



UNIVERSIDADE NOVA DE  
LISBOA

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



# Avaliação do impacte das pontes térmicas no desempenho térmico dos edifícios do Campus da FCT/UNL - análise numérica

Tiago Miguel Carrilho Correia

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e  
Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa para  
obtenção do grau Mestre em Engenharia Civil –  
– Reabilitação de Edifícios

Orientador Científico: Professor Doutor Daniel Aelenei

Júri:

Presidente: Professora Doutora Paulina Faria Rodrigues

Arguente: Professor Doutor Fernando Manuel Anjos Henriques

Vogal: Professor Doutor Daniel Aelenei

Julho 2011

**“Avaliação do impacto das pontes térmicas no desempenho térmico dos edifícios do Campus da FCT/UNL- análise numérica.”**

**Copyright ©2011 de Tiago Correia, FCT/UNL, UNL.**

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

## **Agradecimentos**

Primeiramente, gostaria de agradecer ao Professor Daniel Aelenei, meu orientador, pela disponibilidade, pelo interesse demonstrado, apoio e partilha de conhecimento, valiosos para o trabalho e pela cooperação durante a realização da dissertação.

A Engenheira Filipa Santos, pelo fornecimento de dados cruciais, pela disponibilidade e apoio apresentado.

A todos aqueles que, de algum modo, com o seu apoio facilitaram esta jornada, principalmente aos meus amigos, especialmente à Nádía Dias, ao David Neves, Eduardo Fernandes, Ana Beatriz Silva e o João Pechincha.

À Ana Silva pelo incondicional apoio e motivação e pela capacidade de tornar tudo mais simples.

Por fim, e não menos importantes, agradeço aos meus pais e irmãos, sem os quais não teria sido possível chegar até aqui, pela força que me transmitiram, pois foram eles que estiveram por perto todos os dias.



## **Resumo**

A questão das pontes térmicas é hoje um dos problemas principais dos edifícios portugueses. Tem-se verificado que, nestas zonas, o aparecimento de anomalias é deveras regular, provocando assim uma diminuição do conforto e salubridade das habitações. Além disso, as pontes térmicas são os pontos preferenciais das fachadas para a concentração de tensões, provocando assim anomalias, para além de higrotérmicas também mecânicas (como fissuração horizontal do revestimento e dos elementos da alvenaria ao longo da ligação, destacamento e desprendimento dos revestimentos e desfasamento para o exterior da zona superior à fissuração).

Este trabalho pretende demonstrar a importância das pontes térmicas nas questões térmicas e energéticas dos edifícios do campus da Faculdade de Ciência e Tecnologias, da Universidade Nova de Lisboa. Assim sendo, foi necessário dividir-se o trabalho em duas partes, uma experimental e outra numérica, tratando a presente dissertação da parte numérica. Recorreu-se a três casos de estudo, representativos da evolução da construção praticada em Portugal. Nesta avaliação, recorreu-se a ferramentas de simulação, como o programa Bisco, por forma a que a análise às pontes térmicas identificadas nos edifícios fosse realizada de maneira muito similar à realidade.

Este estudo foi realizado por forma a compreender a importância do correcto dimensionamento da contribuição das pontes térmicas para o conforto térmico e energético. A avaliação focou-se nas perdas térmicas por estas zonas e analisou também a influência da colocação e espessura do isolamento térmico, na determinação dos gastos térmicos nestes locais.

**Palavras chave:** Pontes térmicas, Conforto térmico, Térmica de edifícios.

## **Abstract**

Nowadays, the thermal bridges issue is one of the main problems of the Portuguese building.

It has been reported that the occurrence of anomalies in these areas is very regular, causing a decrease in comfort and salubrity of the housing. Moreover, the thermal bridges are the preferred points of the fronts for the stress concentration, thus causing abnormalities in addition to also hygrothermal mechanical (like horizontal cracking of the coating and elements of the masonry along the connection, detachment and release of the coating and the gap to the outside zone above the crack).

This paper aims to demonstrate the importance of thermal bridges in the issues of thermal and energy for buildings at the Faculdade de Ciência e Tecnologias (Universidade Nova de Lisboa) campus. Therefore, it was necessary to divide the work into two parts, an experimental and other numerical. This paper focuses on the numerical part. It was resorted to three case studies which represented the evolution of construction practiced in Portugal. In this evaluation we used simulation tools, like BISCO, so the analysis of the thermal bridges identified in buildings were conducted in a very similar way to reality.

This study was conducted in order to understand the importance of proper sizing the contribution of thermal bridges for thermal comfort and energy. The evaluation focused on the thermal loses across these areas and also examined the influence of the placement and thickness of insulation in determining the thermal losses in these locations.

**Keywords:** thermal bridges, thermal comfort, thermal building.

# Índice

Agradecimentos.....	
Resumo.....	i
Abstract .....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objectivos.....	3
1.3 Plano de Trabalhos .....	3
2 ESTADO DO CONHECIMENTO.....	5
2.1 Conceitos fundamentais .....	5
2.2 Processos construtivos e sistemas de isolamento .....	6
2.3 Modos de Transmissão de Calor .....	10
2.3.1 Condução.....	11
2.3.2 Convecção .....	12
2.3.3 Radiação .....	13
2.4 Pontes térmicas.....	14
2.4.1 Conceito.....	14
2.4.2 Anomalias provocadas por pontes térmicas .....	17
2.4.2.1 Condensações Superficiais .....	18
2.4.2.2 Bolores e degradação dos revestimentos.....	19
2.4.3 Correção de Pontes térmicas.....	19
2.5 Enquadramento Normativo .....	21
2.5.1 Directiva Europeia de 2002 - EPBD .....	22
2.5.2 Legislação Portuguesa.....	23
2.5.2.1 Sistema Nacional de Certificação Energética e Qualidade do Ar Interior .....	24
2.5.2.2 Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios .....	24
2.6 Implementação da Directiva Europeia em Portugal – RCCTE actual (Decreto - Lei 80/2006) vs RCCTE antigo (Decreto - Lei 40/90).....	28
2.7 Implementação da EPBD nos diferentes países da União Europeia e quais as causas da sua implantação nos decretos-lei já existentes.....	35
3 ANÁLISE EXPERIMENTAL .....	41
3.1 Casos de Estudo.....	41
3.1.1 Edifício II .....	42
3.1.2 Edifício X .....	42
3.1.3 Edifício VII.....	42
3.2 Descrição dos métodos usados para a análise das pontes térmicas .....	43

3.2.1	Análise termográfica (câmara termográfica).....	43
3.2.2	Método computacional (Programa Bisco).....	44
3.3	Caracterização das pontes térmicas analisadas.....	51
3.4	Análises Realizadas .....	60
3.4.1	Análise comparativa entre o fluxo de calor que se obtém a partir dos valores retirados do programa Bisco e os valores estabelecidos no RCCTE.....	61
3.4.2	Análise da variação dos valores do coeficiente de transmissão térmica consoante a posição e espessura do isolamento térmico no pormenor construtivo.....	63
3.4.3	Análise da variação das perdas de calor, consoante a posição e espessura do isolamento térmico no pormenor construtivo .....	64
4	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	65
5	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	79
5.1	Conclusões gerais .....	79
5.2	Desenvolvimentos futuros .....	80
	BIBLIOGRAFIA.....	81



## Índice de Quadros

Quadro 1 – Atributos dos materiais de isolamento relacionadas com o meio ambiente e com a saúde. Em que + (bom), O (mediano), - (pobre). .....	10
Quadro 2 – Caudais mínimos de ar novo estabelecidos no RSECE.....	27
Quadro 3 – Valores limites dos coeficientes de transmissão térmica, estabelecidos para as diferentes regiões nas quais o País se encontra dividido, nos Regulamentos térmicos de 1990 e de 2006. ....	30
Quadro 4 – Valores máximos estabelecidos pelo Regulamento das Características e do Comportamento Térmicos dos Edifícios de 2006 para as pontes térmicas planas. ....	31
Quadro 5 – Valores dos factores solares máximos admissíveis de vão envidraçados com mais de 5 % da área útil do espaço que servem. ....	32
Quadro 6 – Comparação das temperaturas a garantir nas Estações de aquecimento e arrefecimento nos Decretos –Lei analisados.....	33
Quadro 7 – Classes energéticas .....	34
Quadro 8 – Representação das temperaturas inseridas no programa Bisco. ....	51
Quadro 9 - Quadro com os valores retirados do Programa Bisco para a anomalia do edifício II – Cunhal. ....	53
Quadro 10 - Quadro com os valores retirados do Programa Bisco para a anomalia do edifício II – Ligação da fachada com a laje de cobertura.....	54
Quadro 11 – Quadro com os valores retirados do Programa Bisco.....	56
Quadro 12 – Resultados obtidos na análise da ponte térmica no Programa Bisco.....	58
Quadro 13 - Resultados obtidos na análise da ponte térmica no Programa Bisco. ....	60
Quadro 14 – Tabela com o exemplo dos valores do coeficiente de transmissão térmica linear apresentados no Regulamento térmico Nacional. ....	61
Quadro 15 – Quadro síntese com os valores dos coeficientes de transmissão térmica linear para cada ponte térmica analisada nos três edifícios, para as temperaturas da análise termográfica, temperaturas de referência do RCCTE e os valores tabelados no RCCTE.....	62
Quadro 16 – Valores do fluxo de calor para a ponte térmica referente à ligação da fachada com a laje de cobertura. ....	65
Quadro 17 - Valores do fluxo de calor para a ponte térmica referente ao encontro entre duas paredes verticais - Cunhal. ....	65
Quadro 18 - Valores do fluxo de calor para a ponte térmica referente à ligação da fachada com o pavimento do piso intermédio. ....	66
Quadro 19 - Valores do fluxo de calor para a ponte térmica referente ao encontro entre duas paredes verticais – Cunhal.....	66

Quadro 20 - Valores do fluxo de calor para a ponte térmica referente à ligação da fachada com o pavimento do piso intermédio. ....	66
Quadro 21 – Variação do valor do coeficiente de transmissão térmica linear consoante a espessura – caso da ponte térmica relativa à ligação da fachada com a laje do pavimento.....	69
Quadro 22 - Variação do valor do coeficiente de transmissão térmica linear relativamente ao aumento da espessura do isolante térmico – caso da ponte térmica relativa ao encontro entre duas fachada, cunhal. ....	69
Quadro 23 – Variação do valor do coeficiente de transmissão térmica linear relativamente ao aumento da espessura do isolamento térmico aplicado – caso da ponte térmica alusiva ao encontro entre duas fachadas, cunhal. ....	70
Quadro 24 – Valores do coeficiente de transmissão térmica linear consoante a espessura do isolamento térmico – caso da ponte térmica referente à ligação fachada com pavimento do piso intermédio.	70
Quadro 25 – Valores das perdas de calor obtidos através da variação da espessura do isolamento térmico aplicado – caso da ponte térmica relativa à ligação da fachada com a laje de cobertura.	74
Quadro 26 - Valores das perdas de calor obtidos através da variação da espessura do isolamento térmico aplicado – caso da ponte térmica relativa ao encontro entre duas fachada, cunhal.....	75
Quadro 27 - Valores das perdas de calor correspondentes à variação da espessura de isolamento térmico aplicado – caso da ponte térmica alusiva ao encontro entre duas fachadas, cunhal.....	75
Quadro 28 - Valores das perdas de calor conforme a espessura de isolamento térmico aplicado – caso da ponte térmica referente à ligação fachada com pavimento do piso intermédio. ....	76

## Índice de Figuras

Figura 1 – Efeito das alterações climáticas nos glaciares, ocorridas ao longo do último século. .	1
Figura 2 – Consumos de energia por sector em Portugal.....	2
Figura 3 – Evolução da construção das envolventes em Portugal a) Anos 40, b) Anos 50, c) Anos 60, d) Anos 70, e) Anos 80/90.....	7
Figura 4 – Resistência térmica de materiais isolantes para a construção com 5 cm de espessura .	8
Figura 5 – Cubos analisados. a) Cubo de referência; b) Cubo isolado com poliuretano; c) Cubo com isolamento de lã mineral; d) cubo com isolado com XPS.....	9
Figura 6– Mecanismos de Transmissão de calor.....	11
Figura 7 – Esquema representativo do processo de condução. ....	12
Figura 8-Ponte térmica devido à transição entre diferentes materiais (pilar de betão).....	14
Figura 9-Ponte térmica devido à alteração de espessura. ....	14
Figura 10-Ponte térmica num cunhal. ....	14
Figura 11 – Ponte térmica devido à ligação da laje com a fachada.....	14
Figura 12 - Análise das abordagens relacionados com o modo como as pontes térmicas foram analisadas nos Regulamentos Nacionais (continuação). ....	16
Figura 13 – Análise das abordagens relacionados com o modo como as pontes térmicas foram analisadas nos Regulamentos Nacionais (continuação). ....	17
Figura 14 – Condensações e bolores na zona de pontes térmicas. ....	19
Figura 15 – Isolamento térmico pelo exterior. ....	20
Figura 16 – Estratégias de Reabilitação térmica. ....	20
Figura 17 - Esquema representativo das verificações necessárias nos Regulamentos de 90 (esquema a)) e 2006 (esquema b)). ....	29
Figura 18 – Ponte térmica provocada por um pilar intermédio.....	31
Figura 19 – Ponte térmica devido ao talão de viga. ....	31
Figura 20 – Ponte térmica provocada pela caixa de estore.....	31
Figura 21 – Gráfico com a evolução da emissão de Certificados Energéticos (CE) e de Declarações de Conformidade Regulamentar (DCR).....	33
Figura22 – Gráfico com os valores de Excelência dos seis factores de comparação dos 27 Países da União Europeia.....	38
Figura 23 - Gráfico com os valores da Uniformidade dos seis factores de comparação dos 27 Países da União Europeia.....	38
Figura 24 - Gráfico com os valores de Excelência e de Uniformidade dos seis factores de comparação dos 27 Países da União Europeia. ....	39
Figura 25 – Planta do Campus da FCT. ....	41

