S máximo admissível; 3. Aenv = 30% Ap; 4. Ginternos = 7 W/m<sup>2</sup>.**

Em relação à Figura 3.15, podemos notar que, na moradia, se confirmam as tendências identificadas para o edifício multifamiliar, na variação de Nvc/Nv com o valor de U da envolvente opaca. No entanto, a influência deste é ligeiramente mais acentuada, o que se explica pelo facto do Factor de Forma ser mais elevado para a moradia.

À semelhança do que foi apresentado para o edifício multifamiliar, apresentam-se, no Quadro 3.9, os valores de Nvc/Nv, para a moradia unifamiliar, obtidos para as diversas zonas climáticas, combinando, dois a dois, factores desfavoráveis como o Factor Solar Máximo Admissível, uma área de envidraçados igual a 30% da área de pavimento e um valor de ganhos internos igual a 7 W/m<sup>2</sup>.

**QUADRO 3.9 – Moradia unifamiliar – Valores de Nvc/Nv, combinando factores dois a dois.**

Zona Climática	S max. adm. Aenv = 30% Ap	S max. adm. G internos = 7 W/m <sup>2</sup>	A env = 30% Ap G internos = 7 W/m <sup>2</sup>
V1 NORTE Porto	53%	70%	35%
V! SUL Almada	79%	95%	58%
V2 NORTE Braga	57%	71%	35%
V2 SUL Loulé	<b>103%</b>	<b>112%</b>	84%
V3 NORTE Mirandela	98%	<b>106%</b>	75%
V3 SUL Beja	<b>100%</b>	<b>109%</b>	85%

No Quadro 3.10, apresentam-se os valores de Nvc/Nv para uma situação particularmente desfavorável.

**QUADRO 3.10 – Moradia unifamiliar – Valores de Nvc/Nv para:  
Orientação mais desfavorável; Smax; Aenv = 30% Ap; Gint = 7 W/m<sup>2</sup>;  $\alpha = 0,6$   
e U = Umax. Adm.**

Zona Climática	Nvc/Nv
V1 NORTE Porto	105%
V! SUL Almada	157%
V2 NORTE Braga	110%
V2 SUL Loulé	204%
V3 NORTE Mirandela	184%
V3 SUL Beja	198%

Também na moradia, como seria de esperar, a situação considerada resulta em valores de Nvc muito superiores a Nv.

## CAPÍTULO 4

### ESTUDO DE UM CASO DE DESCONFORTO TÉRMICO

#### 4.1 INTRODUÇÃO

Uma das características de alguma arquitectura moderna é a utilização de grandes fachadas envidraçadas, independentemente da tipologia climática local. Na maioria das vezes esse uso indiscriminado causa um sobreaquecimento das edificações devido ao ganho excessivo de carga térmica decorrente da incidência da radiação solar. Desse sobreaquecimento duas consequências são imediatas: o desconforto das pessoas e a intensificação do consumo de energia para compensar o desconforto do ambiente (Figura 4.1).



**Figura 4.1 – Casa de Vidro – Lina Bo Bradi (1951), Brasil**

<http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq004/bases/01tex.asp> (consultado em 30/11/2004)

Na realidade os edifícios apresentam, com frequência, características de projecto que agravam os ganhos de calor.

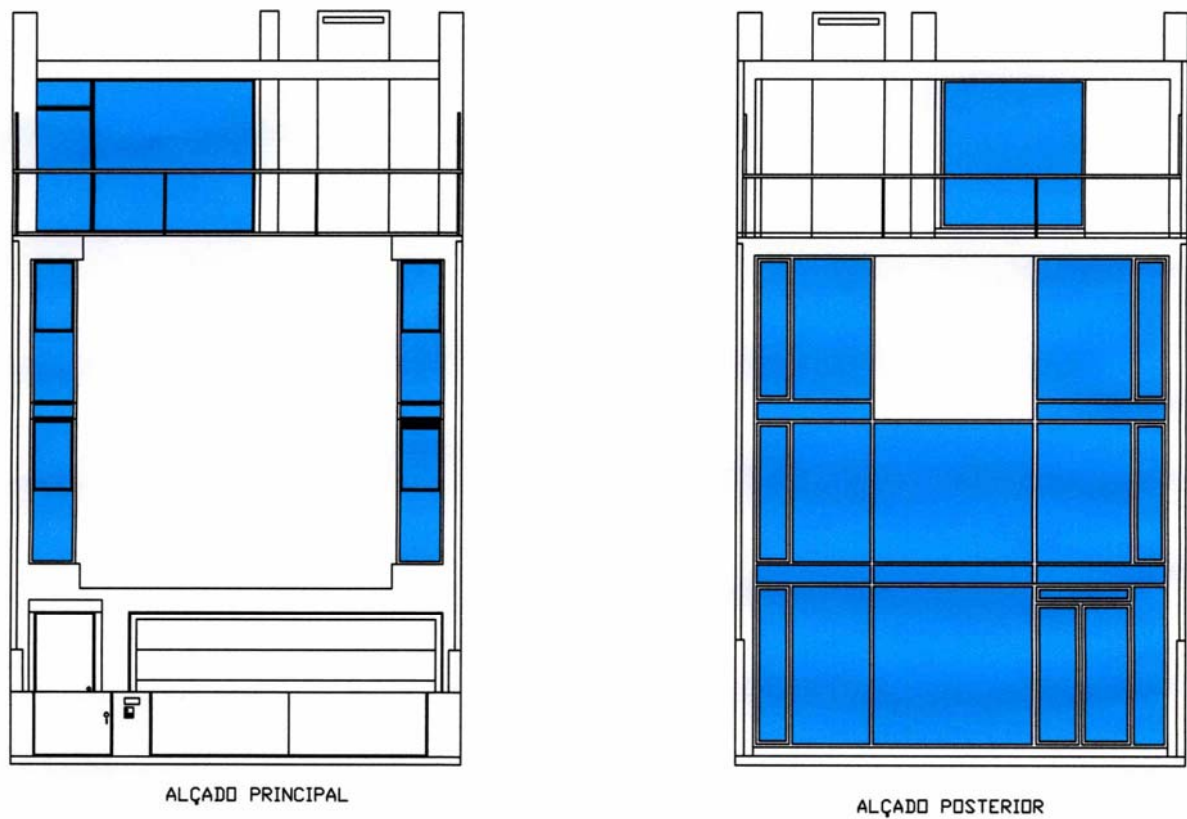
Neste capítulo analisa-se uma moradia que apresenta problemas de desconforto térmico devido à grande área envidraçada no alçado Sul. Esta situação de desconforto térmico é confirmada a partir da medição experimental de temperaturas e humidades relativas.

## **4.2 CARACTERIZAÇÃO DA MORADIA**

O edifício em estudo é uma moradia unifamiliar sita no concelho do Porto, na freguesia da Foz, com duas frentes, sendo a fachada principal orientada a Norte e a fachada posterior voltada a Sul.

A área de envidraçado da fachada a Sul é de 70% da área total da fachada, constituindo esta característica a principal identidade do edifício, razão pela qual se procedeu ao estudo da situação de desconforto térmico (Figura 4.2). Apesar de só ter duas fachadas com vãos envidraçados, a área de envidraçado é de cerca de 30% da área útil de pavimento.

Os vãos envidraçados são constituídos por caixilharia de alumínio tipo “fachada cortina” com protecção interior, sem palas ou qualquer outro elemento de sombreamento, caracterizando um estilo arquitectónico purista.



**Figura 4.2 - Moradia em estudo – Alçado Principal (Norte) e Alçado Posterior (Sul)**

Esta moradia tem a sua área habitável distribuída por três pisos, do seguinte modo:

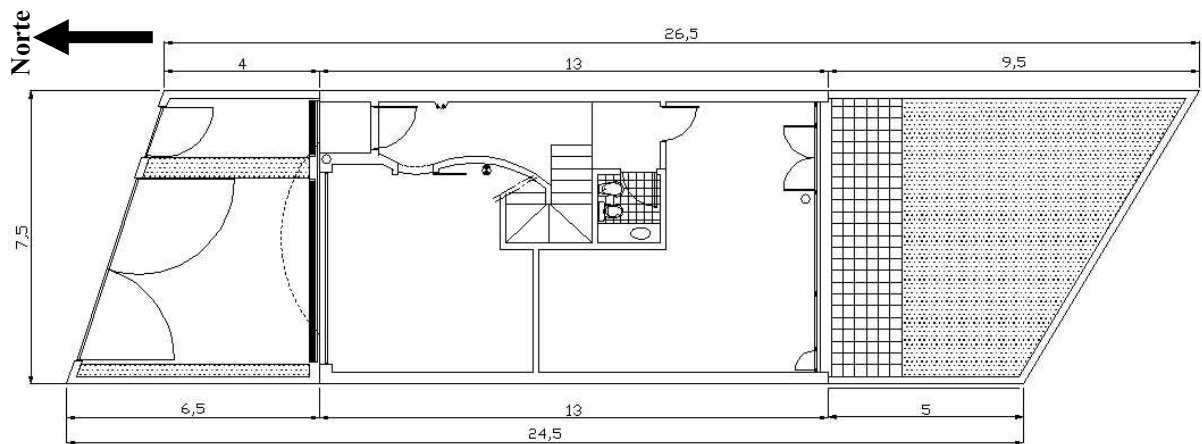
- R/C: Salão;  
Wc;  
Garagem;
- 1º Andar: Cozinha;  
Sala;  
Wc;
- 2º Andar: Quartos (3un);  
Wc (2un).

O conjunto dos três pisos, cada um com um pé-direito de 2,45 m, constitui uma área útil de pavimento de 254,95 m<sup>2</sup> (Figura 4.3).

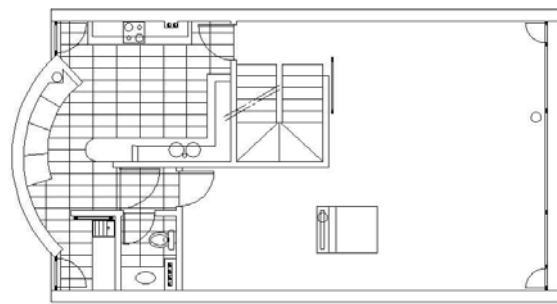
As soluções construtivas com relevância para este estudo são:

- **Estruturais:** As lajes de piso são aligeiradas com 0,25m de espessura, constituídas por bloco cerâmico e lâmina de compressão e não têm isolamento térmico ( $U=1,90 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ).  
A laje da cobertura tem 0,25m de espessura, é constituída por bloco cerâmico e lâmina de compressão. Sobre a betonilha de regularização tem duas telas impermeabilizantes de 3kg/m<sup>2</sup> cada e sobrepostas por placas de poliestireno extrudido de 20mm protegidas por uma camada de geotêxtil. Sobre este conjunto pousam as lajetas sobre os respectivos apoios ( $U=0,75 \text{ W/m}^2\text{°C}$ );
- **Paredes:** As paredes Exteriores são duplas com dois panos de tijolo cerâmico furado de 11 cm de espessura e com isolamento de espuma rígida de poliuretano com 20mm de espessura, preenchendo parcialmente a caixa-de-ar ( $U=0,75 \text{ W/m}^2\text{°C}$ );
- **Vãos envidraçados:** Os vãos envidraçados são constituídos por caixilharia de alumínio (tipo fachada cortina), com vidro duplo 6(10)44.1, ou seja, um vidro simples de 6mm, uma caixa de ar de 10mm e um vidro laminado de 4+4 separado pela película de 1mm. A protecção dos vãos é interior, sendo a Sul utilizado cortinas transparentes (tipo solscreen) e a norte estores de lâminas ( $U=2,9 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ,  $S=0,47$ ;  $S=0,39$ ). Existe, ainda, um envidraçado a Oeste, sem qualquer protecção;
- **Ventilação:** Todos os compartimentos são ventilados naturalmente. Os interiores, como é o caso de três wc's, têm condutas com tomadas de ar nas fachadas e de extracção para a cobertura. Os outros compartimentos têm vãos envidraçados de abrir.