Figura 26 – Módulos do edifício II. ....	43
Figura 27 – Exemplo do menu open do programa Bisco . ....	45
Figura 28 – Ecrã do programa com as três janelas a preencher no programa Bisco. ....	46
Figura 29 – Elemento diferencial a ser atravessado pelo fluxo de calor. ....	46
Figura 30 – Esquema da variação térmica do pormenor construtivo analisado. ....	48
Figura 31 – Janela com os valor do fluxo de calor que atravessa o pormenor. ....	49
Figura 32 – Corte no plano XY. ....	50
Figura 33 – Corte tridimensional de um cunhal. ....	50
Figura 34 – Fotografia da ponte térmica analisada cunhal. ....	52
Figura 35 – Imagem termográfica do edifício II. ....	52
Figura 36- Pormenor construtivo da ligação. ....	52
Figura 37 - Imagem da ponte térmica linear do encontro de duas paredes verticais na variação térmica representativa do trabalho de campo realizado ( $\Delta\theta =25 - 10.8$ ). a) Variação térmica obtida para o pormenor representado ; b) Imagem das linhas do fluxo de calor que atravessam a ligação. ....	52
Figura 38 – Fotografia da fachada do edifício. ....	53
Figura 39 – Fotografia termográfica. ....	53
Figura 40 – Pormenor construtivo. ....	53
Figura 41 - Imagem representativa da ponte térmica da ligação da fachada com a laje de cobertura na variação térmica representativa do trabalho de campo realizado ( $\Delta\theta =25 - 10.8$ ). a) Variação térmica obtida para o pormenor representado ; b) Imagem das linhas do fluxo de calor que atravessam a ligação. ....	54
Figura 42 - Fachada do Edifício VII – Ponte térmica linear de ligação da fachada com o pavimento do piso intermédio e ligação entre as duas fachadas – Cunhal. ....	55
Figura 43 – Imagem termográfica da ponte térmica. ....	55
Figura 44 – Pormenor construtivo. ....	55
Figura 45 - Imagem expressiva da ponte térmica mista verificada na análise do edifício VII – Ligação fachada com pavimento do piso intermédio e presença do talão de viga – Para a variação da temperatura observada na análise termográfica efectuada ( $\Delta\theta =14,1-7.3$ ). a) Variação térmica verificada para o pormenor analisado; b) Esquema representativo das linhas de fluxo que atravessam o pormenor. ....	56
Figura 46 - Ponte térmica linear da ligação entre duas fachadas e da ligação entre o pavimento e a fachada, observada pelo interior do Edifício VII. ....	57
Figura 47 – Fotografia termográfica do cunhal analisado do edifício VII. ....	57
Figura 48 – Pormenor construtivo. ....	57
Figura 49 - Imagem representativa da ponte térmica linear do encontro de duas paredes verticais na variação térmica representativa do trabalho de campo realizado ( $\Delta\theta =14.1-7.3$ ). a) Variação térmica	

obtida para o pormenor representado ; b) Imagem das linhas do fluxo de calor que atravessam a ligação. ....	57
Figura 50 - Fachada Sul do Edifício X demonstrativa da ponte térmica da ligação da fachada com os envidraçados.....	58
Figura 51 – Fotografia termográfica da ligação da fachada com os envidraçados.....	58
Figura 52 - Ponte térmica linear demonstrativa da ligação da fachada com o piso intermédio do Edifício X, observada pelo interior deste. ....	59
Figura 53 – Fotografia termográfica da ligação observada no edifício X, da ponte térmica analisada. ....	59
Figura 54 – Pormenor construtivo.....	59
Figura 55 - Imagens relativas à ponte térmica linear da ligação da fachada com o pavimento do piso intermédio no que se refere à variação da temperatura registada no trabalho de campo realizado ( $\Delta\theta = 17.3-10.4$ ). a) Imagem da variação térmica obtida ao longo do pormenor; b) Imagem representativa das linhas de fluxo que atravessam a ligação dos elementos construtivos.....	60
Figura 56 – Gráfico demonstrativo da evolução dos valores do coeficiente de transmissão térmica linear para os diferentes tipos de isolante referente ao pormenor construtivo do edifício II – ligação cobertura com a fachada.....	63
Figura 57 – Gráfico com os fluxos de calor para cada edifício, obtidos através dos coeficientes de transmissão térmica linear calculados (Bisco) e tabelados (RCCTE). ....	67
Figura 58 - Gráfico com os fluxos de calor para cada edifício, obtidos através dos coeficientes de transmissão térmica linear calculados com temperaturas de referência (Bisco) e tabelados (RCCTE). ....	68
Figura 59 – Pormenor construtivo com isolamento pelo interior do edifício II. ....	71
Figura 60 – Pormenor construtivo com isolamento pelo exterior do edifício VII.....	71
Figura 61 – Gráfico demonstrativo da variação do coeficiente de transmissão térmica linear consoante a espessura do isolamento térmico do edifício II. ....	71
Figura 62 - Gráfico demonstrativo da variação do coeficiente de transmissão térmica linear consoante a espessura do isolamento térmico do edifício VII. ....	71
Figura 63 – Pormenor construtivo com isolamento pelo exterior do edifício VII.....	72
Figura 64 – Pormenor construtivo com isolamento pelo interior do edifício II.....	72
Figura 65 - Gráfico demonstrativo da variação do coeficiente de transmissão térmica linear consoante a espessura do isolamento térmico do edifício II cunhal.....	73
Figura 66 - Gráfico demonstrativo da variação do coeficiente de transmissão térmica linear consoante a espessura do isolamento térmico do edifício VII cunhal.....	73
Figura 67 – Imagem com as zonas críticas do cunhal do edifício II aquando da aplicação de isolamento pelo exterior.....	73

Figura 68 – Imagem demonstrativa da dispersão das linhas de fluxo aquando da aplicação de isolamento pelo interior.....	74
Figura 69 – Gráfico demonstrativo da variação das perdas térmicas consoante a posição e espessura do isolamento térmico no edifício II- Ligação fachada – laje de cobertura. ....	76
Figura 70 - Gráfico demonstrativo da variação das perdas térmicas consoante a posição e espessura do isolamento térmico no edifício II- Ligação fachada com fachada – cunhal.....	76
Figura 71 - Gráfico demonstrativo da variação das perdas térmicas consoante a posição e espessura do isolamento térmico no edifício VII- Ligação fachada com fachada – cunhal.....	77
Figura 72 - Gráfico demonstrativo da variação das perdas térmicas consoante a posição e espessura do isolamento térmico no edifício VII- Ligação fachada com laje de piso intermédio.....	77
Figura 73 – Gráfico com a comparação das perdas térmicas verificadas na ponte térmica referente a um cunhal, em ambos os edifícios, com o aumento da espessura do isolamento.....	78

## **Abreviaturas**

OCDE – Operação de cooperação e desenvolvimento económico

DGEG – Direcção geral de energia e geologia

AQS – Sistemas de aquecimento de água

URE – Utilização racional de energia

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e Qualidade do Ar Interior

ASIEPI - Projecto Europeu de Energia Inteligente (Project. Intelligent Energy Europe)

APICER – Associação Portuguesa de Indústria Cerâmica

ETICS – Sistemas de Isolamento Térmico pelo Exterior (External Thermal Insulation Composite System)

XPS - Isolamento térmico em espuma rígida poliestireno extrudido

EPS – Isolamento térmico de poliestireno expandido

PU – Espuma de poliuretano

EPBD – (Directiva relativa ao Desempenho Energético de Edifícios) Energy Performance of Buildings Directive

ADENE – Agência para a energia

INE – Instituto Nacional de Estatística

OMS - Organização Mundial de Saúde

QAI – Análises à qualidade do ar interior

AVAC - Sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CE – Certificado Energético

DCR – Declaração de Conformidade Regulamentar

CEN – Comité Europeu de Normalização (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION)

MS – DOS – sistema de disco operacional da MicroSoft (MicroSoft Disk Operating System)

## **Simbologia**

$\lambda$  – Condutibilidade térmica (W/m·C);

Q – Perda de calor por convecção;

h – Constante de proporcionalidade (W/m<sup>2</sup>·C)

S – Área da secção transversal (m<sup>2</sup>);

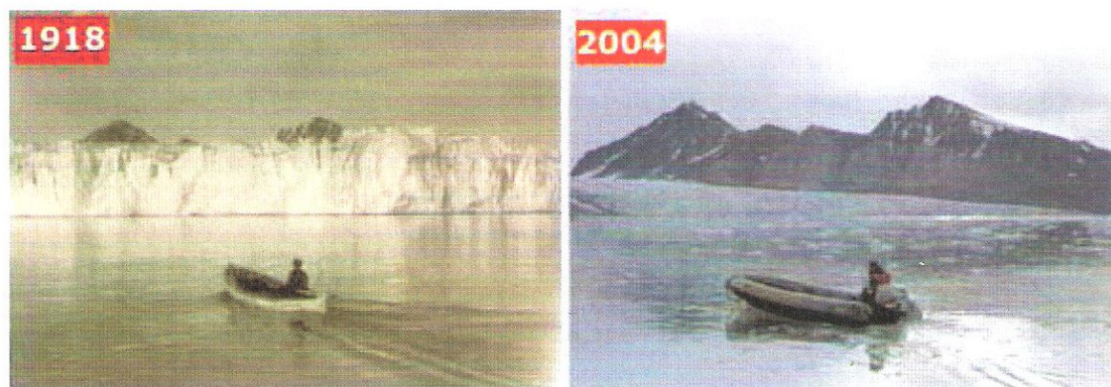
$\theta_s$  – Temperatura da superfície( °C);  
 $\theta_f$  - temperatura do fluído ( °C);  
Q – Perda de calor por radiação  
S – Área da superfície em análise (m<sup>2</sup>);  
T – Temperatura absoluta (K).  
E – Poder emissivo (W/m<sup>2</sup>)  
fRsi – Factor de temperatura das superfícies interiores  
 $\Psi$  – Coeficiente de transmissão térmica linear  
CO<sub>2</sub> - Dióxido de carbono  
Nic – Necessidades nominais de energia útil de aquecimento (kWh/m<sup>2</sup>.ano);  
Ni – Necessidades nominais de energia útil de aquecimento para as condições de referência (kWh/m<sup>2</sup>.ano);  
Nvc – Necessidades nominais de energia útil de arrefecimento (kWh/m<sup>2</sup>.ano);  
Nv – Valor limite para as necessidades nominais de energia útil de arrefecimento (kWh/m<sup>2</sup>.ano);  
Nac – Necessidades nominais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias (kWh/m<sup>2</sup>.ano);  
Na – Valor limite para as necessidades nominais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias (kWh/m<sup>2</sup>.ano);  
Ntc – Necessidades globais nominais de energia primária (kgep/m<sup>2</sup>.ano);  
Nt - Valor limite para as necessidades globais nominais de energia primária (kgep/m<sup>2</sup>.ano);  
U - Coeficiente de transmissão térmica (W/m<sup>2</sup>. °C);  
I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub> – Zonas climáticas correspondentes ao Inverno, em que o país se encontra dividido  
V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub> - Zonas climáticas correspondentes ao Inverno, em que o país se encontra dividido  
Q – fluxo de calor (W)  
B – Dimensão linear (m);  
 $\theta_i$  – Temperatura do ambiente interior ( °C);  
 $\theta_e$  – Temperatura do ambiente exterior ( °C).  
 $\Delta\theta$  - Diferencial térmico ( °C)  
U<sub>x,z</sub> – Coeficiente de transmissão térmica da envolvente na direcção x, que estabelece a ponte térmica analisada (W/m<sup>2</sup>. °C);  
U<sub>y,z</sub> – Coeficiente de transmissão térmica da envolvente na direcção y, que estabelece a ponte térmica analisada (W/m<sup>2</sup>. °C);  
I<sub>x</sub> e I<sub>y</sub> – Comprimento dentro do modelo bidimensional a qual o U se aplica (m).  
L<sup>2D</sup> – Coeficiente térmico obtido através de calculo a duas dimensões



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento

Actualmente é visível que o Planeta Terra sofre um aquecimento global não natural, devido ao crescente aumento de gases de efeito estufa, sendo o principal o dióxido de carbono. Este gás provém principalmente da queima de combustíveis fósseis e da produção de cimento (R. Korhonen & I. Savolainen, 1999 e Gore, Al,2006). Um dos principais motivos da existência de elevados níveis de concentração de dióxido de carbono no planeta é a crescente desflorestação que este tem vindo a sofrer, provocando o aumento do aquecimento. No entanto, o impacto deste não é igual em todo o Planeta, sendo mais sentido no Ártico, o que origina uma subida da temperatura média, de cerca de duas vezes mais do que no resto do mundo. Como causa deste aumento de temperatura, os glaciares do Ártico têm vindo a desaparecer cada vez mais (Figura 1.1), o que provoca alterações no resto do planeta. Devido ao aumento do nível das águas provocado pelo descongelamento dos glaciares, vários países encontram-se sujeitos a desaparecer, como é o caso da Holanda.