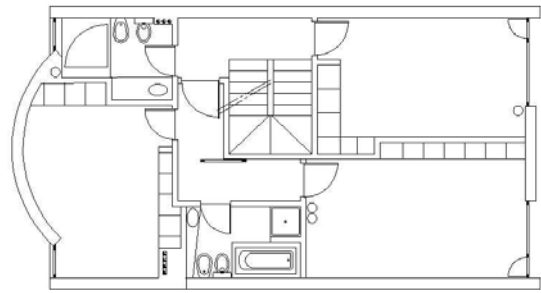
AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA PROPOSTA DE REVISÃO DO RCCTE EM TERMOS DE CONFORTO DE VERÃO  
Estudo de um caso de desconforto térmico num edifício de habitação



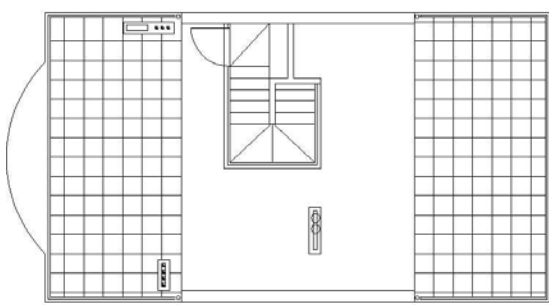
PLANTA RÊS DO CHÃO



PLANTA 1º ANDAR



PLANTA 2º ANDAR



PLANTA DA COBERTURA

**Figura 4.3 - Moradia em estudo – Plantas do R/C, 1º e 2º Andar e Cobertura**

### **4.3 MEDIÇÕES EXPERIMENTAIS EFECTUADAS**

Como forma de análise das condições de conforto da moradia, procedeu-se á recolha de valores de temperaturas e humidades relativas interiores e exteriores.

Os dados de temperatura e humidade relativa internas foram obtidos com o auxílio de dois aparelhos de registo de dados colocados em diferentes locais no interior da moradia. Os dados de temperatura e humidade relativa exterior foram obtidos pela Estação Meteorológica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Através das temperaturas, externa e interna, elaboraram-se tabelas representativas do desempenho térmico das divisões permitindo analisar as condições térmicas da moradia.

Dado que se trata de uma moradia habitada, há variáveis que são introduzidas aleatoriamente, tais como a ventilação motivada pela abertura de portas e janelas ou a utilização de equipamentos e dispositivos de iluminação.

### 4.3.1 EQUIPAMENTO

Para fazer as medições de temperatura e humidade, foram utilizados dois Termo-higrógrafos do Laboratório de Física das Construções, da Secção de Construções Cívicas, do Departamento de Engenharia Civil da FEUP. Estas medições foram efectuadas, simultaneamente, em dois locais diferentes, como se verá mais adiante, com os seguintes aparelhos portáteis:

LFC-11

Modelo: TIT/01

Matricula: 98281

Campo Escala:  $-15^{\circ}\text{C}$  a  $+65^{\circ}\text{C}$

LFC-38

Marca: HAENNI

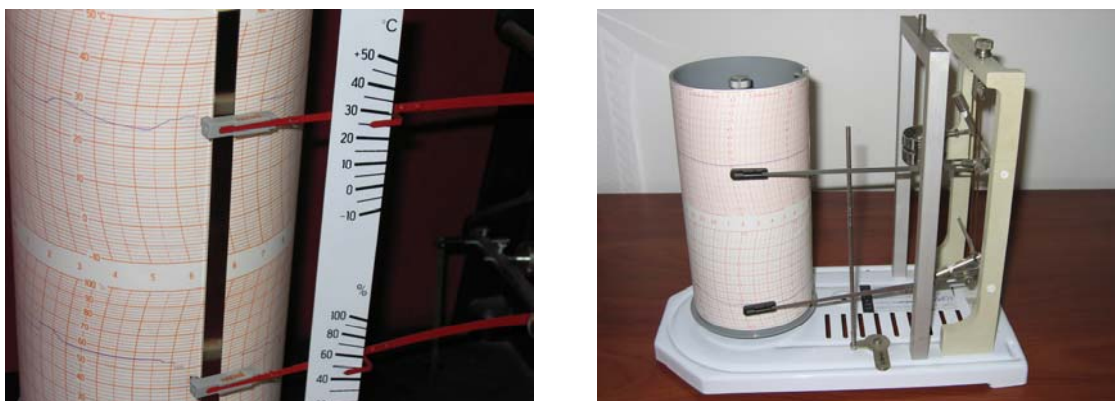
Campo Escala:  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $+65^{\circ}\text{C}$



**Figura 4.4 - Aparelhos usados na medição da temperatura e da humidade**

Os dois aparelhos usados, embora de aspecto ligeiramente diferente, têm concepções muito comuns (Figura 4.4). Ambos são constituídos por um conjunto de elementos de medição, um tambor onde se coloca o diagrama de registos, dois estiletes e os correspondentes traçadores

(Figura 4.5). A leitura do registo é feita imediatamente no diagrama com a escala de tempo e de medição (Figuras 4.6 e 4.7).



**Figura 4.5 - Registo de temperatura e humidade**

Foram efectuadas medições durante os meses de Julho, Agosto e Setembro de 2004, de modo a caracterizar as condições interiores da moradia, durante o Verão. No entanto, os gráficos de medições de temperatura e humidades a seguir apresentados não correspondem a semanas da estação de Verão. Optou-se por seleccionar, dentro do período medido, a semana com os registos de temperaturas mais elevadas, dado que o principal problema existente é o sobreaquecimento do ambiente interior. Aconteceu, por acaso, que os registos mais elevados se verificaram já no início do Outono, ou seja, entre os dias 22 e 27 de Setembro.

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA PROPOSTA DE REVISÃO DO RCCTE EM TERMOS DE CONFORTO DE VERÃO  
Estudo de um caso de desconforto térmico num edifício de habitação

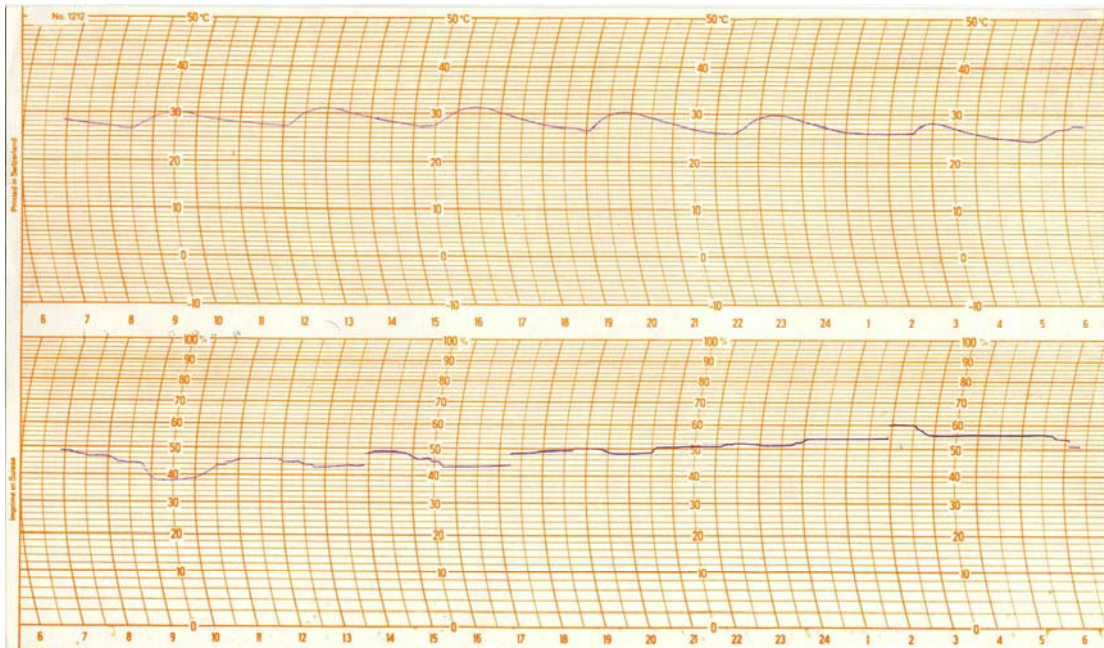


Figura 4.6 – Exemplo de registo de temperatura e humidade. Sala, semana de 25 de Setembro a 2 de Outubro

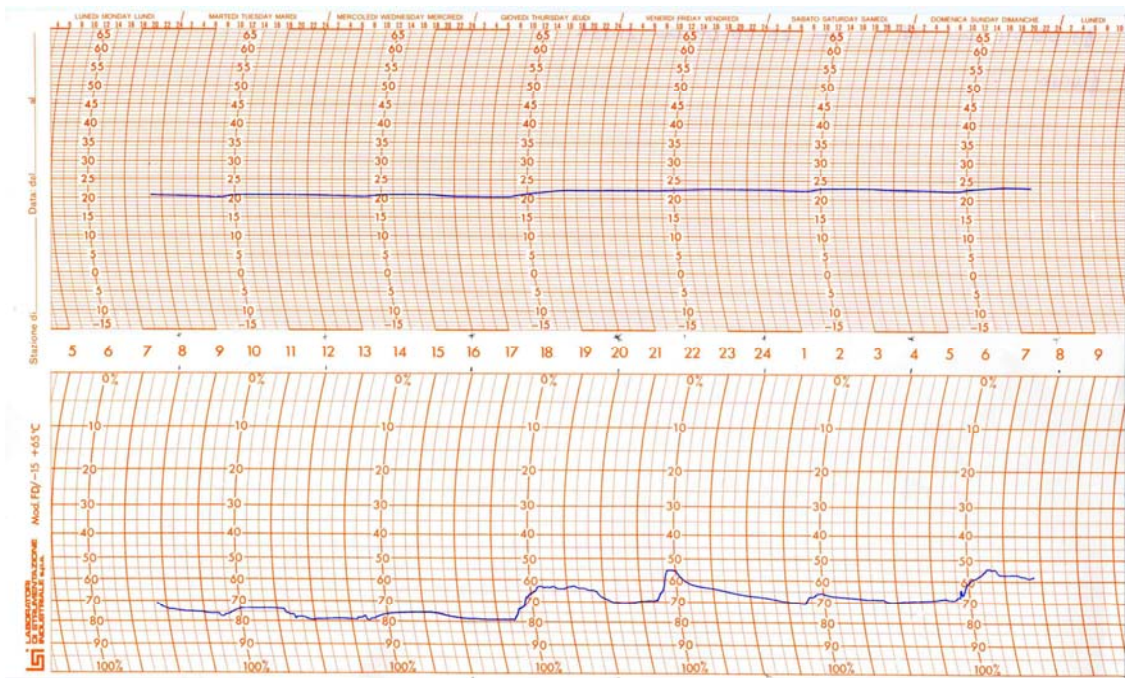


Figura 4.7 – Exemplo de registo de temperatura e humidade. Quarto, semana de 19 a 25 de Setembro

### 4.3.2 LOCAIS DE MEDIÇÃO

Como a habitação tem a orientação Norte-Sul, escolheu-se duas divisões da habitação, uma voltada a Norte e outra virada a Sul. A divisão a Norte é um quarto não ocupado, que fica no 2º Andar entre dois wc's. Este quarto tem uma área de 14,85 m<sup>2</sup> e uma janela no alçado Norte com 0,80x2,45 m<sup>2</sup>. A divisão a Sul é a sala comum que fica no 1º Andar. A sala tem uma área de 49,87 m<sup>2</sup> e um vão envidraçado 6,9x2,45 m<sup>2</sup>.