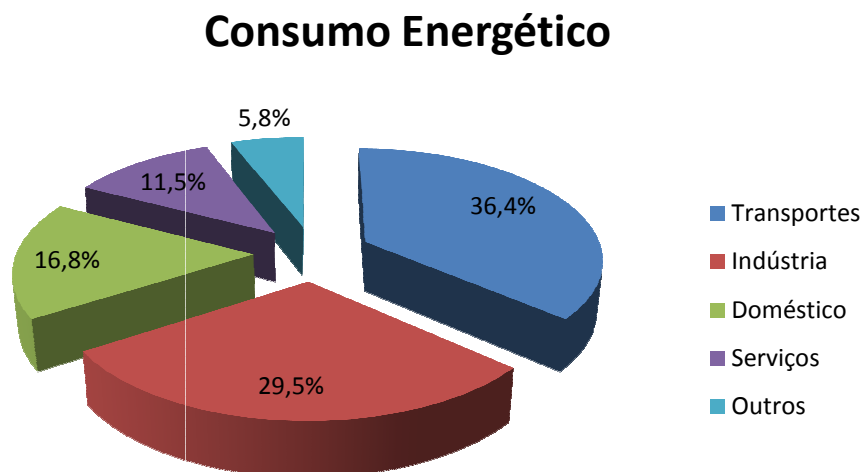
**Figura 1 – Efeito das alterações climáticas nos glaciares, ocorridas ao longo do último século; fonte: Gore,2006.**

O crescente aumento do dióxido de carbono na atmosfera e da desflorestação do Planeta encontra-se relacionado com o aumento do desenvolvimento das tecnologias e das exigências de conforto e qualidade de vida do ser humano. Exemplos disso são países como a China ou a Índia que, apesar de serem países em desenvolvimento, são responsáveis por cerca de 50 % das emissões. Como tal, um dos principais responsáveis pela produção de dióxido de carbono é o sector energético, sendo a combustão de resíduos fósseis responsável pela produção de cerca de 80% de dióxido de carbono, de 2,7 % de metano e de 1,1% de emissões de óxido nitroso em países da OCDE. Este excessivo consumo energético pode ser diminuído através do recurso a energias renováveis e de um melhoramento da eficiência das construções e das produções dos edifícios. Ao analisar-se os edifícios de uso residencial da União Europeia, repara-se que estes são responsáveis por mais de 40 % do consumo final de energia que representa cerca de 63% do consumo total de energia no sector dos edifícios (Poel et al.,2007).

Ao longo dos anos, a qualidade da construção e do conforto associado aos edifícios tem sofrido um aumento exponencial. Nos dias de hoje, o consumidor encontra-se cada vez mais exigente pois, para além de satisfazer as necessidades básicas, pretende outro tipo de conforto (aquecimento e arrefecimento) e pretende perder o menor tempo possível nas tarefas domésticas, recorrendo por isso a diferentes equipamentos eléctricos. No entanto, toda esta comodidade, a que o cidadão da actualidade está acostumado, vem associada a um custo, tanto monetário, como um custo nocivo que afecta directamente o meio ambiente. Assim, o recurso a todos estes equipamentos eléctricos, que é a

principal causa do aumento do consumo energético, conduz ao esgotamento das reservas de combustíveis fósseis.

Em Portugal verifica-se que os sectores mais nocivos pelo aumento do consumo que implicam são os transportes, sendo responsáveis por 36,4% e a indústria por 29,5%. Os restantes sectores, comparativamente aos consumos dos anteriores, apresentam valores mais baixos (Figura 1.2), sendo de 16,8% no Doméstico, 11,5% nos Serviços e 5,8% nos outros sectores (onde se inclui a Agricultura, Pescas, Construção e Obras Públicas) (DGEG, 2008).



**Figura 2 – Consumos de energia por sector em Portugal; fonte: DGEG,2008.**

Como tal, é necessário que haja um controlo dos equipamentos usados em cada sector, por forma a moderar os consumos destes e assim melhorar a eficiência energética deles. No entanto, no sector doméstico, os consumos energéticos seguem a seguinte distribuição: confecção de alimentos e nos aquecimentos das águas sanitárias (AQS) 50%, iluminação e electrodomésticos 25% e aquecimento e arrefecimento 25%. Estes números evidenciam o peso significativo dos consumos no aquecimento das AQS, assim como os consumos com base em energia eléctrica, traduzindo a necessidade de actuar nestas duas vertentes com medidas de utilização racional de energia (URE). O vector da climatização representa apenas 25%, mas com uma taxa de crescimento elevada, devido à maior exigência no conforto térmico. O aquecimento e arrefecimento representam uma terceira vertente de intervenção, a qual deverá ser acautelada através do RCCTE (DGEG, 2008).

Assim sendo, por forma a minimizar os gastos energéticos, os equipamentos de energias renováveis, como colectores de água, painéis solares, entre outros, estão a ser cada vez mais a ser aplicados nos edifícios. Além disso, existem em Portugal dois regulamentos que têm como função minimizar os custos energéticos e aumentar o conforto habitacional sendo eles o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE) e o Regulamento das Características de Comportamento térmico dos Edifícios (RCCTE).

Da análise destes dois regulamentos entende-se que existe uma ligação directa entre o consumo energético e a aplicação de isolamento térmico nos edifícios. O uso deste material nos edifícios, se bem aplicado, permite que ocorra um controle/diminuição do consumo de energia para a climatização dos espaços. No entanto, é necessário que este seja aplicado por forma a que as zonas de heterogeneidades dos edifícios, pontes térmicas, não permitam que ocorra troca de calor entre o interior e o exterior e vice versa. Para envolventes bem isoladas e para edifícios com maior eficiência energética, a influência das pontes térmicas sobre o consumo de energia tem uma elevada importância. Neste caso, a relação entre o efeito térmico, a ponte térmica e as perdas totais térmicas, aumenta em comparação com os edifícios com má ou insuficiente isolamento térmico, sendo assim possível que o

efeito das pontes térmicas, na procura da eficiência energética, compense ou até ultrapasse, por exemplo, o ganho de energia fornecida por energia solar térmica e a aplicação de colectores de água (Erhorn-Kluttig, H., et al.,2009). Estas zonas deficitárias, para além dos impactos relacionados com as perdas energéticas e, por conseguinte com o consumo energético das habitações, afectam também bastante os espaços, diminuindo o conforto, a salubridade e provocando anomalias e patologias no edifício. São sobre estas zonas heterogénias dos edifícios, pontes térmicas, que a presente dissertação se debruça por forma a cumprir os objectivos apresentados no ponto seguinte.

## **1.2 Objectivos**

A presente dissertação tem como objectivo principal avaliar o impacto das pontes térmicas no conforto térmico dos edifícios, aplicado ao caso concreto de três edifícios situados no Campus FCT / UNL.

Pretende-se que este estudo contribua para um melhor conhecimento da influência das pontes térmicas nos edifícios em geral, conforme as opções construtivas relativas ao conforto térmico das habitações.

Além disso, pretende-se mostrar a importância das pontes térmicas na eficiência energética do edifício, permitindo assim adoptar soluções construtivas mais eficientes e, deste modo, reduzir as necessidades de refrigeração no Verão e de aquecimento no Inverno.

## **1.3 Plano de Trabalhos**

O presente trabalho encontra-se organizado da forma descrita seguidamente.

No capítulo 1, definem-se os objectivos do trabalho, delimita-se o âmbito das investigação e apresenta-se a estrutura do trabalho.

No capítulo 2, apresenta-se um levantamento dos conhecimentos-chave sobre o assunto, nomeadamente modos de transmissão de calor, conceito de ponte térmica, anomalias provocadas por estas e formas de tratamento das pontes térmicas. Realiza-se também um enquadramento normativo sobre a térmica de edifícios.

No capítulo 3, apresentam-se os edifícios analisados e os respectivos pormenores. Descrevem-se os processos usados para a recolha da informação necessária para o seu estudo e apresentam-se os ensaios a realizar.

No capítulo 4, apresentam-se os resultados dos ensaios realizados e efectuam-se as suas análises, por forma a obter as informações sobre as perdas e trocas de calor entre o edifício e o exterior.

Por último, no capítulo 5, são apresentadas as conclusões retiradas dos estudos realizados e propostos alguns temas de desenvolvimentos futuros.



## **2 ESTADO DO CONHECIMENTO**

No presente capítulo pretende-se apresentar conceitos fundamentais que ajudem a um melhor entendimento do tema analisado.

### **2.1 Conceitos fundamentais**

O tema da térmica de edifícios é um assunto que tem vindo a ganhar cada vez mais importância. Para a garantia de um eficaz conforto e comportamento térmico dos edifícios é necessário ter conhecimento das definições de alguns parâmetros, como os coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente, a inércia térmica do edifício ou da fracção autónoma, humidade relativa, o factor de temperatura solar, temperatura do ar e temperatura média radiante.

*Inércia térmica* - A inércia térmica de um edifício ou parte deste edifício é a capacidade que este apresenta de absorver mudanças de temperaturas interiores. Um edifício com forte inércia térmica apresenta uma temperatura interior mais estável, mesmo que tenha grandes variações nos ganhos de calor conseguidas com os ganhos solares provenientes dos envidraçados ou da ocupação do espaço. A inércia térmica depende de:

- Capacidade que os materiais apresentam de armazenar calor quando estão em contacto com o ambiente interior;
- A possibilidade de troca de calor entre os materiais e o ambiente interior;
- O isolamento térmico do edifício (Roulet,2004).

*Humidade relativa* - A humidade relativa consiste na relação entre a quantidade de vapor de água que o ar contém (humidade absoluta) e a quantidade máxima que poderia conter a essa temperatura (limite de saturação). Esta pode ser calculada da seguinte maneira:

$$Hr = \frac{W}{W_s} \times 100 [\%] \quad (2.1)$$

Em que:

W - humidade absoluta ( $\text{g}/\text{m}^3$ )

Ws - limite de saturação ( $\text{g}/\text{m}^3$ )

Quanto maior o limite de saturação, menor a humidade relativa. Quando a temperatura aumenta, o limite de saturação aumenta e a humidade relativa diminui (Henriques, 1994).

*Coefficiente de transmissão térmica* - O coeficiente de transmissão térmica de um elemento da envolvente é a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa (RCCTE, 2006).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_i + R_{se}} \quad [\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}] \quad (2.2)$$

Em que:

Rsi e Rse - Resistências térmicas superficiais [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ];

$\Sigma Ri$  – Resistência térmica dos constituintes do elemento construtivo [(m<sup>2</sup> . °C)/W];

*Temperatura média radiante* - Corresponde à temperatura média das superfícies opacas visíveis que participam no balanço radiactivo com a superfície exterior do vestuário. Este termo é particularmente difícil de definir com exactidão, quer pela dificuldade em correctamente avaliar os factores de forma, quer pela influência da componente reflectiva (Águas, 2001).

*Factor de Temperatura Superficial* - Entende-se por Factor de Temperatura Superficial o parâmetro adimensional calculado para qualquer ponto da superfície interior analisada, através da expressão seguinte :

$$\mu_s = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (2.3)$$

em que  $\theta_i$ ,  $\theta_e$ ,  $\theta_{si}$  são, respectivamente, a temperatura ambiente interior, a temperatura ambiente exterior e a temperatura superficial interior (Corvacho, 1998). A determinação deste factor é bastante importante pois permite avaliar o risco de condensações superficiais e principalmente o desenvolvimento de bolores. O valor deste factor deve ser o mais baixo possível para evitar o aparecimento das anomalias referidas.