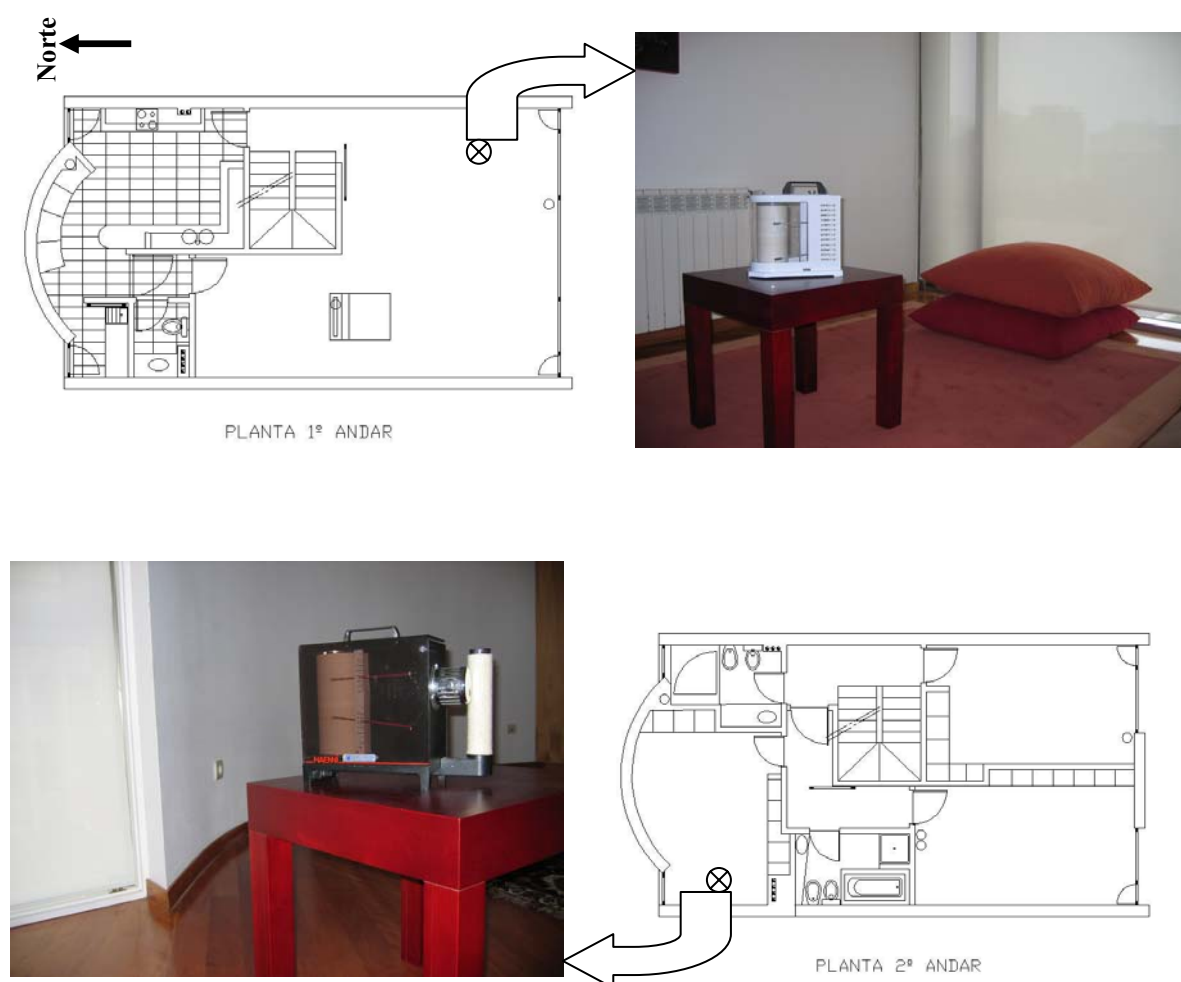


Figura 4.8 – Locais de medição

Tanto numa divisão como noutra, os aparelhos foram posicionados estrategicamente, ou seja, em cima de uma mesa afastada aproximadamente de 1,5m do vão envidraçado, visando conhecer as diferentes variações térmicas (Figura 4.8). Segundo [11], é recomendável que o posicionamento dos aparelhos dentro dos ambientes os coloque longe de interferências que possam prejudicar a recolha de dados. Assim, foram colocados de forma a não sofrer a acção directa dos raios solares e distante das aberturas que se utilizam habitualmente.

### **4.3.3 RESULTADOS**

Com o objectivo de estudar o desconforto térmico na moradia na estação de Verão (arrefecimento), procurou-se obter registos de humidade e temperatura da situação mais gravosa do ano de 2004. Assim, seguindo as previsões da meteorologia para seleccionar o período de captação de registos, fizeram-se medições em diversos dias dos meses de Julho, Agosto e Setembro. Os valores de temperatura mais elevados foram registados entre os dias 22 e 27 de Setembro, que embora não façam parte da estação de Verão, foram considerados como já foi referido, por apresentarem as temperaturas mais elevadas ao longo deste estudo.

As temperaturas mais elevadas no exterior foram registadas pela Estação Meteorológica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto na semana 38, entre os dias 22 e 27 de Setembro, mais propriamente nos dias 22 e 23, com valores acima dos 30°C (Quadros 4.1 e 4.2).

### QUADRO 4.1 - Medições de Temperatura e Humidade – Dia 22 de Setembro

Dia 22 Setembro 2004

Aparelho: (Quarto - Norte) LFC-11  
(Sala - Sul) LFC-38

Hora	Temperatura						Humidade					
	exterior	interior		Diferença			exterior	interior		Diferença		
		Sala	Quarto	S-Ext	Q-Ext	S-Q		Sala	Quarto	S-Ext	Q-Ext	S-Q
0:00	21,5 °C	27,0 °C	20,5 °C	5,5 °C	-1,0 °C	6,5 °C	92,0%	58,0%	78,0%	-34,0%	-14,0%	-20,0%
2:00	20,7 °C	26,8 °C	20,5 °C	6,1 °C	-0,2 °C	6,3 °C	92,0%	60,0%	78,0%	-32,0%	-14,0%	-18,0%
4:00	19,9 °C	26,0 °C	20,5 °C	6,1 °C	0,6 °C	5,5 °C	100,0%	60,0%	78,0%	-40,0%	-22,0%	-18,0%
6:00	20,8 °C	26,0 °C	20,5 °C	5,2 °C	-0,3 °C	5,5 °C	86,0%	60,0%	79,0%	-26,0%	-7,0%	-19,0%
8:00	22,8 °C	26,0 °C	20,3 °C	3,2 °C	-2,5 °C	5,7 °C	62,0%	60,0%	79,0%	-2,0%	17,0%	-19,0%
10:00	27,0 °C	25,8 °C	20,8 °C	-1,2 °C	-6,2 °C	5,0 °C	52,0%	60,0%	73,0%	8,0%	21,0%	-13,0%
12:00	30,8 °C	25,8 °C	21,5 °C	-5,0 °C	-9,3 °C	4,3 °C	43,0%	58,0%	66,0%	15,0%	23,0%	-8,0%
14:00	33,2 °C	26,5 °C	21,8 °C	-6,7 °C	-11,4 °C	4,7 °C	37,0%	58,0%	64,0%	21,0%	27,0%	-6,0%
16:00	34,0 °C	27,0 °C	22,0 °C	-7,0 °C	-12,0 °C	5,0 °C	36,0%	54,0%	64,0%	18,0%	28,0%	-10,0%
18:00	31,6 °C	29,0 °C	22,0 °C	-2,6 °C	-9,6 °C	7,0 °C	48,0%	51,0%	64,0%	3,0%	16,0%	-13,0%
20:00	26,9 °C	29,0 °C	22,0 °C	2,1 °C	-4,9 °C	7,0 °C	62,0%	51,0%	65,0%	-11,0%	3,0%	-14,0%
22:00	24,9 °C	29,0 °C	22,0 °C	4,1 °C	-2,9 °C	7,0 °C	70,0%	51,0%	65,0%	-19,0%	-5,0%	-14,0%
24:00	25,1 °C	28,8 °C	22,0 °C	3,7 °C	-3,1 °C	6,8 °C	64,0%	52,0%	68,0%	-12,0%	4,0%	-16,0%

A temperatura mais elevada foi registada às 16 horas do dia 23 de Setembro com o valor de 34,1°C (Quadro 4.2), tendo sido no dia anterior à mesma hora o registo de 34°C (Quadro 4.1).

### QUADRO 4.2 - Medições de Temperatura e Humidade – Dia 23 de Setembro

Dia 23 Setembro 2004

Aparelho: (Quarto - Norte) LFC-11  
(Sala - Sul) LFC-38

Hora	Temperatura						Humidade					
	exterior	interior		Diferença			exterior	interior		Diferença		
		Sala	Quarto	S-Ext	Q-Ext	S-Q		Sala	Quarto	S-Ext	Q-Ext	S-Q
0:00	25,1 °C	28,8 °C	22,0 °C	3,7 °C	-3,1 °C	6,8 °C	64,0%	52,0%	68,0%	-12,0%	4,0%	-16,0%
2:00	22,3 °C	28,0 °C	22,0 °C	5,7 °C	-0,3 °C	6,0 °C	74,0%	52,0%	71,0%	-22,0%	-3,0%	-19,0%
4:00	24,8 °C	27,8 °C	22,0 °C	3,0 °C	-2,8 °C	5,8 °C	51,0%	54,0%	71,0%	3,0%	20,0%	-17,0%
6:00	24,3 °C	27,5 °C	22,0 °C	3,2 °C	-2,3 °C	5,5 °C	39,0%	54,0%	70,0%	15,0%	31,0%	-16,0%
8:00	23,6 °C	27,0 °C	22,0 °C	3,4 °C	-1,6 °C	5,0 °C	35,0%	54,0%	71,0%	19,0%	36,0%	-17,0%
10:00	26,4 °C	27,0 °C	22,0 °C	0,6 °C	-4,4 °C	5,0 °C	33,0%	53,0%	60,0%	20,0%	27,0%	-7,0%
12:00	29,6 °C	27,0 °C	22,5 °C	-2,6 °C	-7,1 °C	4,5 °C	31,0%	46,0%	55,0%	15,0%	24,0%	-9,0%
14:00	33,5 °C	27,1 °C	22,8 °C	-6,4 °C	-10,7 °C	4,3 °C	30,0%	46,0%	61,0%	16,0%	31,0%	-15,0%
16:00	34,1 °C	29,0 °C	22,9 °C	-5,1 °C	-11,2 °C	6,1 °C	27,0%	46,0%	63,0%	19,0%	36,0%	-17,0%
18:00	32,5 °C	30,0 °C	22,9 °C	-2,5 °C	-9,6 °C	7,1 °C	29,0%	44,0%	62,0%	15,0%	33,0%	-18,0%
20:00	28,7 °C	30,5 °C	22,9 °C	1,8 °C	-5,8 °C	7,6 °C	40,0%	44,0%	65,0%	4,0%	25,0%	-21,0%
22:00	25,7 °C	30,0 °C	22,9 °C	4,3 °C	-2,8 °C	7,1 °C	49,0%	44,0%	66,0%	-5,0%	17,0%	-22,0%
24:00	23,5 °C	29,8 °C	22,9 °C	6,3 °C	-0,6 °C	6,9 °C	56,0%	46,0%	67,0%	-10,0%	11,0%	-21,0%

Como seria de esperar, é também neste período que se registam as temperaturas mais elevadas no interior da habitação em estudo. No dia 22 a temperatura mais elevada no interior está muito próxima dos 30°C, com um registo máximo de 29°C durante 3 horas (entre as 18:00 e as 22:00). Nos dias seguintes como consequência do dia com a temperatura mais elevada no exterior (dia 23 de Setembro), no interior da sala foram registados valores acima de 30°C tendo chegado aos 31°C no dia 27 (Quadro 4.6 e Figura 4.11) entre as 16:00 e as 18:00.

O gráfico da variação da temperatura do dia 23 de Setembro (Figura 4.9) mostra o registo da temperatura do ar exterior com o valor mais elevado (34,1°C) do período em estudo. Pode-se verificar que durante o dia a temperatura exterior é mais elevada que a do interior, invertendo-se a situação no período nocturno. É importante referir que a temperatura da sala está sempre acima da temperatura de conforto (25°), para além disso não sofre grandes variações inclusive no período nocturno.

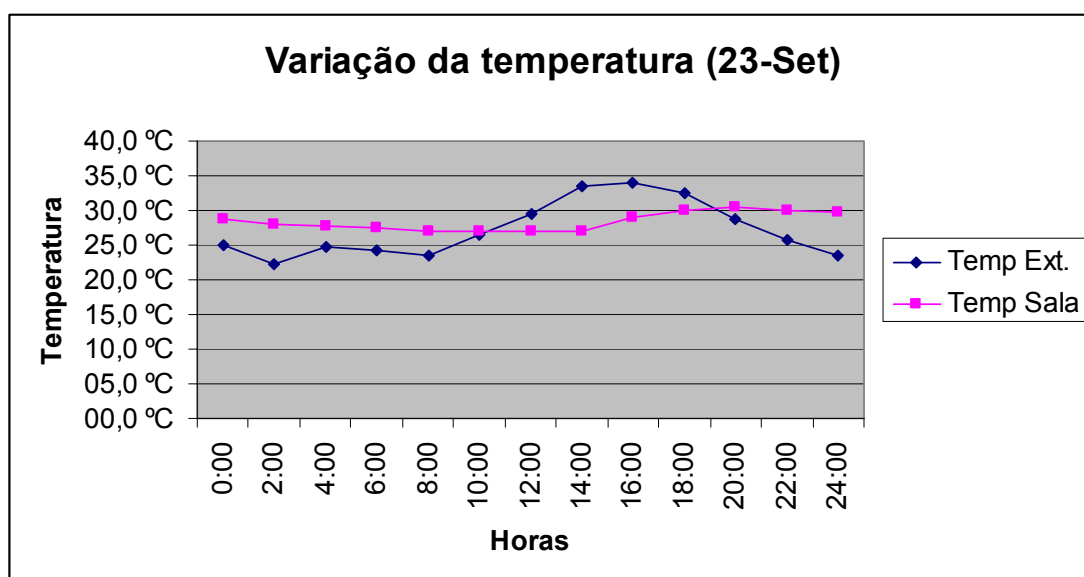


Figura 4.9 – Valores das temperaturas registadas na Sala e no Exterior no dia 23 de Setembro

Nestes dias mais quentes, as temperaturas mais elevadas no interior foram registadas entre as 18:00 e as 22:00, ou seja, após o registo mais elevado da temperatura exterior, devido ao sistema de ganho directo pela incidência da radiação no espaço e nas massas térmicas envolventes (paredes e pavimentos). Durante o período diurno absorvem o calor resultante da incidência directa da radiação solar e, durante o período nocturno devolvem-no ao espaço. Por esta razão, este espaço apresenta temperaturas mais elevadas no final da tarde e início da noite.