## 2.2 Processos construtivos e sistemas de isolamento

Com entrada em vigor do Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE), novas exigências surgiram, no âmbito do isolamento térmico da envolvente, e foi dada maior atenção à problemática da existência das pontes térmicas na envolvente com as soluções construtivas até então utilizadas. Numa fase temporal inicial, as heterogeneidades já existentes com o sistema tradicional foram agravadas pelo facto de a aplicação prática dos princípios do RCCTE se ter limitado à colocação de um isolante térmico na caixa-de-ar da zona corrente, sem, contudo, ser realizada qualquer actuação nas zonas menos resistentes termicamente. Esta tendência aumentou significativamente a discrepância entre as resistências térmicas dos vários constituintes da envolvente e até agravou o fenómeno de ponte térmica, mantendo-se durante alguns anos, e ainda agora, nos hábitos construtivos.

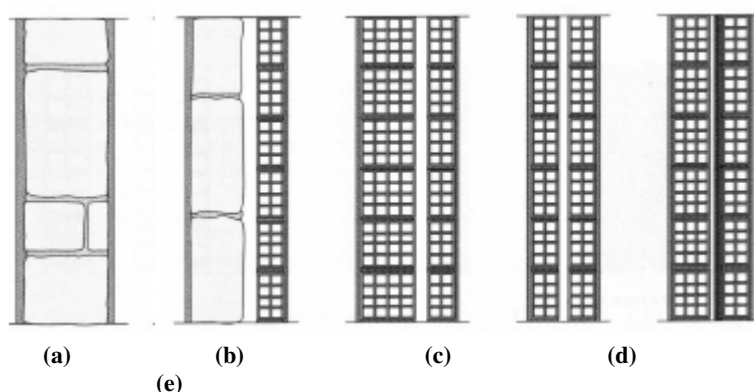
Ao longo dos anos, as construções em Portugal têm sofrido várias mudanças (Figura 3). Nos anos 50, a construção era baseada num sistema de pilares e no reforço, com aço, das vigas de betão. Na década de 60, esse sistema tinha mudado, uma vez que cerca de 99% dos casos construídos apresentavam:

- Estrutura: Pilares e vigas de betão armado;
- Paredes exteriores: A existência de dois panos de paredes de tijolo com espaço vazio entre ambos (caixa de ar). Esta solução continuou a ser bastante usual
- Envidraçados: O material das caixilharias das janelas era em madeira, passando a ser em alumínio com o avanço dos tempos e das tecnologias construtivas.
- Coberturas: Coberturas inclinadas e/ou planas (principalmente a Sul). Até à década de 80, o padrão das coberturas consistia em coberturas ventiladas com telha cerâmica aplicada sobre uma estrutura de madeira, sem qualquer isolamento.

Mais recentemente, quanto às paredes exteriores, aplica-se o isolamento térmico na cavidade entre os panos o que é uma técnica assídua e característica dos edifícios no final dos anos 80. Quanto aos envidraçados, chegados a meados da década de 90, estes começaram a ser comercializadas em PVC e as janelas passaram a apresentar pano duplo com espaço de ar entre cada vidro, aumentando assim o conforto nas habitações. Já no que diz respeito às coberturas, actualmente, a pendente destas é executada com recurso a vigas em “T”, pré-esforçadas, e em blocos cerâmicos, lajes, constituindo um

novo espaço não ventilado (Sótão). Após o início dos anos 90, a maioria das coberturas já apresentava uma camada de isolante térmico (Bragança et al., 2007).

Ao analisar-se as construções portuguesas no início dos anos 90, verificou-se que o principal problema existente consistia nos baixos valores de isolamento térmico e nos insuficientes isolamentos acústicos. Relativamente aos baixos valores de isolante térmico, concluiu-se que estes se encontravam relacionados com os elevados valores de coeficientes de transmissão térmica  $U$  das envolventes. Cerca de 80% das unidades residenciais, construídas no início dos anos 90, não apresentavam isolamento térmico e as caixilharias dos envidraçados apresentavam vidros simples e uma elevada permeabilidade ao ar (isolamento acústico deficiente). O precário isolamento acústico, proveniente de falhas nas caixilharias, viria a apresentar melhorias significativas após a publicação do Regulamento Térmico em 1991 (Bragança et al., 2007).



**Figura 3 – Evolução da construção das envolventes em Portugal a) Anos 40, b) Anos 50, c) Anos 60, d) Anos 70, e) Anos 80/90; fonte: APICER,1998.**

Em 1624 Sir Henry Wotton definia como qualidades essenciais num edifício, a firmeza, a comodidade e a beleza. Actualmente, estas propriedades continuam a ter uma importância primordial, embora aquela declaração de Sir Henry Wotton pudesse ter hoje outra leitura como mostram estudos mais recentes: “um edifício deve ter estabilidade estrutural, durabilidade, deve ser funcional, garantir aos seus utilizadores um ambiente de conforto e comodidade, e ser ainda economicamente ajustado, para além de que deve ser também agradável do ponto de vista estético (Fritchen & Tredway, 1998). Face ao referido por Fritchen & Tredway (1998), as soluções mais utilizadas, por forma a melhorar eficientemente as condições habitacionais, em termos de térmica e acústica, em Portugal, encontram-se relacionadas com a aplicação de Sistemas de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS); fachadas ventiladas e a aplicação de vidros duplos e caixilharias com baixa permeabilidade ao ar (Bragança et al., 2007).

O recurso a isolamento térmico, com espessuras e camadas eficientes, por forma a melhorar o conforto térmico, é uma solução eficaz e barata em termos de poupanças futuras relacionadas com problemas que poderiam advir de inadequadas construções.

No entanto, existem no mercado inúmeros isolamentos térmicos, sendo uns mais eficientes que outros, e que apresentam níveis térmicos mais adequados. No exemplo da Figura 4, é possível observar o que foi referido, nomeadamente em termos de resistência térmica dos isolantes, comparativamente à resistência térmica de uma parede de betão.

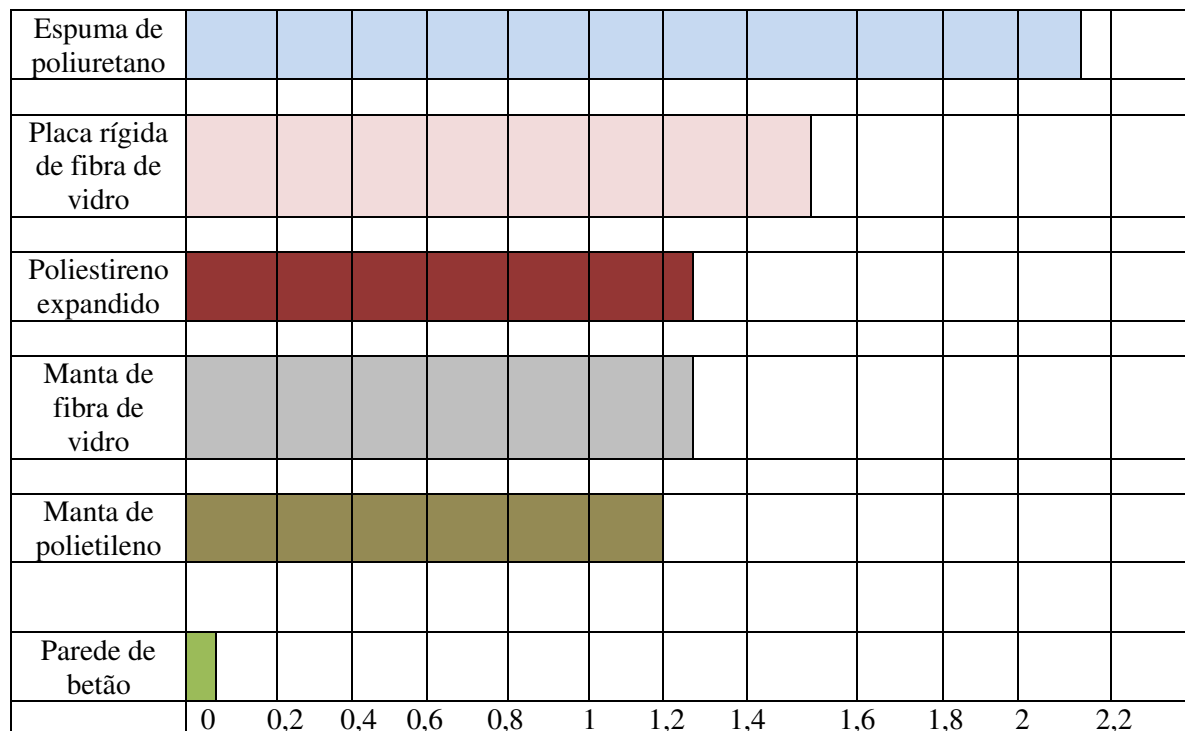


Figura 4 – Resistência térmica de materiais isolantes para a construção com 5 cm de espessura; fonte: Al-Homoud, 2005.

Neste caso, verifica-se que o poliuretano em espuma apresenta o melhor resultado, apresentando as mantas de Polietileno um dos piores.

Diferentes estudos foram realizados por forma a averiguar a importância do isolamento na térmica dos edifícios. Um desses casos refere-se à investigação efectuada em Puigverd de Leida, Espanha, por Cabeza et al, em 2009. Estes aplicaram diferentes isolamentos térmicos, nas faces exteriores (figura 5) de quatro cubos ( 2,4x2,4x2,4 m ) construídos para o estudo. O estudo teve início na Primavera de 2007, quando os cubos foram construídos, e foi finalizado no Inverno de 2009. Cada um foi construído por: pano exterior revestido com argamassa de cimento, tijolo vazado de 7 centímetros, espaço de ar de 5cm e pano interior com tijolo perfurado rebocado de 14 centímetros, não apresentando qualquer janela e tendo apenas uma porta virada para Norte (num deles não se colocava isolamento, servindo assim de referência). A cobertura era constituída por dupla membrana asfáltica, argamassa de cimento, isolamento térmico, vigas pré-moldadas de betão e laje de betão. Para o ensaio foram usados diferentes isolamentos, sendo eles XPS, poliuretano e lã mineral.





**Figura 5 – Cubos analisados. a) Cubo de referência; b) Cubo isolado com poliuretano; c) Cubo com isolamento de lã mineral; d) cubo com isolado com XPS; fonte: Cabeza et al, 2009.**

Após a realização da experiência, conclui-se que os cubos com a aplicação de isolamento representam uma melhoria significativa em termos de consumo de energia, sendo os melhores resultados os do cubo isolado com poliuretano. O resultado porém pode ter sido afectado pela modo de aplicação do isolamento pois, ao observar a figura 5, verificamos que a aplicação de poliuretano foi feita em todo o cubo, enquanto que para os outros isolantes, o mesmo modo de aplicação não se repetiu.

A avaliação do consumo de energia foi feita tendo por base os seguintes parâmetros: temperatura interior da parede (Este, Oeste, Norte, Sul, telhado e pavimento) e também a temperatura da parede exterior Sul; temperatura ambiente e humidade interna (a uma altura de 1,5 m); fluxo de calor na parede Sul (interior e exterior) e consumo de energia eléctrica do ar condicionado ou do aquecedor eléctrico; radiação solar e, por último, a temperatura exterior e humidade. Este resultado vem ao encontro do observado no estudo efectuado por Al-Homoud em 2005.

Outro dos aspectos interessantes a estudar consiste numa análise, não só à térmica, mas também a outras propriedades importantes que um isolante deve apresentar (como por exemplo, resistência à humidade, isolamento acústico, resistência ao fogo, atributos térmicos entre outros – quadro 1). Assim, um isolante que oferece boas avaliações nestes campos, vem favorecer, não só a térmica, mas também o combate a eventuais acidentes (fogos, humidades, condensações superficiais).

**Quadro 1 – Atributos dos materiais de isolamento relacionadas com o meio ambiente e com a saúde. Em que + (bom), O (mediano), - (pobre); fonte: Papadopoulos, 2004.**

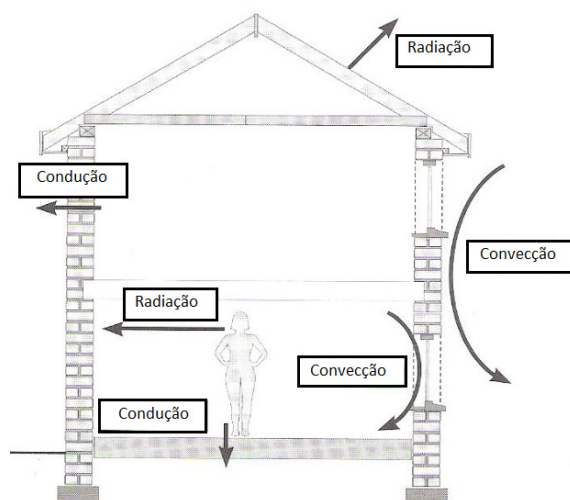
	Fibras Inorgânicas		Espumas Orgânicas		
	Lã vidro	Lã rocha	EPS	XPS	PU
Atributos térmicos	O	O	O	O	+
Resistência à humidade	O/+	O/+	O	+	+
Resistência à Pressão	-	O/+	+	+	+
Prova Som	+	+	O	-/ O	-/ O
Reacção ao Fogo	+	+	O	O	-/ O
Toxicidade em caso de incêndio	NA	NA	O	O	-

### 2.3 Modos de Transmissão de Calor

O estudo e a previsão do comportamento dos edifícios, quando submetidos às diferentes acções que o sujeitam, é um assunto que necessita um elevado conhecimento no que se refere ao modo de propagação do calor através dos seus elementos da envolvente, uma vez que são estes (paredes, pavimentos e cobertura) que apresentam uma maior exigência no que se refere à protecção térmica “indispensável à satisfação das exigências de conforto térmico com um mínimo de dispêndio de energia” (ITE 12, 1982). Assim sendo, a análise do comportamento dos edifícios tem como base as leis e os princípios básicos da termodinâmica que indicam que:

- Quando ocorre uma diferença de temperatura provocada pela transferência de energia de um elemento para outro, está-se perante o processo de transmissão de calor entre dois elementos ou dois pontos do mesmo elemento;
- “Esta transmissão de calor faz-se sempre no sentido do elemento que apresenta a temperatura mais elevada para o elemento que apresenta a temperatura mais baixa, conservando-se a energia; isto é, a quantidade de calor que o elemento com maior temperatura cede, é igual à quantidade que o elemento com menor temperatura recebe” (ITE 12, 1982).

Deste modo, para que um fluxo de energia térmica exista tem que haver sempre uma fonte de calor, manifestando-se a transmissão de calor de três maneiras distintas como mostra a figura 6.



**Figura 6– Mecanismos de Transmissão de calor. Fonte: Marshall, D. & Worthing, D.(2000).**

### 2.3.1 Condução

A condução é um processo de transferência de calor que ocorre tanto nos líquidos, como sólidos e gases, e que se baseia na transferência de energia cinética a nível molecular. No que se refere aos líquidos e sólidos não condutores eléctricos, este mecanismo manifesta-se através de oscilações longitudinais da estrutura molecular. No caso dos metais, a sua transmissão é igual à condução eléctrica (ou seja, directamente proporcional ao movimento livre dos electrões). Nos gases, a condução processa-se através da colisão elástica entre moléculas (ITE 12, 1982).

A condução dá-se nos edifícios, quando existe transferência de energia térmica, por contacto físico entre as moléculas constituintes de um material ou entre os materiais que estejam em contacto. A direcção do fluxo de calor será da zona mais quente para a área mais fria.

A condutibilidade térmica é um factor que é determinado pela capacidade que as moléculas têm para conduzir o calor. O corpo humano é mais sensível ao fluxo de calor do que à temperatura. Vejamos, por exemplo, o caso de uma pessoa que se encontra descalça sobre um pavimento de cimento ou sobre um pavimento de madeira. Nesta situação, a pessoa tem capacidade de se aperceber das taxas de fluxo de calor que atravessam cada material. No caso do pavimento de cimento, a pessoa percebe que ele é mais frio que a madeira e o que acontece é que o calor é transferido do corpo da pessoa para o betão muito mais rapidamente do que no caso da madeira, uma vez que o betão é melhor condutor do que a madeira. Os pavimentos de cimento são menos eficazes termicamente do que os de madeira (Marshall & Worthing, 2000).

A taxa de fluxo de calor em condições de regime permanente, é explicada pela Lei de Fourier, estabelecida em 1882 [equação 2.4]. Esta Lei mostra que o fluxo de calor que atravessa uma dada superfície  $S$  é proporcional ao produto da área atravessada pelo gradiente de temperatura e pela condutibilidade térmica, como mostra a figura 7 (ITE 12, 1982). No entanto, o fluxo de calor será inversamente proporcional ao comprimento ou espessura do objecto.

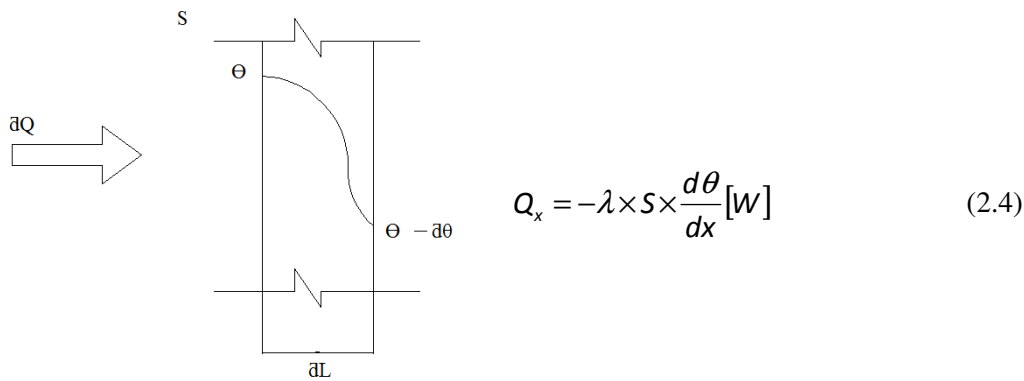


Figura 7 – Esquema representativo do processo de condução.

Em que :

$\lambda$  – condutibilidade térmica (W/m:°C);

$S$  – área da secção transversal (m<sup>2</sup>);

$\frac{d\theta}{dx}$  – gradiente de temperaturas.

### 2.3.2 Convecção

A convecção é outro dos modos de transferência de calor que consiste na transmissão efectuada no interior de um fluido ou gás, ou entre um fluido e uma superfície sólida (ITE 12, 1982). Essa transferência ocorre através da circulação de um fluido, provocada pela gravidade ou outra força.

Nos edifícios, os fluidos em questão são, em geral, o ar e a água. Quando estes entram em contacto com uma superfície mais quente, absorvem o calor e, quando em contacto com uma superfície mais fria, perdem calor. Conforme a temperatura a que se encontra a superfície e o fluido, o movimento deste último é diferente. No caso do fluido apresentar uma temperatura inferior à da superfície, este ostenta uma menor densidade, o que faz com que suba, entrando em contacto com as zonas mais frias da superfície. Ao entrar em contacto com estas, a sua densidade aumenta, o que provoca a sua descida, fazendo-o assim voltar a estar mais próximo dos locais mais quentes da superfície (Marshall & Worthing, 2000).

Devido a existirem diferentes formas de transmissão de calor da superfície para o fluido, é comum fazer-se a separação em dois tipos de transmissão de calor por convecção. A propagação provocada pelos movimentos gravíticos ao redor do objecto em estudo é a convecção livre ou natural. Se o movimento do fluido fosse provocado por um meio externo (um ventilador mecânico, correntes de ar (vento exterior) (ITE 14, 1987) ou uma bomba de ar entre outros), dir-se-ia que a convecção é forçada.

A equação geral que descreve este fenómeno foi estabelecida por Newton em 1701 na forma de :

$$Q = h \times S \times (\theta_s - \theta_f) \text{ (W)} \quad (2.5)$$

Em que:

$h$  – condutância térmica superficial (W/m<sup>2</sup> :°C)

$S$  – área da secção transversal (m<sup>2</sup>);

$\theta_s$  – temperatura da superfície ( °C);

$\theta_f$  - temperatura do fluido ( °C);

### 2.3.3 Radiação

No que se refere à emissão de calor por radiação, esta consiste na sua transmissão através do ar, ou melhor, a partir de um corpo para o outro, por radiação electromagnética (Roulet, 2004). O calor é irradiado e absorvido pelas superfícies que o envolvem sem que o ar seja aquecido. Quando a energia radiada atinge o corpo, uma parte dela é reflectida e outra é absorvida. Os respectivos valores irão variar consoante o material existente e, por exemplo, a cor desse irá desempenhar um papel significativo na determinação da parcela reflectida (Marshall & Worthing, 2000).

A Lei que rege a quantidade de energia radiada por um corpo radiante puro (corpo negro) foi enunciada em 1879, experimentalmente por Stefan e comprovada teoricamente por Boltzman, em 1884, dando assim origem à expressão conhecida na actualidade por Stefan–Boltzman :

$$Q = \sigma \times S \times \theta^4 \text{ (W)} \quad (2.6)$$

Em que:

$\sigma$  – constante de Stefan–Boltzman (  $5,68 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ );

$S$  – área da superfície em análise ( $\text{m}^2$ );

$\theta$  – temperatura absoluta (K).

No entanto, é necessário ter em consideração a porção de calor emitida por unidade de área da superfície. A essa quantidade de calor emitido por unidade de área dá-se o nome de poder emissivo do corpo, sendo dado por:

$$E = \sigma \times \theta^4 \text{ (W/ m}^2\text{)} \quad (2.7)$$

Esta equação estabelece a proporcionalidade entre o poder emissivo de um corpo e a quarta potência da sua temperatura absoluta.

No caso de corpos vulgares, o poder emissivo também é considerado proporcional à quarta potência da temperatura absoluta, sendo expressa uma nova equação para estes corpos :

$$Q = \sigma \times \varepsilon \times S \times \theta^4 \text{ (W)} \quad (2.8)$$

Em que:

$\sigma$  – constante de Stefan–Boltzman (  $5,68 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ );

$S$  – área da superfície em análise ( $\text{m}^2$ );

$\varepsilon$  - emissividade da superfície do corpo;

$\theta$  – temperatura absoluta (K).

## 2.4 Pontes térmicas

### 2.4.1 Conceito

As pontes térmicas são partes da estrutura exterior do edifício onde a considerada resistência térmica uniforme é significativamente alterada (por exemplo, nas juntas estruturais com coberturas, pavimentos, tectos e outras paredes, ou outros pormenores da estrutura exterior do edifício, como esquinas, janelas ou aberturas para portas), resultando numa corrente de calor multidimensional (EN ISO 10211-1,1995). Têm um grande efeito na performance térmica da estrutura exterior do edifício, aumentando significativamente a perda de calor no Inverno e o ganho de calor no Verão(Larbi, A.Ben, 2005).

A temperatura da superfície interior na zona de uma ponte térmica é menor do que no elemento construtivo adjacente, durante o Inverno. A diferença no gradiente da temperatura pode causar condensação e aparecimento de bolor, reduzindo a qualidade do ar no interior (assunto tratado no capítulo seguinte).

As pontes térmicas ocorrem quando o fluxo de calor que atravessa os elementos construtivos deixa de ser unidireccional e passa a ser bidireccional ou tri-direccional, consoante a menor resistência oferecida à passagem do calor.

Esta mudança de direcção do fluxo de calor deve-se à existência de locais que apresentam uma menor resistência térmica, ao longo do edifício. Esta diminui de resistência térmica associada a estas fragilidades na envolvente dos edifícios encontra-se relacionada com a distância entre pontos e a condutibilidade do material, o que significa que o fluxo de calor percorre “o caminho mais curto” que resulta da combinação destes dois parâmetros.Os casos mais comuns são: transmissão entre materiais com diferentes condutibilidades térmicas; alteração na espessura de um elemento; diferenças entre áreas internas e externas (encontro entre paredes – cunhais), entre paredes e pavimentos e entre paredes e tectos (figuras 8 -11).

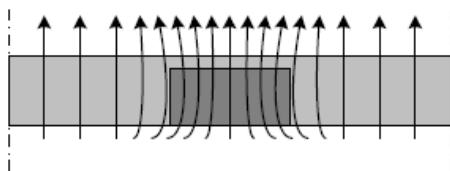


Figura 8-Ponte térmica devido à transição entre diferentes materiais (pilar de betão).

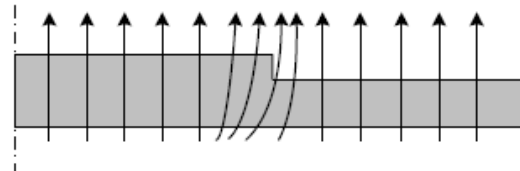


Figura 9-Ponte térmica devido à alteração de espessura.

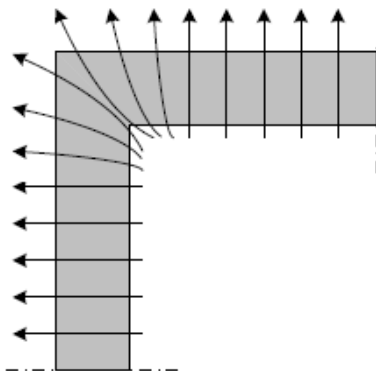


Figura 10-Ponte térmica num cunhal.