Como consequência de se terem verificado estas temperaturas elevadas durante vários dias, a temperatura mais baixa no interior da sala foi da ordem dos 27°C (acima do valor 25°C), ou seja, durante dias seguidos a sala esteve sempre em todas as horas com uma temperatura acima da temperatura de conforto. Na Figura 4.10, apresenta-se a variação das temperaturas na sala e no exterior, nos dias 24, 25 e 26 de Setembro.

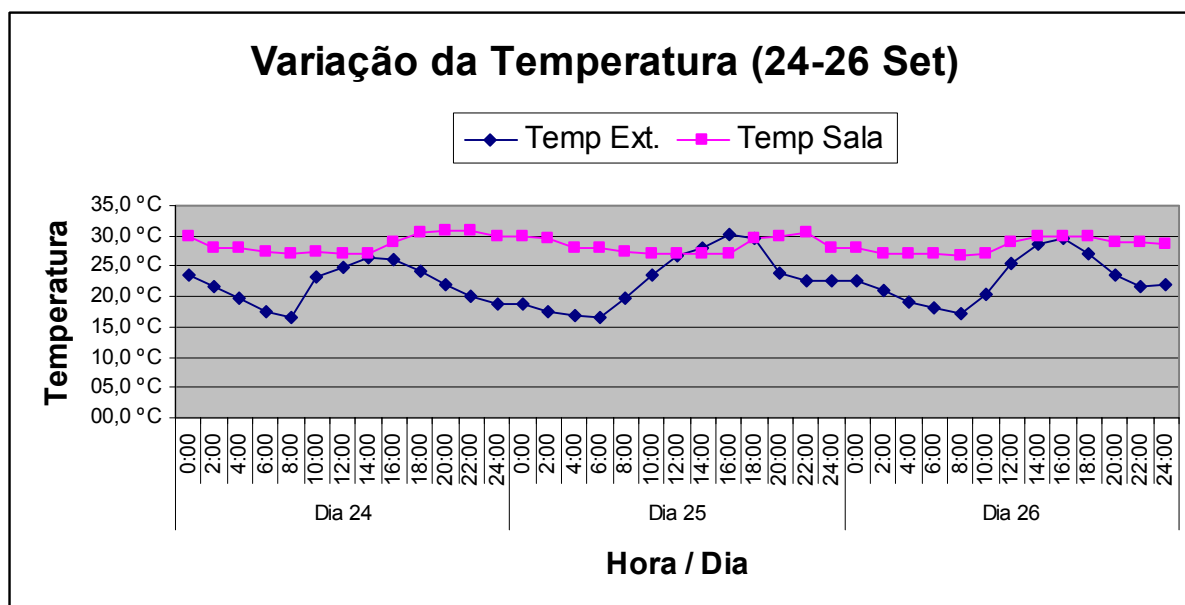
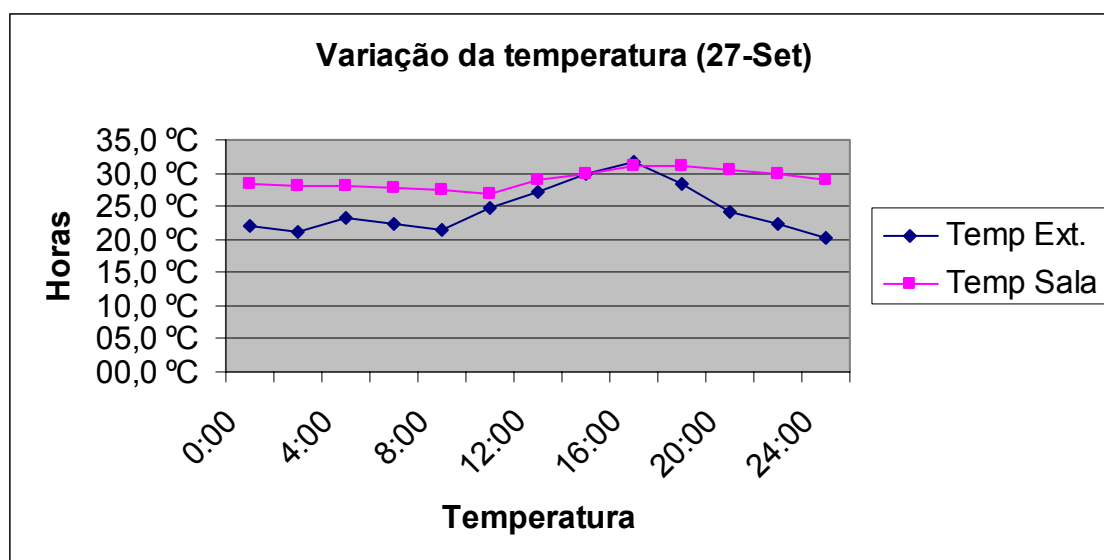


Figura 4.10 – Valores das temperaturas registadas na Sala e no Exterior nos dias 24, 25 e 26 de Setembro

Para perceber a diferença de temperatura entre o interior (sala) e o exterior, analisamos os diversos registos durante o dia. Analisando o dia com a temperatura mais elevada no exterior (23 de Setembro), verifica-se que no período das 12:00 às 18:00 a temperatura no exterior é superior à da sala, sendo a maior diferença de 6°C (Quadro 4.2 e Figura 4.9). No restante período do dia, ou seja, após as 18:00 e até às 12:00 do dia seguinte, motivado pelo arrefecimento nocturno, regista-se no interior temperaturas mais elevadas que no exterior, sendo a diferença máxima de 6,3°C registada às 24 horas com uma temperatura interior de 29,8°C e exterior de 23,5°C. Dado o aquecimento deste dia, nos dias seguintes as temperaturas interiores foram superiores às exteriores com diferenças que atingiram os 11°C.

Analisando o gráfico da Figura 4.11, constata-se que quase sempre a temperatura da sala é superior à temperatura exterior. A única excepção é registada às 16:00 quando a temperatura interior chega ao seu máximo (31°C) e a temperatura exterior registada é de 31,6°C. Constatase, também, que existe muita dificuldade de arrefecimento ao longo do período nocturno.



**Figura 4.11 - Valores das temperaturas registadas na Sala e no Exterior no dia 27 de Setembro**

Quanto às humidades, como era de esperar, foram registados valores mais baixos tanto no interior da sala como no exterior, no dia 23 de Setembro, com valores na maior parte do período do dia abaixo de 50%.

No que diz respeito ao quarto situado a Norte, os registos foram significativamente diferentes dos verificados na sala, como se pode ver no Quadro 4.3. Tendo como referencia os dias do período com temperaturas mais elevadas, constatou-se que o registo mais elevado no quarto, nunca ultrapassou os 25°C, sendo esta a temperatura do ar de referência para a estação de arrefecimento (Anexo V- RCCTE).

#### QUADRO 4.3 - Medições de Temperatura e Humidade – Dia 27 de Setembro

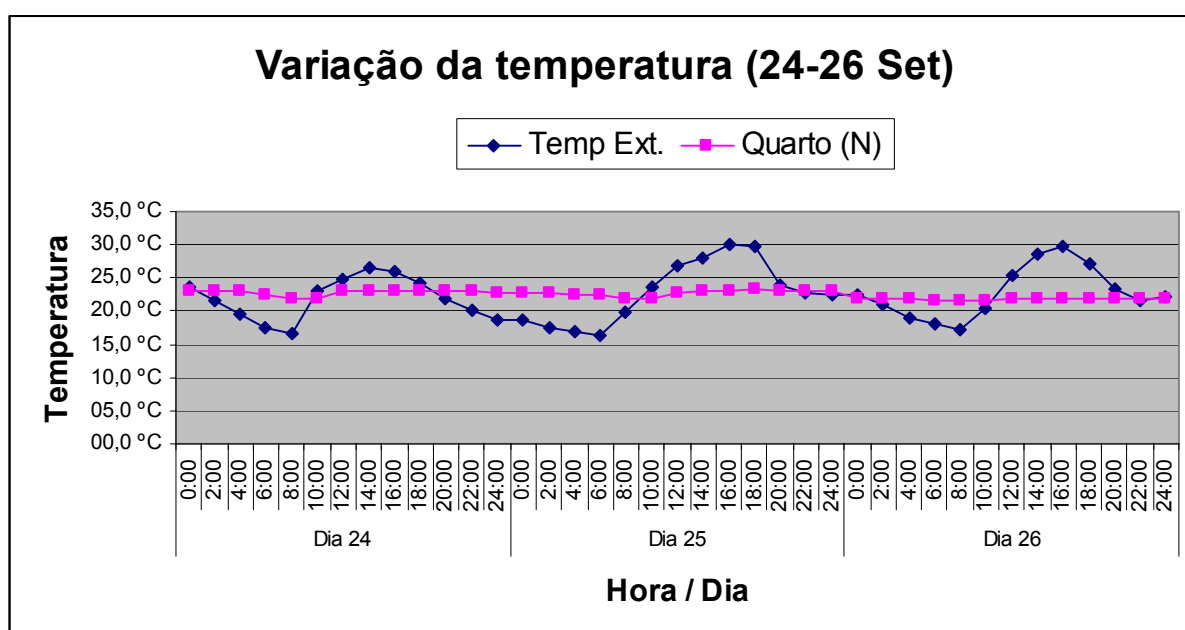
Dia 27 Setembro 2004

Aparelho: (Quarto - Norte) LFC-11  
(Sala - Sul) LFC-38

Hora	Temperatura						Humidade					
	exterior	interior		Diferença			exterior	interior		Diferença		
		Sala	Quarto	S-Ext	Q-Ext	S-Q		Sala	Quarto	S-Ext	Q-Ext	S-Q
0:00	22,1 °C	28,5 °C	22,0 °C	6,4 °C	-0,1 °C	6,5 °C	59,0%	44,0%		-15,0%	-59,0%	44,0%
2:00	21,0 °C	28,0 °C	22,0 °C	7,0 °C	1,0 °C	6,0 °C	61,0%	44,0%		-17,0%	-61,0%	44,0%
4:00	23,1 °C	28,0 °C	22,0 °C	4,9 °C	-1,1 °C	6,0 °C	55,0%	46,0%		-9,0%	-55,0%	46,0%
6:00	22,3 °C	27,8 °C	22,0 °C	5,5 °C	-0,3 °C	5,8 °C	58,0%	46,0%		-12,0%	-58,0%	46,0%
8:00	21,4 °C	27,5 °C	22,0 °C	6,1 °C	0,6 °C	5,5 °C	61,0%	46,0%		-15,0%	-61,0%	46,0%
10:00	24,7 °C	27,0 °C	22,0 °C	2,3 °C	-2,7 °C	5,0 °C	57,0%	46,0%		-11,0%	-57,0%	46,0%
12:00	27,2 °C	29,0 °C	22,0 °C	1,8 °C	-5,2 °C	7,0 °C	42,0%	46,0%		4,0%	-42,0%	46,0%
14:00	29,9 °C	30,0 °C	22,0 °C	0,1 °C	-7,9 °C	8,0 °C	31,0%	45,0%		14,0%	-31,0%	45,0%
16:00	31,6 °C	31,0 °C	22,5 °C	-0,6 °C	-9,1 °C	8,5 °C	30,0%	44,0%		14,0%	-30,0%	44,0%
18:00	28,5 °C	31,0 °C	22,5 °C	2,5 °C	-6,0 °C	8,5 °C	47,0%	44,0%		-3,0%	-47,0%	44,0%
20:00	24,0 °C	30,5 °C	22,5 °C	6,5 °C	-1,5 °C	8,0 °C	58,0%	43,0%		-15,0%	-58,0%	43,0%
22:00	22,2 °C	29,8 °C	22,5 °C	7,6 °C	0,3 °C	7,3 °C	65,0%	43,0%		-22,0%	-65,0%	43,0%
24:00	20,1 °C	29,0 °C	22,5 °C	8,9 °C	2,4 °C	6,5 °C	72,0%	44,0%		-28,0%	-72,0%	44,0%

A diferença de temperatura entre a sala e o quarto chegou a ser no dia em que a sala esteve mais quente de 8,5°C (entre as 16:00 e as 18:00), sendo a temperatura do quarto de 22,5°C e a da sala de 31°C (Quadro 4.3). A menor diferença de temperatura entre estas divisões, na semana mais quente, foi de 4°C.