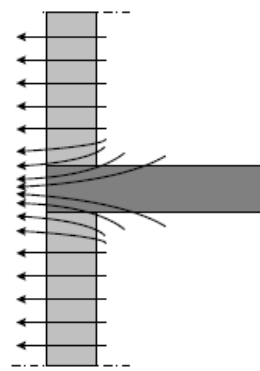


Figura 11 – Ponte térmica devido à ligação da laje com a fachada.

As pontes térmicas apresentadas provocam uma redução das temperaturas superficiais, comparativamente às temperaturas na zona corrente, provocando heterogeneidades e a possibilidade de ocorrência de anomalias, provenientes de condensações.

Diversos autores (Citterio et al., 2009; Larbi, 2005; Abreu, 2004; Janssens et al., 2007) definem os diferentes tipos de pontes térmicas existentes. Citterio et al. (2009) distingue as pontes térmicas em três tipos:

- As que se repetem num elemento de construção civil (construções do tipo estrutura ou moldura). Nestes casos, as pontes térmicas são incluídas no cálculo do valor de U-geral do elemento;
- As que se localizam nas junções de dois elementos de planos diferentes (esquinas e cruzamentos), incluindo janelas e portas, ligação entre a fachada e a cobertura, ligação entre duas fachadas, em que a perda de calor linear (valor  $\Psi$ ) é multiplicada pela extensão da ponte térmica;
- As pontes térmicas isoladas, como varandas, que penetram camadas de isolamento. A perda de calor pontual é multiplicada pelo número de pontes térmicas. No entanto, muitos dos regulamentos nacionais usados para o cálculo das perdas térmicas, não incluem as pontes térmicas isoladas na determinação do desempenho energético do edifício.

No estudo efectuado por Larbi (2005), as pontes térmicas foram divididas em dois grupos distintos, sendo esta divisão a mais empregue nos restantes estudos:

- Pontes térmicas lineares ou 2D que se situam na junção de dois ou mais elementos do edifício e são caracterizados por uma transferência térmica linear (ou valor de  $\psi$  em W/m K);
- Pontes térmicas pontuais ou 3D que se encontram onde uma parede isolada é perfurada por um elemento com uma alta condutibilidade térmica ou onde existem cantos/esquinas tridimensionais. Estas pontes são caracterizadas por um ponto de transmissão térmica (ou valor de  $\chi$  em W/K). Na maioria dos casos, as avaliações estarão limitadas às pontes térmicas lineares mais comuns; os cálculos 3D serão excepcionais.

Todos os estudos realizaram-se por forma, não só a determinar a influência das pontes térmicas na análise e no balanço energético dos edifícios como também a arranjar meios que permitissem que estas não contribuíssem para fracos confortos térmicos. A análise efectuada por Lardi (2005) baseou-se no estudo das pontes térmicas lineares, tendo por base a influência destas no estudo térmico das habitações. Como conclusão, afirmou que o cálculo destas, com recurso a programas computacionais, apresenta menores erros relacionados com o real contributo das pontes térmicas, do que os efectuados com recurso a expressões estabelecidas nos regulamentos.

A análise realizada por Janssens et al. (2007) tinha como objectivo apresentar valores limites de coeficientes de transmissão térmica linear, na zona das pontes térmicas, para assim serem aperfeiçoadas as ferramentas de cálculo das transferências de calor bi ou tridimensional. Esses valores foram determinados com base em diferentes factores como a influência da geometria da ponte térmica e da espessura na transmissão térmica analisada. Janssens et al. (2007) concluíram que o detalhe de certos elementos construtivos é bastante importante, principalmente se se tratarem de cunhais, uma vez que estes são pormenores com bastante influência nas perdas térmicas. Além disso, verificou-se que os valores estabelecidos para o coeficiente de transmissão térmica linear diferem em função da geometria da ponte térmica e da viabilidade técnica dos pormenores.

A investigação de Citterio et al. (2009), efectuada no âmbito do Projecto Europeu de Energia Inteligente (ASIEPI) da União Europeia, realizou-se por forma a avaliar a contribuição dos tipos de perdas térmicas na análise/estudo térmico dos edifícios. A investigação consistiu na análise das abordagens nacionais para a avaliação da qualidade do desempenho energético dos edifícios, na implementação da Directiva do Desempenho Energético dos Edifícios. Aquando da realização deste estudo (que envolveu todos os países da União Europeia), quase todos os regulamentos energéticos dos edifícios dos Estados Membro regulavam as pontes térmicas. No entanto, as medidas de

abordagem e especialmente os requisitos mínimos considerados diferiam bastante uns dos outros. Por forma a facilitar a análise, os países foram divididos em áreas climáticas e geográficas, ficando assim divididos em: Norte da Europa (Dinamarca, Noruega e Finlândia), Europa Central (Bélgica, Holanda, Alemanha, França, Polónia e a República Checa) e Sul da Europa (Grécia, Espanha, Portugal e Itália).

Nas figuras 12 e 13 é possível verificar que todos os países da Europa Central e do Norte da Europa estavam a tratar do problema das pontes térmicas, no que se refere aos edifícios novos. Relativamente aos países do Sul da Europa, isso já não se verificava, dado que, na altura da realização do estudo, a Grécia ainda se encontrava no desenvolvimento do seu Regulamento.

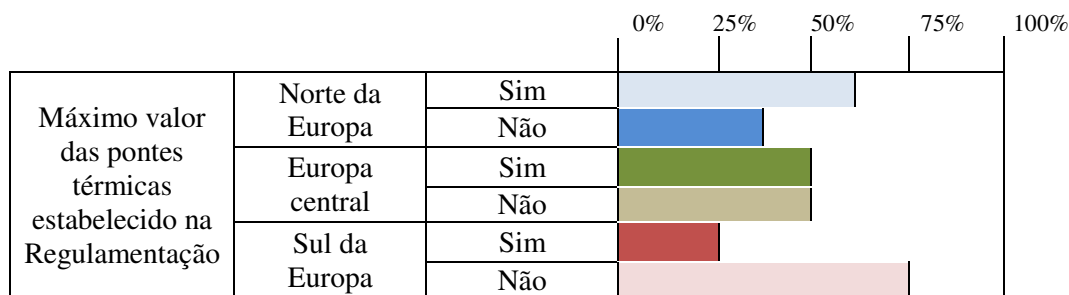
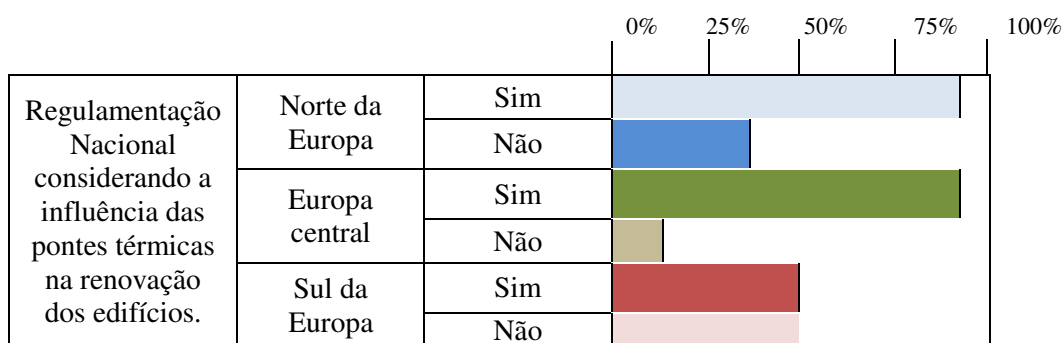
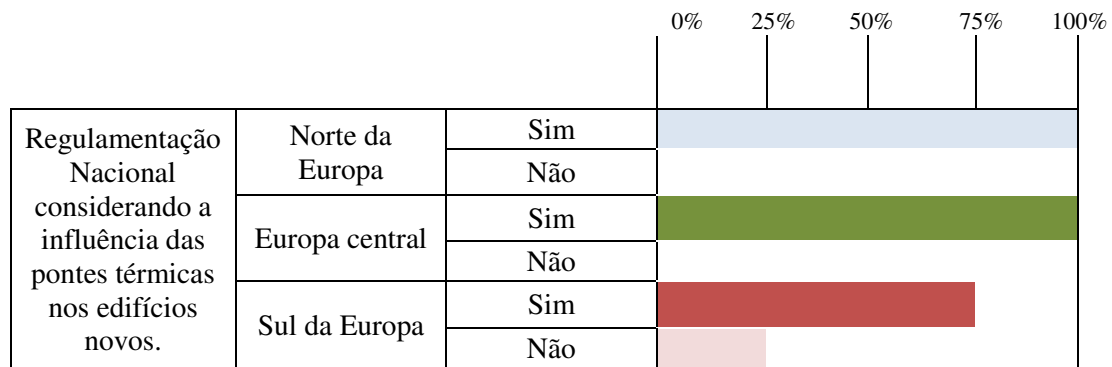
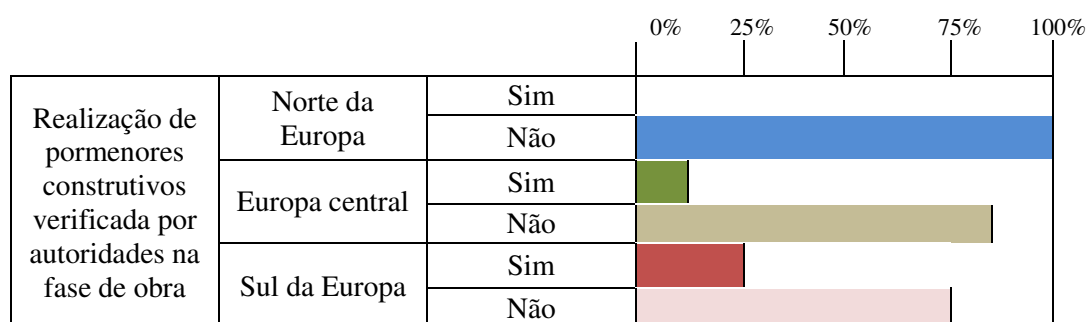
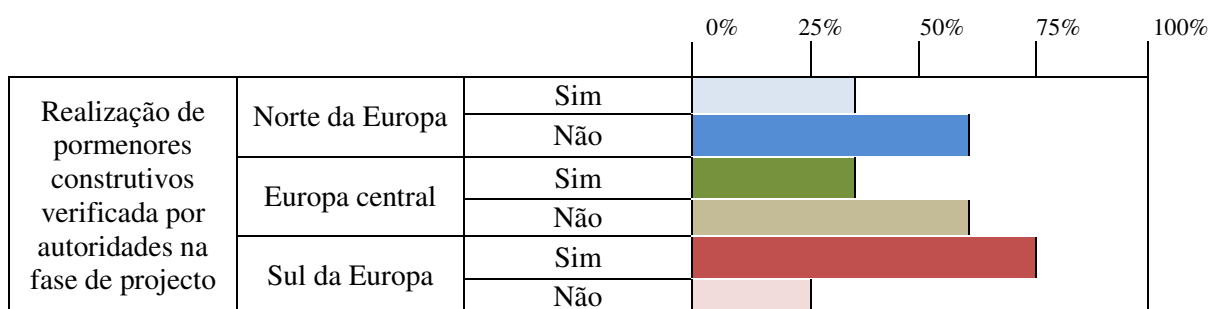


Figura 12 - Análise das abordagens relacionados com o modo como as pontes térmicas foram analisadas nos Regulamentos Nacionais (continuação). Fonte: Citterio et al., 2009.





**Figura 13 – Análise das abordagens relacionados com o modo como as pontes térmicas foram analisadas nos Regulamentos Nacionais (continuação). Fonte: Citterio et al., 2009.**

Na época, o regulamento grego, existente desde 1981, não considerava a análise às pontes térmicas, tendo esse aspecto mudado na regulamentação actual. No entanto, nem todos os países resolveram alargar a questão das pontes térmicas, relativamente ao cálculo do desempenho energético, aquando da reabilitação dos edifícios existentes. Em vez disso, foi dada maior atenção à recolha de informação em medidas simplificativas. Estas são usadas nas três regiões climáticas da Europa, sendo que os Países do Norte e do Sul recorrem mais a estas medidas simplificativas do que a cálculos detalhados, enquanto que no Centro da Europa, ocorre o oposto. Nos países da Europa Central, os regulamentos térmicos apresentam as duas hipóteses de cálculo, simplificativa e detalhada, recorrendo-se mais, no entanto, aos métodos detalhados. No caso da Alemanha, por forma a lidar com o valor máximo das pontes térmicas, recorre-se à determinação do factor adimensional de temperatura, o  $fR_{si}$ , verificando-se assim, a possibilidade de ocorrência de anomalias provenientes destas zonas. Já na Dinamarca e na República Checa, opta-se por adoptar um valor máximo do coeficiente de transmissão térmica linear, consoante o tipo de ligação que se esteja a analisar.

#### 2.4.2 Anomalias provocadas por pontes térmicas

A zona da ponte térmica é um local com baixa resistência térmica, quando comparada à da zona corrente. Nestes locais, o fluxo de calor tem características bi e tridimensionais, fazendo com que a distribuição de temperaturas nas superfícies interiores seja heterogénea. Isto faz com que as temperaturas sejam mais baixas, podendo existir pontos onde estas dêem origem a valores muito desfavoráveis. Devido a estas variações de temperaturas, ao longo da envolvente do edifício, a zona das pontes térmicas é muito favorável ao aparecimento de anomalias. De seguida são apresentadas as principais anomalias causadas por pontes térmicas.

### 2.4.2.1 Condensações Superficiais

O aparecimento de condensações de vapor de água pode surgir devido ao arrefecimento duma massa de ar, quando se atinge o limite de saturação correspondente a uma temperatura (Henriques, 1994).

A presença destas anomalias provoca uma diminuição do conforto e de qualidade de vida nos edifícios.

Efectivamente, é na estação de aquecimento, Inverno, que ocorre o aparecimento destas anomalias, uma vez que as faces interiores das paredes exteriores se encontram a uma temperatura inferior à do meio ambiente (Henriques,1994). No entanto, para que as anomalias, surjam é necessário ainda que as temperaturas das superfícies desçam abaixo da temperatura do ponto de orvalho, fazendo com que o ar atinja o ponto de saturação e dando, assim, origem às condensações.

Assim sendo, é na zona das pontes térmicas que o aparecimento de condensações é mais privilegiado, pois estas são locais onde, comparativamente às áreas correntes, as temperaturas são menores. Caso as temperaturas nas pontes térmicas sejam inferiores às do ponto de orvalho, a probabilidade de aparecimento de condensações é bastante elevada.

É necessário referir que o aparecimento destas anomalias também se deve a outros factores, como por exemplo temperatura interior, exterior, ventilação dos espaços e a produção de vapor de água devida à ocupação dos locais (Straube,2002).

No que se refere às temperaturas interiores e exteriores, estas encontram-se muito dependentes da ocupação e das escolhas construtivas adoptadas. Se numa habitação a temperatura ambiente for reduzida, isso vai fazer com que a temperatura superficial interior da parede seja mais baixa, fazendo com que seja maior a probabilidade de a humidade de saturação surgir com valores menores quando comparados com os da humidade absoluta do ar. Isto provoca, assim, o aparecimento de condensações superficiais. No entanto, as temperaturas interiores das habitações encontram-se associadas ao tipo de solução construtiva adoptada. Conforme a constituição da envolvente, o risco de condensações aumenta ou diminui. A probabilidade de a humidade de saturação ser menor que a humidade absoluta do ar varia dependendo do edifício ser constituído por paredes duplas sem isolamento térmico, ou com isolamento na caixa de ar. A possibilidade de ocorrência de condensações também varia conforme a colocação do isolamento. Se este for colocado pelo interior, o espaço fica com a temperatura mais próxima da exterior, mas neste caso, o estado do isolante encontra-se mais protegido contra o ambiente exterior e danos possíveis. Além disso, a colocação pelo interior provoca o aparecimento de mais pontes térmicas, devido às ligações inevitáveis entre os elementos construtivos, o que origina um aumento de possíveis casos de condensações. Por outro lado, quando a colocação do isolante é feito pelo exterior do edifício, este favorece o arrefecimento no Verão e o aquecimento no Inverno, provocando diferenciais térmicos favoráveis. No entanto, a colocação pelo exterior, embora provoque uma diminuição das pontes térmicas e assim um decréscimo de condensações nesses locais, não tem tanta durabilidade pois encontra-se mais exposto ao ambiente exterior do edifício. Quando colocado no interior da caixa de ar, o isolante provoca uma distribuição equivalente de isolamento no componente aplicado (Mohammad & Al-Homoud, 2005).

Outra das razões que privilegia o aparecimento destas anomalias diz respeito à falta de ventilação das habitações. As pessoas, devido aos hábitos ao desconhecimento ou à falta de informação, evitam que, as suas habitações, as janelas estejam abertas para a troca de ar (durante a estação de aquecimento, Inverno). Assim sendo, se houvesse um melhoramento da ventilação, nos edifícios, isso iria contribuir para que a humidade relativa do ar diminuísse e, assim, a humidade absoluta seria inferior à de saturação, evitando o aparecimento de condensações (Henriques,1994; Corvacho,1996). Este último ponto é bastante relevante no que se refere à produção de vapor de água pelos ocupantes. Se for considerado que o ser humano se encontra sempre a libertar vapor de água, quer em repouso quer em trabalho, e que nas actividades domésticas a produção deste aumenta significativamente, verifica-se que, sem uma correcta ventilação, as habitações tornam-se num local, não só propício ao aparecimento de condensações, mas também de muitas outras anomalias (Henriques,1994).

#### 2.4.2.2 Bolores e degradação dos revestimentos

Como referido na anomalia anterior, uma insuficiente ventilação pode dar origem a condensações e a outro tipo de anomalias. Este é o caso do aparecimento de bolores (Figura 14). A sua manifestação pode ocorrer mesmo que não sejam visíveis as condensações, desde que estejam reunidas as condições essenciais para o seu aparecimento.

Os parâmetros essenciais para o aparecimento de bolores são:

- Presença de oxigénio em quantidades suficientes. Esta será uma condição difícil de alterar pois este gás é essencial, não só para a formação destas anomalias, mas também para a sobrevivência do ser humano;
- Intervalo ideal de temperaturas, isto é, que se verifiquem temperaturas entre 5 °C e 25 °C;
- Existência de nutrientes que constituem a maioria dos revestimentos interiores (Abreu,2004);
- Insuficiente/ausência de luz solar. Este é um aspecto bastante importante pois a formação destes organismos dá-se em locais que a luz solar, por vezes, não alcança, sendo estes, na maioria dos casos, as zonas das pontes térmicas. Este pormenor deve-se também às soluções adoptadas aquando do dimensionamento dos edifícios, uma vez que, por vezes, existem compartimentos onde há zonas que não têm acesso à luz solar (cantos, na sua maioria). Além disso, muitas vezes, esses locais encontram-se com mobiliário, o que evita ainda mais o contacto com qualquer luz que entre na divisão e favorece o aparecimento de bolores (Garston, 1986);
- Precária ventilação.



**Figura 14 – Condensações e bolores na zona de pontes térmicas; fonte: (Garston, 1986).**

#### 2.4.3 Correção de Pontes térmicas

Como Reabilitação Térmica entende-se a actuação na envolvente construtiva, no sentido de melhorar o nível de conforto térmico interior, tornando o edifício mais eficiente energeticamente e diminuindo ou eliminando as patologias resultantes dessa deficiência. (Abreu & Corvacho, 2004).

A melhor forma de tratamento dos problemas provenientes das pontes térmicas consiste na aplicação, de maneira contínua, de isolamento térmico pelo exterior do edifício, fazendo com que não haja descontinuidades de isolamento e, por conseguinte, pontes térmicas (Figura 15).



Figura 15 – Isolamento térmico pelo exterior; fonte: Valério, 2007.

Quando se pretende corrigir apenas a ponte térmica do edifício, é necessário averiguar as anomalias resultantes e daí perceber se será possível adoptar soluções que não impliquem alterar a estrutura construtiva do local para que este problema desapareça (como por exemplo, o reforço da ventilação e de aquecimento do ambiente anterior) (Abreu & Corvacho, 2004). No caso de obras de reabilitação, é necessário ter atenção às soluções construtivas já existentes, o que limita a actuação nesses locais. Assim sendo, existem duas formas de actuação diferentes, baseadas em três princípios-chave que se devem utilizar separadamente ou em conjunto (figura 16).

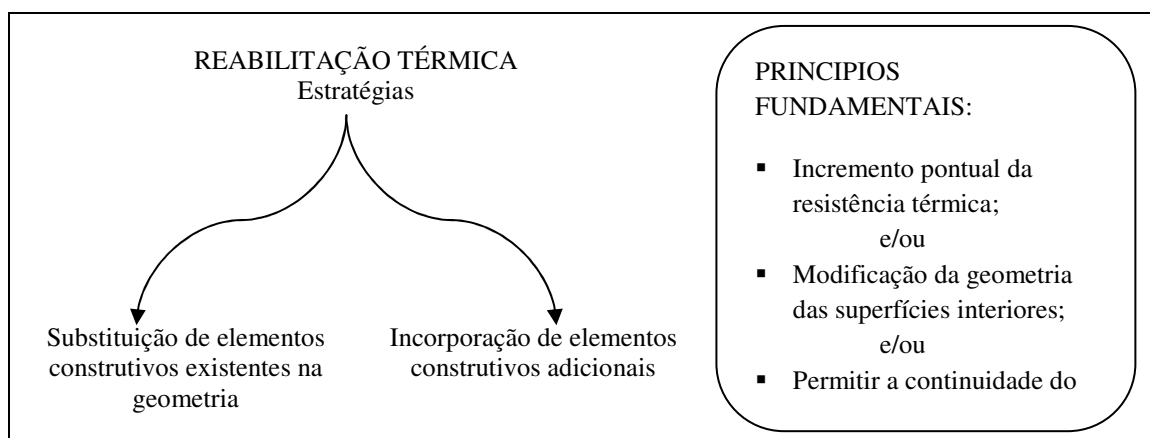


Figura 16 – Estratégias de Reabilitação térmica; fonte: Abreu & Corvacho, 2004.

Nos dois casos, a envolvente pode sofrer alterações, tanto no aspecto, como na sua geometria, sendo que a primeira forma de actuação para a reabilitação é uma estratégia mais dispendiosa, uma vez que implica demolições e posterior reconstrução. A segunda estratégia é economicamente mais vantajosa, mais simples e menos intrusiva.

Ambas as estratégias podem ser aplicadas pelo exterior e interior (exterior com recurso a andaimes e alterações de fachada, pelo interior com recurso a tratamento das anomalias do tipo bolores ou pela colocação de elementos que as ocultem). No interior, apesar de não alterar a envolvente exterior do

edifício, o espaço útil diminui e o aspecto do paramento interior fica condicionado (Abreu & Corvacho, 2004). Ao ser aplicado o isolante térmico pelo interior, este deve ter uma espessura mínima de 2 centímetros (sendo que se for muito grande, pode provocar heterogeneidades; mas se for muito pequeno pode não garantir eficácia (Corvacho, 1996)), diminuindo assim a área interior. Caso se pretenda tratar da zona da ponte térmica sem a colocação da solução adoptada para todo o edifício ou espaço afectado, esta deve ser tratada numa extensão que inclua a zona de influência da ponte térmica. Com a exclusão desta área, a reabilitação da ponte térmica pode provocar a transferência do problema para uma zona imediatamente adjacente, após a incorrecta finalização do tratamento. A extensão necessária depende do tipo de ponte térmica e da solução de isolamento original (Abreu & Corvacho, 2004).

Outra solução que também tem sido alvo de diferentes estudos é a construção de fachadas ventiladas. Segundo os estudos realizados por Abreu em 2004 e Bragança et al em 2007, esta solução confere resultados bastante positivos, tanto na questão térmica, como na acústica. No entanto, esta não tem bastante aplicação, uma vez que o seu custo é bastante elevado. Esta limitação pode, contudo, ser compensada com a sua maior durabilidade e o seu menor custo de manutenção. Analisando esta solução nos seus diferentes aspectos, desempenho económico, funcional e ambiental, comparando-a com os dados técnicos de outras soluções e pesando as diferentes dimensões, de acordo com o local, é possível avaliar a sustentabilidade da fachada ventilada como uma opção para melhorar as fachadas convencionais.

## **2.5 Enquadramento Normativo**

De acordo com as crescentes preocupações ambientais, ocorreu no Japão, em 1997, um encontro com todos os países industrializados do Mundo, por forma a criar-se um acordo onde se estabelecessem índices mínimos de controlo de poluição (produção de CO<sub>2</sub>) que todos os países devessem respeitar. Nesse encontro foi criado o Protocolo de Quioto, no qual foi acordado o seguinte objectivo:

- I. Reduzir os níveis de emissão de gases causadores do efeito estufa em 5.2% em 2012, comparando-se com os níveis de 1990.
- II. Redução obrigatória dos níveis de emissão de gases para os países responsáveis pelo seu aumento e redução facultativa para os países em desenvolvimento.