No dia mais quente, a temperatura mais elevada, no quarto, foi registada às 20:00 com o valor de 22,9°C. Nos dias que se seguiram, pelos motivos anteriormente explicados que se resumem a um “armazenamento” e ao retardamento da dissipação, o valor máximo registado no quarto foi de 23,2°C às 18:00 do dia 25 (Figura 4.12). Saliente-se que a temperatura no quarto é praticamente constante ao longo do dia.



**Figura 4.12 – Valores das temperaturas registadas no Quarto e no Exterior nos dias 24, 25 e 26 de Setembro**

Efectivamente o quarto tem valores muito regulares de temperatura, situando-se quase sempre em valores da ordem dos 22 e 23°C. Esta regularidade é “conseguida” com diferenças de temperatura entre o interior (quarto) e o exterior que chegam a ser de 11°C, no período mais quente do dia e de 6°C, no período nocturno ou de manhã (Quadro 4.2 e Figura 4.12).

Quanto à humidade, o quarto regista genericamente valores elevados. No período em estudo, os valores da humidade relativa estão compreendidos entre os 60 e os 70%, ou seja, sempre acima dos 50%, sendo este o valor de referência da humidade relativa para a estação de arrefecimento. Para a obtenção destes valores conta-se com a contribuição de dois wc's com banhos e com o facto do quarto estar menos quente do que outros compartimentos da casa. A ventilação efectiva do espaço poderá, também, não ser a mais adequada, uma vez que o espaço está desocupado.

#### **4.3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS**

Conforme foi referido anteriormente, os dados recolhidos correspondem a uma situação real dado que se trata de uma moradia habitada, estando, portanto, accionadas naturalmente as variáveis de utilização, tais como a ventilação motivada pela abertura de portas e janelas e a utilização de equipamentos e dispositivos de iluminação.

Pela análise dos valores registados neste estudo, conclui-se que a temperatura que se regista no Verão na sala é muito elevada, provocando um desconforto térmico na divisão, pondo em causa a habitabilidade nestas condições.

Verifica-se que, nos dias mais quentes, a temperatura da sala esteve sempre acima da temperatura de conforto (25°) ao longo de todo o dia, não sofrendo variações significativas, nomeadamente, no período nocturno como seria de esperar. Estas temperaturas elevadas no interior da habitação resultam da acumulação do calor durante vários dias no período diurno, sem que o período nocturno consiga voltar a repor uma temperatura confortável. Esta situação indicia o fraco desempenho térmico do edifício.

Por outro lado, a diferença de temperatura entre as diversas divisões da habitação, contribui, também, para o desconforto térmico fazendo com que haja uma alternância sistemática de temperaturas conforme o percurso que se faz dentro de casa.

## **4.4 APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS REGULAMENTARES À MORADIA EM ESTUDO**

### **4.4.1 SITUAÇÕES ANALISADAS**

Mantendo presente o objectivo de avaliar o impacto das novas exigências regulamentares, elaboraram-se cálculos para a verificação das necessidades de arrefecimento, aplicando o regulamento em vigor e a proposta de Revisão, para a moradia em estudo.

Em primeiro lugar, depois de constatar a existência de desconforto térmico através do registo das temperaturas, interessa verificar se, apesar disso, o projecto verifica qualquer um dos textos regulamentares.

Como a moradia se localiza no Porto, analisa-se primeiro nesta localidade e de seguida submete-se o mesmo projecto nas várias zonas climáticas de Verão. Sendo os resultados semelhantes tem interesse fazer variar alguns parâmetros, de igual forma, em todas as cidades que representam as diversas zonas climáticas, para perceber quais serão as primeiras a alterar o resultado da verificação das necessidades de arrefecimento.

Apresenta-se, no Quadro 4.4, a sequência das folhas de cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento, segundo o RCCTE em vigor, para a situação real, ou seja, a habitação localizada no Porto com todas as características do projecto. No Quadro 4.5, apresentam-se as folhas de cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento, segundo

a Proposta de Revisão do RCCTE. Em ambos os casos, os cálculos foram efectuados com os valores reais do Factor Solar do envidraçado a Oeste, o qual não tem qualquer protecção solar e do Coeficiente de Transmissão Térmica da laje do 1º piso ( $K = 1,9 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ). Embora sejam valores não regulamentares que comprometeriam, desde logo, o cumprimento do RCCTE, optou-se por os considerar, dado que se trata de elementos de pequena área, certamente pouco condicionantes. O envidraçado contacta com uma zona de circulação comum, tendo pouca influência nas condições de conforto dos compartimentos. A laje referida acima é uma porção de laje em consola ao nível do primeiro piso e tem uma área de apenas  $2,4 \text{ m}^2$ . Assim, compararemos os valores de  $N_{vc}$  com o seu limite regulamentar.

#### QUADRO 4.4 Cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento segundo o RCCTE em vigor

##### Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios

##### Identificação:

Projecto ..... HABITAÇÃO EM ESTUDO  
Caracterização..... Moradia constituída por R/C, 1º e 2º andar e terraço

##### Localização:

Continente (C), Açores (A) ou Madeira (M)?..... C  
Norte (N) ou Sul (S)?..... N  
Concelho onde se situa o projecto?..... Porto

##### Zonas climáticas:

*I2* ; *VI*  
Se a Zona climática é I3, indicar a altitude.....

##### Características do edifício:

Pé direito (em metros)?..... 2,45  
Edifício com ocupação nocturna (a) ou diurna (b)?... a  
Inércia do edifício (Fraca, Média ou Forte)?..... Forte

Área útil de pavimento ( $\text{m}^2$ )..... 254,95

Pé direito (m)..... 2,45

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA PROPOSTA DE REVISÃO DO RCCTE EM TERMOS DE CONFORTO DE VERÃO  
Estudo de um caso de desconforto térmico num edifício de habitação

**Folha de Cálculo FCV.1**

***Cálculo das Necessidades Nominais de Arrefecimento Resultantes da Transmissão de Calor através da Envolvente***

		Orient.	Área (m <sup>2</sup> )		S Factor Solar	Ganhos Solares Médios	Ganho Incidente
Envidraç.		N	17,42	0,7	0,47	26	149,01
		S	53,01	0,7	0,42	67	1044,19
		W	5,39	0,7	0,75	77	217,89
		E					
		Horiz.					
	Tipo	Orient. Cor	Área (m <sup>2</sup> )	f (-)	K (W/m <sup>2</sup> °C)	ΔTe (°C)	
Paredes (PL,PM,PP)	PP	N	41,87	1,6	0,75	-0,5	-9,04
	PP	S	11,72	1,6	0,75	3	15,19
	PP	E	112,49	1,6	0,75	5,5	267,28
	PP	W	27,2	1,6	0,75	4,5	52,88
Coberturas (CT,CTTnV,CDV)	CT	Clara	89,34	1	0,75	1,5	36,18
	CT						
<b>Total</b>							<b>1773,57</b>
							x
Factor de inércia.....							0,9
							x
Duração Média da Insolação na Estação de Arrefecimento.....							1,6
							=
Necessidades Globais.....							2553,95
Necessidades nominais, Nvc=Nec. globais/Ap.....							<b>10,02</b>

**Folha de Cálculo FCV.2**

***Verificação da Satisfação das Exigências do Regulamento (Verão)***

Kfr (coef. de transmissão térmica das fachadas)(W/m <sup>2</sup> °C).....	1,2
Área, Af (m <sup>2</sup> ).....	193,28
Khr (coef. de transmissão térmica das coberturas e pavimentos)(W/m <sup>2</sup> °C)...	0,85
Área, Ah (m <sup>2</sup> ).....	89,34
Gref (kWh/m <sup>2</sup> .mês).....	25
Área, Aenv (m <sup>2</sup> ).....	38,24
ΔTr (°C).....	4,5
ΔTh (°C).....	1,5
Nv (Valor máximo imposto no Artigo 5º do Regulamento) (kWh/m <sup>2</sup> .ano).....	9,32

$$\boxed{10,33} > \boxed{9,32}$$

**K.O.**

Quer o resultado do cálculo anterior, segundo o regulamento em vigor, quer o resultado do cálculo seguinte (Quadro 4.5), onde se verifica as necessidades de arrefecimento segundo o RCCTE em estudo para a situação real, serão analisados em 4.4.2.

**QUADRO 4.5 Cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento segundo a proposta de revisão do RCCTE (Folhas de Cálculo FCIV.1a, FCIV.1b, FCIV.1d, FCV.1a, FCV.1d, FCV.1c, FCV1.e, FCV1.f e FCV1.g)**

**Folha de Cálculo FCIV.1a**  
**Perdas associadas à Envolvente Exterior**

Paredes Exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
R/C	58,56	0,75	43,92
1º Andar	58,97	0,75	44,23
2º Andar	66,12	0,75	49,59
Terraço	9,63	0,75	7,22
TOTAL			144,96

Pavimentos Exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
1º Andar	2,4	1,9	4,56
TOTAL			4,56

Coberturas Exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
Cobertura	89,34	0,75	67,01
TOTAL			67,01

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m°C)	ψ.B (W/°C)
R/C	81,94	1,5	122,91
TOTAL			122,91

Pontes térmicas	Comp. (m)	ψ (W/m°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos	14,3	0,5	7,15
Fachada com os pavimentos	7,1	0,6	4,26
Fachada com pavimentos intermédios	40,86	0,25	10,22
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	29,8	0,7	20,86
Fachada com varanda			0,00
Duas paredes verticais	31,4	0,2	6,28
Fachada com caixa de estore			0,00
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	17,35	0	0,00
Outras			0,00
TOTAL			48,77

Perdas pela envolvente exterior da Fracção Autónoma	(W/°C)	<b>TOTAL</b>	<b>388,20</b>
---	--------	--------------	---------------

**Folha de Cálculo FC V.1b**  
**Perdas associadas a Coberturas e Envidraçados Exteriores**

Perdas associadas às coberturas exteriores

Coberturas exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
Cobertura	89,34	0,75	67,01
		TOTAL	67,01

Perdas associadas aos envidraçados exteriores

Envidraçados Exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
Verticais:			0,00
R/C	16,91	2,9	49,04
1º Andar	20,83	2,9	60,41
2º Andar	14,70	2,9	42,63
Terraço	19,23	2,9	55,77
Testas das Lajes	3,87	2,9	11,22
Horizontais:			0,00
		TOTAL	219,07

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA PROPOSTA DE REVISÃO DO RCCTE EM TERMOS DE CONFORTO DE VERÃO  
Estudo de um caso de desconforto térmico num edifício de habitação

Folha de Cálculo FC IV.1d  
Perdas associadas à Renovação de Ar

Área Útil de Pavimento		254,95	(m <sup>2</sup> )
		x	
Pé-direito médio		2,45	(m)
		=	
Volume interior (V)		624,63	(m <sup>3</sup> )

VENTILAÇÃO NATURAL

Cumprir a NP 1037-1?	(S ou N)		se SIM: RPH=0,6
Se NÃO:			
Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)		Taxa de Renovação Nominal: RPH= 0,6
Caixas de Estore	(S ou N)		
Classe de Exposição	(1, 2, 3 ou 4)		
Aberturas Auto-reguladas?	(S ou N)		
Área de envidraçados > 15% Ap?	(S ou N)	S	Ver Quadro IV.1
Portas Exteriores bem vedadas?	(S ou N)		

VENTILAÇÃO MECÂNICA (excluir exaustor da cozinha)

Caudal de Insuflação	Vins - (m <sup>3</sup> /h)		
Caudal Extraído	Vev - (m <sup>3</sup> /h)		Vf =
Diferença entre Vins e Vev	(m <sup>3</sup> /h)		V =
Infiltrações	(Vx)		(volume int) (RPH)
Recuperador de calor	(S ou N)		se SIM: η =
			se NÃO: η = 0
Taxa de Renovação Nominal	(mínimo: 0,6)		(Vf / V + Vx) (1-η)
Consumo de Electricidade para os ventiladores			(Ev=Pv.24.0,03 M(kWh))

Volume		624,6275	
		x	
Taxa de Renovação Nominal		0,6	
		x	
		0,34	
		=	
TOTAL		127,42401	(W/°C)

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA PROPOSTA DE REVISÃO DO RCCTE EM TERMOS DE CONFORTO DE VERÃO  
Estudo de um caso de desconforto térmico num edifício de habitação

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	144,96	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	4,56	(W/°C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCV.1b)	67,01	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCV.1b)	219,07	(W/°C)
		+	
Perdas associadas à renovação do ar	(FCIV.1d)	127,42	(W/°C)
		=	
<b>Perdas específicas totais</b>	(Q1a)	<b>563,02</b>	(W/°C)

Temperatura interior de referência		25	(°C)
		-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (Quadro III.9)		19	(°C)
		=	
Diferença de temperatura interior-exterior		6	
		x	
Perdas específicas totais	(Q1a)	563,02	(W/°C)
		x	
		2,928	
		=	
<b>Perdas térmicas totais</b>	(Q1b)	<b>9891,14</b>	(kWh)

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA PROPOSTA DE REVISÃO DO RCCTE EM TERMOS DE CONFORTO DE VERÃO  
Estudo de um caso de desconforto térmico num edifício de habitação

**Folha de Cálculo FC V.1d**  
**Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores**

	POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL			
	N	S	W	
Área, A (m <sup>2</sup> )	17,14	53,01	5,39	
	x	x	x	
Factor solar do vão envidraçado	0,554	0,498	0,78	
	x	x	x	
Fracção envidraçada, F <sub>g</sub> (Quadro IV.5)	0,9	0,9	0,65	
	x	x	x	
Factor de obstrução, F <sub>s</sub>	1	1	0,55	
	x	x	x	
Factor de selectividade do vidro, F <sub>w</sub> (Quadro V.3)	0,8	0,75	0,85	
	=	=	=	
Área Efectiva, A <sub>e</sub>	6,84	17,82	1,28	
	x	x	x	
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (KWh/m <sup>2</sup> ) (Quadro III.9)	200	380	420	
	=	=	=	
	<b>TOTAL</b>			
<b>Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores</b>	1367,36	6771,34	536,57	<b>8675,27 (KWh)</b>

**Folha de Cálculo FC V.1c**  
**Ganhos Solares pela Envoltente Opaca**

	POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL					
	N	S	E	W	Cob.	
Área, A (m <sup>2</sup> )	41,87	11,72	112,49	27,2	89,34	
	x	x	x	x	x	
U (W/m <sup>2</sup> °C)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	
	x	x	x	x	x	
Coefficiente de absorção, α (Quadro V.5)	0,4	0,4	0,8	0,4	0,4	
	=	=	=	=	=	
α.U.A	12,561	3,516	67,494	8,16	26,802	
	x	x	x	x	x	
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (KWh/m <sup>2</sup> ) (Quadro III.9)	200	380	420	420	730	
	x	x	x	x	x	
	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
	=	=	=	=	=	
	<b>TOTAL</b>					
<b>Ganhos Solares pela Envoltente Opaca Exterior</b>	100,49	53,44	1133,90	137,09	782,62	<b>2207,54 (KWh)</b>

**Folha de cálculo FC V.1e**  
**Ganhos Internos**

Ganhos Internos médios (W/m2) (Quadro IV.3)	4	
	x	
Área Útil de Pavimento (m2)	254,95	
	x	
	2,928	
	=	
<b>Ganhos internos Totais</b>	<b>2985,97</b>	<b>(KWh)</b>

**Folha de cálculo FC V.1f**  
**Ganhos Totais na estação de arrefecimento (verão)**

<b>Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores</b> (FCV.1d)	<b>8675,27</b>	<b>(KWh)</b>
	+	
<b>Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior</b> (FCV.1c)	<b>2207,54</b>	<b>(KWh)</b>
	+	
<b>Ganhos internos</b> (FCV.1e)	<b>2985,97</b>	<b>(KWh)</b>
	=	
<b>Ganhos Térmicos Totais</b>	<b>13868,78</b>	<b>(KWh)</b>

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA PROPOSTA DE REVISÃO DO RCCTE EM TERMOS DE CONFORTO DE VERÃO  
Estudo de um caso de desconforto térmico num edifício de habitação

Folha de cálculo FCV.1g  
Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

<b>Ganhos Térmicos Totais</b> (FCV.1e)		13868,78	(KWh)
		/	
<b>Perdas Térmicas Totais</b> (FCV.1a)		9891,14	(KWh)
		=	
<b>Relação Ganhos-Perdas</b>	$\gamma$	1,40214	
<b>Inércia do edifício</b>		Forte	

		1	
		-	
Factor de utilização dos ganhos, $\eta$ (Gráfico IV.1)		0,65342526	
		=	
		0,34657474	
		x	
<b>Ganhos Térmicos Totais</b> (FCV.1f)		13868,78	(KWh)
		=	
<b>Necessidades Brutas de Arrefecimento</b>		4806,57	(KWh/ano)
		+	
<b>Consumo dos ventiladores</b> (se houver, exaustor da cozinha excluído)			(Ev=Pv.24.0,03.122(kWh))
		=	
	<b>TOTAL</b>	4806,57	(KWh/ano)
		/	
Área Útil de Pavimento (m <sup>2</sup> )		254,95	
		=	
<b>Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc</b>		18,85	KWh/m <sup>2</sup> .ano)
		≤	
<b>Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv</b>		16	KWh/m <sup>2</sup> .ano)

K.O.

Para além deste cálculo, elaboraram-se outros em todas as zonas climáticas de Verão do país, para a situação real e para outras situações que resultam da variação de diversos parâmetros, como se verá em 4.4.2. Para análise desses resultados, construíram-se tabelas com o resumo dos mesmos, dispensando a inclusão das folhas de cálculo correspondentes.

#### 4.4.2 ANÁLISE DE RESULTADOS

Analisando o resultado do cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento, constata-se que, em ambas as metodologias, a moradia, tal como foi construída, apresenta valores de  $N_{vc}$  sempre superiores a  $N_v$  (Quadro 4.6).

**QUADRO 4.6 – Resumo dos resultados do cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento**

ZONA CLIMÁTICA		REGULAMENTO EM VIGOR			PROPOSTA DE REVISÃO		
		$N_{vc}$	$N_v$	$N_{vc}/N_v$ (%)	$N_{vc}$	$N_v$	$N_{vc}/N_v$ (%)
V1 NORTE	Porto	10,02	9,32	<b>108</b>	18,85	16	<b>118</b>
V1 SUL	Almada	21,29	21,06	<b>101</b>	29,33	22	<b>133</b>
V2 NORTE	Braga	15,86	13,28	<b>119</b>	21,89	18	<b>122</b>
V2 SUL	Loulé	24,52	22,63	<b>108</b>	42,71	32	<b>133</b>
V3 NORTE	Mirandela	21,79	15,36	<b>142</b>	37,35	26	<b>144</b>
V3 SUL	Beja	26,45	21,45	<b>123</b>	42,24	32	<b>132</b>

Note-se que a razão  $N_{vc}/N_v$  apresenta valores mais elevados para todas as zonas climáticas para a nova metodologia do que para o RCCTE em vigor, denotando uma sensibilidade particular do novo método às grandes áreas de envidraçado pouco protegidas. Podemos, no entanto, verificar que nas zonas V1 Norte e V2 Norte, a razão  $N_{vc}/N_v$  não é muito elevada, tratando-se, contudo, de um caso de desconforto térmico notório. Esta situação leva-nos a

pensar que é provável que uma pequena alteração ao projecto possa fazê-lo cumprir o regulamento, mesmo não resolvendo o problema de desconforto.

Dado que o projecto em estudo prevê soluções não regulamentares, faz-se, de seguida, o estudo do projecto substituindo os valores não regulamentares pelos requisitos mínimos de qualidade térmica para a envolvente dos edifícios. Deste modo, corrige-se o valor do Coeficiente de Transmissão Térmica real (1,9 W/m<sup>2</sup>°C) da zona opaca horizontal (laje do 1º Piso) e o Factor Solar real do vão envidraçado a Oeste.

No Quadro 4.7, verifica-se que as alterações introduzidas aos parâmetros que não cumprem os requisitos mínimos de qualidade térmica não provocam, neste caso, alteração muito significativa dos resultados. No entanto, como se pode ver, pelo regulamento em vigor, o projecto passaria a ser aprovado na zona V1 Sul

**QUADRO 4.7 – Resumo dos resultados do cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento com a correcção dos requisitos mínimos**

ZONA CLIMÁTICA		REGULAMENTO EM VIGOR			PROPOSTA DE REVISÃO		
		Nvc	Nv	Nvc/Nv(%)	Nvc	Nv	Nvc/Nv(%)
V1 NORTE	Porto	9,71	9,32	<b>104</b>	18,43	16	<b>115</b>
V1 SUL	Almada	20,62	21,06	<b>98</b>	28,77	22	<b>131</b>
V2 NORTE	Braga	15,43	13,28	<b>116</b>	21,41	18	<b>119</b>
V2 SUL	Loulé	23,85	22,63	<b>105</b>	42,06	32	<b>131</b>
V3 NORTE	Mirandela	21,07	15,36	<b>137</b>	36,61	26	<b>141</b>
V3 SUL	Beja	25,58	21,45	<b>119</b>	43,42	32	<b>136</b>

Atendendo a que na totalidade das situações estudadas este projecto não verifica as exigências da proposta de revisão, interessa perceber em que circunstâncias e em que locais o projecto da habitação em estudo passa a verificar as exigências regulamentares.

Com este objectivo, podia-se fazer variar uma série de parâmetros para estudar a sua influência no resultado. No entanto, dadas as características arquitectónicas da habitação em estudo, opta-se por fazer variar aquilo que de facto influencia a não verificação do Regulamento em estudo.

Deste modo, far-se-á variar a área do envidraçado a Sul, da mesma forma em todos os locais anteriormente estudados, mantendo a área de envidraçado das outras orientações (Quadro 4.8) e entrando com os parâmetros reais.

Posteriormente, para a área de envidraçados efectiva, determinar-se-ão os valores dos Factores Solares máximos tais que  $N_{vc} < N_v$ , para as várias zonas climáticas.

#### 4.4.3 EFEITO DA VARIAÇÃO DA ÁREA DE ENVIDRAÇADOS A SUL

No Quadro 4.8 apresenta-se a variação considerada da dimensão da área dos envidraçados a Sul.

**QUADRO 4.8 – Variação da dimensão da área dos envidraçados a Sul**

Piso	Orientação	Real		Red. 10% do Env Sul		Red. 30% do Env Sul		Red. 50% do Env Sul	
		Envid.	Paredes	Envid.	Paredes	Envid.	Paredes	Envid.	Paredes
R/C		<b>16,91</b>	<b>58,56</b>	<b>15,22</b>	<b>60,25</b>	<b>11,84</b>	<b>63,63</b>	<b>8,46</b>	<b>67,02</b>
	Sul	16,91		15,22		11,84		8,46	
1º Andar		<b>20,83</b>	<b>58,97</b>	<b>19,14</b>	<b>60,66</b>	<b>15,76</b>	<b>64,04</b>	<b>12,38</b>	<b>67,42</b>
	Sul	16,91		15,22		11,84		8,46	
	Norte	3,92		3,92		3,92		3,92	
2º Andar		<b>14,70</b>	<b>66,12</b>	<b>13,62</b>	<b>67,20</b>	<b>11,47</b>	<b>69,35</b>	<b>9,31</b>	<b>71,51</b>
	Sul	10,78		9,70		7,55		5,39	
	Norte	3,92		3,92		3,92		3,92	
Terraço		<b>19,23</b>	<b>9,63</b>	<b>18,73</b>	<b>10,13</b>	<b>17,72</b>	<b>11,14</b>	<b>16,72</b>	<b>12,14</b>
	Sul	5,02		4,52		3,51		2,51	
	Norte	8,82		8,82		8,82		8,82	
	Oeste	5,39		5,39		5,39		5,39	
Testas		<b>3,87</b>		<b>3,53</b>	<b>0,34</b>	<b>2,85</b>	<b>1,02</b>	<b>2,18</b>	<b>1,68</b>
	Sul	3,39		3,05		2,37		1,70	
	Norte	0,48		0,48		0,48		0,48	
Área (m2)		75,54	193,28	70,24	198,58	59,64	209,18	49,05	219,77
		268,82		268,82		268,82		268,82	
Aenv / Ap		28%		26%		22%		18%	

Elabora-se, de seguida, o cálculo tendo em conta a redução de 10% da área de envidraçado a Sul.

Como se pode ver no Quadro 4.9, com a redução do envidraçado a Sul em 10% do seu valor real, o projecto continua a não verificar a exigência da Proposta de Revisão do RCCTE.

**QUADRO 4.9 – Resumo dos resultados do cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento com redução de 10% da área de envidraçado a Sul**

ZONA CLIMÁTICA		PROPOSTA DE REVISÃO		
		Nvc	Nv	Resultado
V1 NORTE	Porto	17,25	16	<b>K.O.</b>
V1 SUL	Almada	27,33	22	<b>K.O.</b>
V2 NORTE	Braga	20,03	18	<b>K.O.</b>
V2 SUL	Loulé	40,41	32	<b>K.O.</b>
V3 NORTE	Mirandela	35,05	26	<b>K.O.</b>
V3 SUL	Beja	41,80	32	<b>K.O.</b>

Seguidamente, reduz-se a área de envidraçado a Sul em 30% do valor inicial (Quadro 4.10). Para essa situação, nas zonas V1 Norte e V2 Norte, já se verifica a condição  $Nvc < Nv$ .

**QUADRO 4.10 – Resumo dos resultados do cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento com redução de 30% da área de envidraçado a Sul**

ZONA CLIMÁTICA		PROPOSTA DE REVISÃO		
		Nvc	Nv	Resultado
V1 NORTE	Porto	14,13	16	<b>O.K.</b>
V1 SUL	Almada	23,38	22	<b>K.O.</b>
V2 NORTE	Braga	16,38	18	<b>O.K.</b>
V2 SUL	Loulé	35,82	32	<b>K.O.</b>
V3 NORTE	Mirandela	30,45	26	<b>K.O.</b>
V3 SUL	Beja	36,96	32	<b>K.O.</b>

Note-se que mesmo com a redução da área de envidraçados considerada, obtém-se, no total, uma área de envidraçados de 22% da área de pavimento. Atendendo a que se trata de envidraçados com factores solares elevados, poderemos dizer que, neste aspecto, a proposta de revisão é ainda algo tolerante

Continuando com a variação da área de envidraçado a Sul, reduz-se, agora, 50% do seu valor real (Quadro 4.11).

**QUADRO 4.11 – Resumo dos resultados do cálculo da verificação das necessidades de arrefecimento com redução de 50% da área de envidraçado a Sul**

ZONA CLIMÁTICA		PROPOSTA DE REVISÃO		
		Nvc	Nv	Resultado
V1 NORTE	Porto	11,14	16	O.K.
V1 SUL	Almada	19,39	22	O.K.
V2 NORTE	Braga	12,88	18	O.K.
V2 SUL	Loulé	31,26	32	O.K.
V3 NORTE	Mirandela	25,87	26	O.K.
V3 SUL	Beja	32,08	32	K.O.

Como seria de esperar, reduzindo a área de envidraçado a Sul para metade do seu valor real, constata-se que esta habitação cumpre a proposta de Revisão em quase todas as zonas climáticas do país. Apenas na zona V3 Sul se verifica ainda  $Nvc > Nv$ , embora por uma diferença mínima.

#### 4.4.4 DETERMINAÇÃO DE VALORES MÁXIMOS PARA O FACTOR SOLAR

Mantendo a arquitectura da moradia, isto é, não alterando a área de envidraçados, importa determinar qual o factor solar que os envidraçados devem ter para verificar a condição  $N_{vc} < N_v$ .

Considerando todos os outros parâmetros reais, procede-se ao cálculo do Factor Solar máximo para que o  $N_{vc}$  seja inferior ao  $N_v$ . Considera-se, então, que o Factor Solar é igual em todos os vãos e determina-se o mesmo nas diversas zonas climáticas estudadas anteriormente (Quadro 4.12 e 4.13).

**QUADRO 4.12 – Factor Solar máximo dos envidraçados tal que  $N_{vc} < N_v$  – Proposta de Revisão**

ZONA CLIMÁTICA		PROPOSTA DE REVISÃO	
		Factor Solar Máximo	$N_v$
V1 NORTE	Porto	0,43	16
V1 SUL	Almada	0,38	22
V2 NORTE	Braga	0,42	18
V2 SUL	Loulé	0,34	32
V3 NORTE	Mirandela	0,33	26
V3 SUL	Beja	0,33	32

Analisando os resultados do Quadro 4.12, constata-se que, como seria de esperar, em termos de exigência, a zona V1 Norte é aquela que permite um Factor Solar mais elevado e a zona V3 Sul é a mais exigente, admitindo apenas um valor para o Factor Solar bastante menor.

Tendo em conta os resultados de todas as zonas, verifica-se que apesar das diferenças de valores não serem particularmente significativas poderão corresponder a alguma diferença nas soluções a adoptar ao longo do país.

Partindo dos mesmos pressupostos no que diz respeito aos outros parâmetros, verifique-se agora o que se passa em termos do regulamento em vigor, procedendo de forma idêntica ao cálculo do Factor Solar máximo para que o  $N_{vc}$  seja inferior ao  $N_v$  (Quadro 4.13).

**QUADRO 4.13 – Factor Solar máximo dos envidraçados tal que  $N_{vc} < N_v$  – Regulamento em vigor**

ZONA CLIMÁTICA		REGULAMENTO EM VIGOR	
		Factor Solar Máximo	$N_v$
V1 NORTE	Porto	0,42	9,72
V1 SUL	Almada	0,46	22,15
V2 NORTE	Braga	0,36	14,73
V2 SUL	Loulé	0,44	22,54
V3 NORTE	Mirandela	0,25	17,60
V3 SUL	Beja	0,34	24,53

A primeira conclusão que se pode tirar dos resultados do Quadro 4.13 é que os valores do Factor Solar máximo são semelhantes aos que foram obtidos aplicando a metodologia de cálculo da proposta de Revisão.

No entanto, a “escala” de exigências não é a mesma que a verificada para a Proposta de Revisão. A zona V1 Sul permite o Factor Solar mais elevado e a zona V3 Norte é a que exige um Factor Solar mais baixo.

Comparando as duas metodologias (Quadro 4.14), verifica-se que, em determinadas zonas climáticas, se exige um Factor Solar mais baixo na nova metodologia (região Sul) e outras para as quais a metodologia em vigor é mais exigente (região Norte). Comparando-se todos os

valores máximos do Factor Solar dos envidraçados, constata-se que há uma alternância de exigência entre as duas metodologias. Esta verificação vem ao encontro da conclusão apresentada no ponto 3.3.

**QUADRO 4.14 – Factor Solar máximo dos envidraçados tal que  $N_{vc} < N_v$  – Valores para o Regulamento em vigor e para a Proposta de Revisão**

ZONA CLIMÁTICA		FACTOR SOLAR MÁXIMO	
		Regulamento em Vigor	Projecto de Revisão
V1 NORTE	Porto	0,42	0,43
V1 SUL	Almada	0,46	0,38
V2 NORTE	Braga	0,36	0,42
V2 SUL	Loulé	0,44	0,34
V3 NORTE	Mirandela	0,25	0,33
V3 SUL	Beja	0,34	0,33

#### **4.5 SOLUÇÕES DE MELHORIA DE COMPORTAMENTO TÉRMICO**

Conforme referido anteriormente, para cumprir as exigências regulamentares, não existem, à partida, imposições arquitectónicas, porque há um número elevado de variáveis e a sua combinação permite uma gama infinita de soluções regulamentares. Estas soluções podem ser a orientação, a área ou as características dos envidraçados, os isolamentos da cobertura ou das paredes exteriores, etc.

Isto quer dizer que para fazer o projecto do edifício verificar as exigências regulamentares, há uma série de parâmetros que poderão ser alterados para essa contribuição, nomeadamente:

- Isolamento térmico da envolvente opaca e da cobertura;
- Renovação do ar;
- Tipos de vidros com desempenho térmico melhorado;
- Sistemas de protecção dos envidraçados.

No que diz respeito á habitação em estudo, dado que se trata não só de um projecto, mas sim de uma construção efectiva, estuda-se as soluções que em complemento com a realidade existente solucionem a situação de desconforto térmico, atendendo às condicionantes impostas pelas opções iniciais. Deste modo, as soluções possíveis passam pela intervenção nos vãos envidraçados. Atende-se ao vidro, por ser possível a sua substituição e aos sistemas de protecção dos envidraçados por poderem constituir um complemento à construção existente.

Atendendo à arquitectura da habitação em estudo e ao design moderno de grande parte das fachadas dos edifícios actuais, se procurarmos no mercado soluções para sombreamento dos

vãos, encontramos uma oferta muito variada, direccionada para fachadas com vãos muito grandes [6]. No entanto, nem todas as soluções são próprias para edifícios habitacionais como se pode ver pelas que se apresentam mais adiante. As implicações estéticas são, neste caso, determinantes.

No que diz respeito ao vidro, o projecto prevê vidro duplo e foi, efectivamente, colocado o vidro duplo já descrito atrás, na moradia em estudo. Existem actualmente, no mercado, soluções que, embora dispendiosas, resultam numa melhoria do comportamento térmico relativamente ao vidro duplo vulgar.

As transferências por radiação podem ser diminuídas utilizando vidro de capa de baixa emissividade. As transferências por condução e convecção podem ser diminuídas substituindo o ar que se encontra entre os dois vidros por um gás mais pesado, apresentando uma condutibilidade mais baixa (em geral argon).

O vidro de desempenho térmico melhorado existe no mercado com uma grande variedade de soluções. Para verificar os valores limites das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento, a solução (de vidro + protecção solar) a adoptar para a habitação em estudo deve ter, como visto anteriormente, um Factor Solar inferior ao especificado no Quadro 4.14.

Como complemento dos vidros especiais com Factores Solares baixos ou como forma de evitar a sua utilização sistemática (uma vez que ela reduz os ganhos solares pretendidos para o Inverno) deveremos prever a existência de dispositivos eficazes de sombreamento ou protecção solar.

Os estores exteriores (Figura 4.13) são, em termos térmicos, a solução ideal para a protecção dos envidraçados, reflectindo a maior parte dos raios solares e tendo a possibilidade de

orientação das lamelas, permite a regulação da luminosidade a qualquer altura do dia. Por outro lado, permitem a visualização praticamente total para o exterior, protegendo a vista do exterior para o interior. Para os locais onde é necessário um maior obscurecimento, como por exemplo, quartos residenciais, bibliotecas, salas de aula e auditórios existem produtos desenvolvidos para resolver estas situações. Estes sistemas podem ser comandados mecanicamente ou por sistemas eléctricos simples ou integrados.



**Figura 4.13 - Sistemas de Protecção Solar – Estores exteriores em edifícios com grande percentagem de envidraçados <http://www.cruzfer.pt/cgi-bin/cruzfer>**

As lamelas de sombreamento (Figura 4.14) são outra solução e encontram-se no mercado em chapa de alumínio, podendo vencer vãos até 8m quando incorporam reforços interiores, também, de alumínio. Tal como nos anteriores, estes sistemas também podem ser comandados mecanicamente ou por sistemas eléctricos simples ou integrados.



**Figura 4.14- Sistemas de Protecção Solar – Lamelas de sombreamento**  
<http://www.cruzfer.pt/cgi-bin/cruzfer>

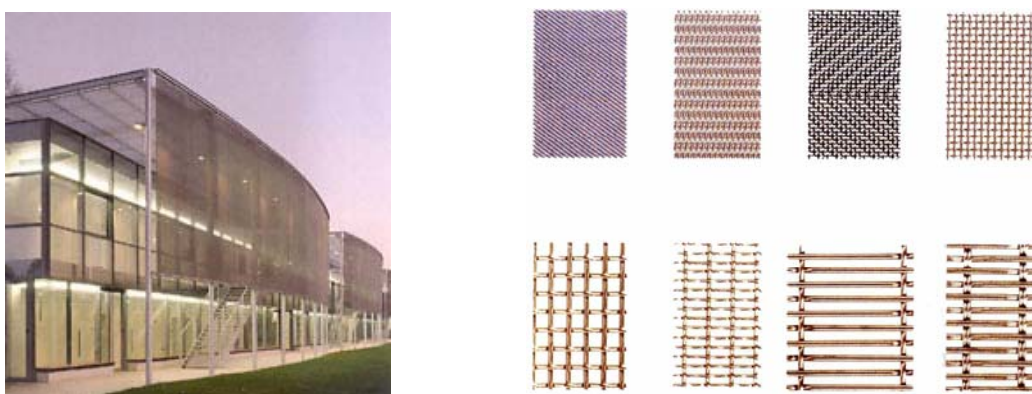
Outra das soluções de sombreamento é os toldos (Figura 4.15). Estes sistemas são muito versáteis, dado que permitem variações de ângulos. Podem ser montados na horizontal, na vertical, inclinados, em arco ou em pirâmide. Conjugado com a sua forma, o comando pode ser mais ou menos complicado mas comportando sempre as duas possibilidades, a mecânica e a eléctrica.



**Figura 4.15 - Sistemas de Protecção Solar – Toldos** <http://www.cruzfer.pt/cgi-bin/cruzfer>

Por ultimo apresenta-se a solução das malhas metálicas de aço inox (Figura 4.16), que é uma solução mais indicada para grandes edificios com fachadas totalmente envidraçadas. Esta

solução transforma totalmente as fachadas na sua estética e geometria pois cobre o edifício com uma segunda “pele de fachada” em malha de aço que pode ser muito variada na espessura do arame ou na largura da quadrícula.



**Figura 4.16- Sistemas de Protecção Solar – Malha metálica Aço Inox**  
<http://www.cruzfer.pt/cgi-bin/cruzfer>

Todos os sistemas apresentados estão disponíveis, ou podem ser fabricados, em diversas cores e materiais permitindo aos projectistas soluções técnicas e visuais de grande qualidade para as fachadas.

Atendendo aos resultados do Quadro 4.12, dependendo da zona climática, o Factor Solar deverá ter um valor máximo de 0,33 a 0,43. Isto quer dizer que, atendendo a este intervalo de valores, as soluções a adoptar para cumprir a metodologia da Proposta de Revisão, terão de ser, em algumas zonas, protecções exteriores e noutras poderão ser protecções interiores.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSÕES**

#### **5.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES DECORRENTES DA APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS REGULAMENTARES A PROJECTOS DE EDIFÍCIOS**

O principal objectivo deste trabalho foi a avaliação do impacto das novas exigências regulamentares para a estação de arrefecimento. Para isso, aplicou-se essa nova metodologia a projectos de edifícios.

Pretendeu-se avaliar o nível de exigência do novo texto regulamentar por comparação com o anterior e analisar a sensibilidade da nova metodologia à variação de parâmetros influentes, de modo a identificar eventuais aspectos a melhorar na proposta de revisão do RCCTE.

No capítulo 3, foram detalhadamente analisados os vários resultados obtidos pelo que aqui apenas referiremos as conclusões gerais.

Na revisão do Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios era intenção da Comissão de revisão aumentar o grau de exigência e melhorar o desempenho

térmico dos edifícios a construir ou a renovar. No entanto, no estudo efectuado, identificou-se, de uma maneira geral, uma tendência para uma descida do nível de exigência para a região Norte e uma subida para a região Sul, tendo como referência a exigência do regulamento actualmente em vigor.

A nova metodologia contabiliza de uma nova forma a influência da inércia resultando, ao contrário do que acontece no regulamento em vigor, num efeito tanto menos acentuado quanto maior é a razão entre ganhos e perdas. Para um mesmo projecto, o efeito da inércia faz-se sentir com mais intensidade nas zonas climáticas mais moderadas do que nas zonas mais exigentes.

A influência do Coeficiente de Absorção da envolvente opaca é tida em consideração pela primeira vez (no regulamento em vigor apenas se considerava o efeito da cor da cobertura) e pode revelar-se determinante para o cumprimento do regulamento.

O Coeficiente de Transmissão Térmica da envolvente opaca pode actuar, segundo a nova metodologia, em dois sentidos diferentes, o que não acontece no regulamento em vigor, no qual um valor elevado de  $K$  é sempre prejudicial para o cumprimento das exigências, quer de Inverno quer de Verão. A importância de  $U$ , na nova metodologia, é tanto maior quanto maior for o Factor de Forma do edifício.

Finalmente, verifica-se que para as zonas V1 Norte e V2 Norte, a proposta de revisão admite situações de combinação de soluções desfavoráveis que, à partida, poderão ser consideradas como potenciadoras de condições de desconforto.

## 5.2 CONCLUSÕES DECORRENTES DO ESTUDO DE CASO

Hoje em dia há dois estados de consciência relativamente à térmica. Se por um lado, segundo [5] os projectistas estão conscientes da necessidade de tratar termicamente a envolvente dos edifícios, incluindo isolamento térmico na envolvente, prevendo soluções melhores que os mínimos exigidos pelo RCCTE, incluindo vidros duplos e corrigindo pontes térmicas, por outro lado, a arquitectura moderna abusa do uso de grandes fachadas envidraçadas independentemente da zona climática onde o projecto está inserido. Como consequência deste tipo de fachadas temos, quando não acautelado, um sobreaquecimento responsável por situações de desconforto para as pessoas e por elevados consumos de energia na tentativa de corrigir tais situações.

Na habitação em estudo, porque não foi devidamente acautelado o que se sugere nas conclusões anteriores, há uma situação nítida de desconforto térmico, prejudicando a habitabilidade. O projecto arquitectónico não foi conjugado com a escolha de materiais e de soluções de protecção, de forma a garantir o conforto térmico.

Concluiu-se que o projecto não está regulamentar, pois as várias soluções estudadas nunca verificaram a legislação em vigor. Relativamente à proposta de Revisão, o projecto da habitação em estudo não verifica a metodologia embora não se afaste muito do limite imposto. Tendo em conta o desconforto térmico confirmado com os registos de temperaturas no interior da habitação, este resultado sugere a necessidade de aumentar a exigência regulamentar, sobretudo para a região Norte.

### **5.3 DISCUSSÃO DE EVENTUAIS AJUSTES A FAZER À PROPOSTA DE REVISÃO DO RCCTE**

Um possível reforço do nível de exigência do texto regulamentar poderá passar, antes de mais, por um ajuste dos valores de  $N_v$ , os quais, tal como está previsto na proposta de revisão, poderão ser actualizados por portaria.

Tal como ficou dito atrás, o estudo agora levado a cabo aponta para a necessidade de elevar a exigência para as zonas da região Norte. Poderiam assim ser fixados, para essa zonas, valores mais baixos de  $N_v$ .

Outro aspecto que pode ser alterado por portaria e que condiciona os cálculos de  $N_{vc}$  é o valor da temperatura de referência. Actualmente foi fixada em 25 °C e serve para estimar as perdas térmicas ao longo da estação de arrefecimento, considerando a sua diferença para a temperatura média exterior. A fórmula adoptada pressupõe a permanência, em termos médios, dessa temperatura no interior do edifício ao longo da toda a estação de arrefecimento o que, no nosso entender vai sobreestimar as perdas consideradas, sobretudo para as zonas climáticas com temperaturas médias exteriores mais baixas. Só a título de exemplo, refira-se que, para o edifício multifamiliar estudado no Porto (V1 Norte), considerando uma área de envidraçado igual a 30% da área de pavimento, enquanto para uma temperatura de referência de 25 °C se obtém uma razão  $N_{vc}/N_v$  igual a 15% (Quadro 3.2), para uma temperatura de referência de 24 °C, obtém-se um valor de 25%.

Outro aspecto que poderia, eventualmente, ser desenvolvido era um maior controlo sobre situações de desconforto térmico. Mesmo que em termos médios um projecto cumpra o regulamento isso não previne a hipótese de se criarem condições de desconforto em

sequências de dias quentes. Uma maneira de melhorar esse aspecto poderia ser, por exemplo, prever a hipótese de fazer uma verificação mensal do regulamento como previsto em projecto recente de norma europeia.

#### **5.4 POSSÍVEIS DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

Para a concretização das propostas esboçadas no ponto 5.3, seria necessário efectuar um estudo alargado de avaliação das consequências dessas medidas para diversas tipologias de edifícios, para as várias zonas climáticas.

Um outro tema a explorar será a procura da definição de recomendações de projecto para edifícios cuja arquitectura recorra a uma utilização intensiva do vidro.

Finalmente, refira-se a necessidade de aprofundar o conhecimento sobre a forma de incluir em métodos simplificados, a influência de determinados parâmetros como a inércia, o valor de  $U$ , o valor de  $\alpha$  e outros no comportamento dos edifícios no Verão, tendo como objectivo o aperfeiçoamento dos métodos simplificados existentes.

## REFERÊNCIAS

- 1) Biblioteca Virtual. *Inventário e classificação de estratégias de arrefecimento passivo na arquitectura vernácula do médio Oriente*. Disponível em [http://www.spes.pt/biblioteca/sol\\_pass\\_medio\\_oriente.htm](http://www.spes.pt/biblioteca/sol_pass_medio_oriente.htm). (Consultado em 18/08/2004).
- 2) Biblioteca Virtual. *Aquecimento passivo / sistema de ganho directo e indirecto*. Disponível em [http://www.spes.pt/biblioteca/sol\\_pass\\_aquecimento.htm](http://www.spes.pt/biblioteca/sol_pass_aquecimento.htm). (Consultado em 29/10/2004).
- 3) Carrocci, L., Oliveira, L., Amorim, E (2000). *Estudo do conforto térmico do edifício da FEG-UNESP*.
- 4) C.M.- Conselho de Ministros (1999). *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios - Decreto-Lei n.º 40/90 de 6 de Fevereiro*. Lisboa, Diário da Republica.
- 5) Corvacho, M. Helena (2003) – *A Regulamentação Portuguesa na Área da Térmica de Edifícios*, ESTV-IPV.

- 6) Cruzfer. Disponível em <http://www.cruzfer.pt/cgi-bin/cruzfer>. (Consultado em 18/11/2004).
  
- 7) Direcção Geral de Energia – Ministério da Economia (2002). *Eficiência Energética nos Edifícios*, Direcção Geral de Energia – Ministério da Economia.
  
- 8) LabCon – Laboratório de Conforto Ambiental / ARQ. *Projecto de Analise em Conforto Ambiental*, Disponível em <http://www.arq.ufsc.br/~labcon> (consultado em 29/10/2004).
  
- 9) Lopes, Osvaldo G. (2004). *Conforto Térmico e Qualidade do ar em Ambientes* - Artigo Publicado site da AEASV.
  
- 10) Sub-Comissão dos Regulamentos para a Eficiência Energética nos Edifícios, CSOPT, *Projecto de Revisão do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifício* (2004). Documento de trabalho.
  
- 11) Vittorino, F., Akutsu, M. (2000). *Avaliação do Conforto Térmico e Lumínico em Conjuntos Habitacionais*: IPT, São Paulo, Brasil, p.61-64.

- 12) EU Official Journal. (2003) *Directive on the Energy Performance of Buildings*  
2002/91/CE. 4/January.

## BIBLIOGRAFIA

Caram, R., Sichieri, E., *Transparência à radiação solar de vidros e policarbonatos*, Departamento de Arquitectura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos. Disponível em <http://www.arcoweb.cm.br/tecnologia/tecnologia43.asp>. (Consultado em 13/09/2004).

Ciência & Tecnologia, *Janela térmica auto-controla a intensidade de calor*, Disponível em [http://www.radiobras.gov.br/ct/2002/materia\\_090902\\_4.htm](http://www.radiobras.gov.br/ct/2002/materia_090902_4.htm). (Consultado em 29/10/2004).

CSOPT – Conselho Superior de Obras Públicas e Transportes (1985). Regras de Qualidade Térmica de Edifícios. Lisboa, Conselho Superior de Obras Públicas e Transportes.

Departamento de Arquitectura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos, *Desempenho Térmico e Luminoso de Vidros e Policarbonatos*. Disponível em <http://www.usp.br/fau/deptecnologia/docs/bancovidros/termica.htm>. (Consultado em 21/10/2004).

Fernandes, E., *Dossier: Energia Solar Térmica nos Edifícios*. Disponível em <http://www.energiasrenovaveis.com/html/canais/destaques/destaques0204.asp>. (Consultado em 02/11/2004)

Freitas, V. Peixoto, Pinto, M., (1997), - *Metodologia para a selecção exigencial de isolantes térmicos*, Laboratório de Física das Construções, FEUP.

Gonçalves, H., *Dossier: Programa P3E Programa Nacional para a Eficiência Energética nos edifícios*. Disponível em

<http://www.energiasrenovaveis.com/html/canais/destaques/destaques0204.asp>. (Consultado em 02/11/2004).

Gonçalves, J. *O projecto de Arquitectura tem sido o principal responsável pela ineficiência no consumo de energia dos edifícios*. Disponível em

<http://www.arcoweb.com.br/debate/debate14c.asp>. (Consultado em 29/10/2004).

Graça, A. (1996). *Cálculo de Temperaturas Interiores e Previsão do Comportamento de Espaços em Regime Flutuante Durante a Estação de Arrefecimento*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Instituto Português de Qualidade (1996). *Térmica dos Edifícios*. Lisboa, Instituto Português de Qualidade.

Moita, F. (1997). *Energia Solar Passiva*. Portugal, Direcção-Geral de Energia, Imprensa Nacional-Casa da Moeda.

Piedade, A. (2000). *Térmica de Edifícios*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Portal Energias Renováveis, *Energia solar – Tecnologias Passivas*. Disponível em [http://www.energiasrenovaveis.com/html/energias/solar\\_tecnologias.asp](http://www.energiasrenovaveis.com/html/energias/solar_tecnologias.asp). (Consultado em 20/10/2004).

Ramalho, A. (1995). Avaliação Térmica e Energética dos Edifícios No Inverno na Região de Lisboa e Porto – Contributo para a revisão do RCCTE, Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa.

Saint-Gobain Glass (2000). *Manual do Vidro*. Milão. Lombarda, Rotolito.

## **ANEXOS**

- Anexo I – Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)
- Anexo II – Projecto de Revisão do Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)

## **ANEXO A**

### **Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)**

## **ANEXO B**

**Projecto de Revisão do Regulamento das Características do  
Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)**