No entanto, por forma a que este acordo entrasse em vigor e se tornasse num regulamento internacional, seria necessária a adesão de um grupo de países que, juntos, seriam responsáveis por pelo menos 55% das emissões de gases tóxicos. De acordo com o ponto apresentado em II, alguns dos mais ricos países do Mundo recusaram-se a assinar o acordo, uma vez que, apesar de emitirem elevados níveis de gases nocivos para a atmosfera, para o protocolo tinha um carácter obrigatório, enquanto que para os países em desenvolvimento, como o Brasil, Índia e China (também emissores de grandes índices de gases em equidade) este seria apenas facultativo.

Como tal, os Estados Unidos, responsáveis por mais de 35% das emissões de gases, negavam - se a cumprir o acordo se não fossem feitas alterações nas medidas exigidas e, em 2001, retiraram-se definitivamente das negociações. Apesar de existir o Protocolo de Quioto, ele só foi implementado, de facto, em 2004, com a adesão da Rússia, o segundo maior emissor de gases nocivos ao efeito de estufa. Com esta adesão, atingiu-se a percentagem de 55% países poluentes. O acordo entrou efectivamente em vigor em Fevereiro de 2005 (Miguez et al, 2006).

Após o Protocolo de Quioto vários estudos foram realizados com o propósito de averiguar, não só se os países envolvidos teriam executado alguma alteração nas suas regularizações e nas suas produções, mas também qual o custo que resultaria da introdução destas mudanças. Um desses estudos é o de Miguez et al, em 2006. Nesta análise foi verificado se, após as obrigatoriedades impostas pelos objectivos estabelecidos no protocolo, os países da União Europeia teriam realizado alguma mudança.

Deste estudo verificou-se que, a nível regulamentar, os países revelavam-se cientes da necessidade de diminuição da produção de agentes prejudiciais para a atmosfera, tendo realizado alterações nos regulamentos existentes. No entanto ainda não tinham sido implementadas na prática medidas conducentes à real diminuição das emissões.

Outra das investigações realizadas refere-se aos custos necessários para a aplicação das medidas apontadas no protocolo. Este estudo efectuado por Dagoumas et al, em 2006, concluiu que os países iriam ter custos elevados com a implementação destas medidas, se aplicadas apenas com esforços internos. Verificou-se que, se os países da União europeia se ajudassem mutuamente, os custos do cumprimento dos fins estabelecidos em Quioto seriam muito menores.

### 2.5.1 Directiva Europeia de 2002 - EPBD

Tendo como base a proposta de Quioto, em 16 de Dezembro de 2002 foi criada uma Directiva pelo Parlamento Europeu e o Conselho Europeu que impunha a todos os estados Membros da União Europeia a promoção da melhoria do desempenho energético dos edifícios da Comunidade, tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais, bem como as exigências em matéria de clima interior e a rentabilidade económica (DIRECTIVA 2002/91/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO DE 16 DE DEZEMBRO DE 2002). Assim sendo, segundo esta Directiva, ficou acordado que todos os Estados devem respeitar os seguintes requisitos :

- a) Enquadramento geral para a metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios;
- b) Aplicação dos requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios;
- c) Aplicação dos requisitos mínimos para o desempenho energético dos grande edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação;
- d) Certificação energética dos edifícios;
- e) Inspecções regulares de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios e, complementarmente, avaliação da instalação de aquecimento quando as caldeiras tenham mais de 15 anos (DIRECTIVA 2002/91/CE).

Cada Estado Membro fica responsável pelo método usado para a determinação do desempenho energético dos edifícios, definido no regulamento Nacional, podendo estes escolher uma metodologia que abranja todo o país ou um método que divida o país em regiões e, por seguinte, os diferentes métodos usados para a determinação energética de cada uma.

Os Estados Membros, após introduzirem os requisitos anteriores, podem ainda estabelecer uma divisão dos edifícios a analisar, como edifícios novos, existentes e outras categorias, dado que, conforme a classificação realizada, o edifício, para além de cumprir os requisitos obrigatórios, ainda tem que ser submetido a um estudo de viabilidade de implementação de diferentes equipamentos.

No que se refere aos edifícios novos, para além de serem obrigados a satisfazer os requisitos energéticos, ainda teriam de ser submetidos a um estudo da possibilidade técnica, ambiental e económica de sistemas alternativos, isto se, os edifícios apresentarem uma área útil total superior a 1000 m<sup>2</sup>. Os equipamentos a instalar são:

- i. Sistemas descentralizados de fornecimento energético baseados em energias renováveis;
- ii. Co-geração;
- iii. Sistemas urbanos ou colectivos de aquecimento ou arrefecimento, se existirem;
- iv. Bombas de calor, sob certas condições.

Relativamente aos edifícios existentes, a Directiva impõe que os requisitos devem ser implementados quando se realizarem obras de renovação num edifício com uma área útil total superior a 1000 m<sup>2</sup>. Isto

se forem executadas obras no edifício todo e em parcelas/fogos com o objectivo de melhorar o seu desempenho energético global.

No entanto, existem casos em que os Estados Membros têm a possibilidade de não aplicar os requisitos descritos, sendo esses os casos:

- I. Edifícios e monumentos oficialmente protegidos como parte de determinado ambiente ou devido ao seu valor arquitectónico ou histórico especial, quando o cumprimento dos requisitos altere de forma inaceitável o seu carácter ou aspecto;
- II. Edifícios utilizados como locais de culto ou para actividades religiosas;
- III. Edifícios temporários, com um período previsto de utilização máxima de dois anos, instalações industriais, oficinas e edifícios agrícolas não residenciais com necessidade reduzida de energia e edifícios agrícolas não residenciais utilizados por um sector abrangido por um acordo sectorial nacional sobre desempenho energético;
- IV. Edifícios residenciais destinados a serem utilizados durante menos de quatro meses por ano;
- V. Edifícios autónomos com uma área útil total inferior a 50 m<sup>2</sup>.

Independentemente do edifício analisado (edifício novo ou existente), a Directiva indica que deve ser apresentado um certificado do desempenho energético do edifício, com a duração de 10 anos (tanto para a compra, como para o arrendamento). Este certificado é baseado em:

- i. Numa certificação comum de todo o edifício, para edifícios com um sistema de aquecimento comum;
- ii. Na avaliação de outro apartamento representativo no mesmo edifício.

Nesse certificado deverão vir os valores energéticos de referência, os valores regulamentares e os legais, por forma a que seja possível a comparação desses valores pelos futuros utentes do edifício ou fogo. O certificado deve ser acompanhado de recomendações relativas à melhoria do desempenho energético sob condições de rentabilidade económica.

### *2.5.2 Legislação Portuguesa*

Devido à implementação da Directiva Europeia em todos os Estados Membros, foi necessário realizar algumas mudanças relacionadas com os decretos-lei existentes em Portugal, no que toca à construção de edifícios e às suas necessidades energéticas.

Assim sendo, foram desenvolvidas e reajustados/corrigidos três decretos-lei que, no seu conjunto, fazem a transposição da Directiva em Portugal.

Esses decretos-lei irão ajudar a tornar a construção em Portugal mais eficiente, no que toca à quantificação energética (necessidades de energia para o aquecimento e arrefecimento), à introdução de novos equipamentos, de modo a diminuir a poluição e degradação do Planeta e a aproveitar as energias/recursos naturais existentes, melhorando a durabilidade das habitações, assim como o conforto dos seus moradores e utilizadores. Esses decretos-lei são o RCCTE (Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios), o RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios) e o SCE (Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios).

### 2.5.2.1 Sistema Nacional de Certificação Energética e Qualidade do Ar Interior

O Decreto-Lei n.º 78/2006 tem como finalidade transpor a Directiva para o País e identificar a unidade responsável pela garantia da verificação do desempenho energético e da qualidade do ar interior. Segundo o Decreto – Lei, a garantia do desempenho energético e da qualidade do ar interior fica a cargo do Sistema Nacional de Certificação Energética e Qualidade do Ar Interior (SCE) que apresenta como principais finalidades:

- I. Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e no Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização do Edifícios (RSECE);
- II. Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;
- III. Identificar as medidas correctivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior. (DECRETO – LEI N.º 78/2006)

Segundo o Decreto – Lei, o Sistema Nacional de Certificação Energética e de Qualidade do Ar Interior (SCE) é responsável pela emissão do certificado energético dos edifícios construídos após 2006 e os edifícios reabilitados para arrendamento ou compra. É ainda responsável por realizar as inspecções periódicas a caldeiras e a sistemas e equipamentos de ar condicionado, nos termos do RSECE, e emitir o respectivo certificado, registando-o na ADENE, nos termos previstos na alínea anterior.

Por forma a obter um melhoramento das construções actuais, é necessário que, além do cumprimento das normas estabelecidas no regulamento, sejam aplicados os princípios básicos da construção, isto é, uma correcta montagem dos elementos construtivos, com os correctos materiais e com a mão-de-obra correcta para o seu posicionamento. Como tal, foi criado o Decreto Lei n.º4/2007, de 8 Janeiro.

### 2.5.2.2 Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

Outro dos Decretos – Lei que vieram provocar um significativo melhoramento do parque habitacional em Portugal, foi o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE).

Este Regulamento apresenta quatro objectivos-chave que se devem cumprir por forma a melhorar o Regulamento anterior:

- Definir as condições de conforto térmico e de higiene que devem ser requeridas (requisitos/exigências) nos diferentes espaços dos edifícios, em consonância com as respectivas funções;
- Melhorar a eficiência energética global dos edifícios, não só nos consumos para climatização, mas também em todos os tipos de consumos de energia que neles têm lugar, promovendo a sua limitação efectiva para padrões aceitáveis, quer nos edifícios existentes, quer nos edifícios a construir ou nas grandes intervenções de reabilitação de edifícios existentes;
- Impor regras de eficiência aos sistemas de climatização que permitam melhorar o seu desempenho energético efectivo e garantir os meios para a manutenção de uma boa qualidade do ar interior, quer a nível do projecto, quer a nível da sua instalação, quer ainda durante o seu funcionamento, através de uma manutenção adequada;



- Monitorizar com regularidade as práticas da manutenção dos sistemas de climatização, como condição da eficiência energética e da qualidade do ar interior dos edifícios (Decreto – Lei 79/2006).

Estes objectivos devem ser aplicados a edifícios novos e a edifícios a reabilitar.

A aplicação do primeiro objectivo deve ter como base os valores estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e as normas nacionais e internacionais (ISO – *International Organization for Standardization* - e o *Comité Européen de Normalisation* – CEN) (Decreto – Lei 79/2006).

Este Regulamento, apresenta vários pontos-chave, por forma a ir ao encontro dos objectivos referidos. Esses objectivos consistem em:

- As condições a observar no projecto de novos sistemas de climatização, nomeadamente:
  - a. Os requisitos em termos de conforto térmico e de qualidade do ar interior e os requisitos mínimos de renovação e tratamento de ar que devem ser assegurados em condições de eficiência energética, mediante a selecção adequada de equipamentos e a sua organização em sistemas;
  - b. Os requisitos em termos da concepção, da instalação e do estabelecimento das condições de manutenção a que devem obedecer os sistemas de climatização, para garantia de qualidade e segurança durante o seu funcionamento normal;
  - c. A observância dos princípios da utilização racional da energia e da utilização de materiais e tecnologias adequados em todos os sistemas energéticos do edifício, na óptica da sustentabilidade ambiental;
- Os limites máximos de consumo de energia nos grandes edifícios de serviços existentes;
- Os limites máximos de consumos de energia para todo o edifício e, em particular, para a climatização, previsíveis sob condições nominais de funcionamento para edifícios novos ou para grandes intervenções de reabilitação de edifícios existentes que venham a ter novos sistemas de climatização abrangidos pelo presente Regulamento, bem como os limites de potência aplicáveis aos sistemas de climatização a instalar nesses edifícios;
- As condições de manutenção dos sistemas de climatização, incluindo os requisitos necessários para assumir a responsabilidade pela sua condução;
- As condições de monitorização e de auditoria de funcionamento dos edifícios, em termos dos consumos de energia e da qualidade do ar interior;
- Os requisitos, em termos de formação profissional, a que devem obedecer os técnicos responsáveis pelo projecto, instalação e manutenção dos sistemas de climatização, quer em termos da eficiência energética, quer da qualidade do ar interior (QAI) (Decreto - Lei 79/2006).

De acordo com este Regulamento, a caracterização energética de um edifício é realizada por um indicador de consumo específico, expresso em unidades de energia final ou primária por metros quadrados de área útil por ano. No caso de energias renováveis, estas não são incluídas no cálculo dos valores dos indicadores referidos, sendo obrigatório a indicação do valor imputável às energias renováveis em causa.

A eficiência térmica dos edifícios pode também ser caracterizada por um indicador de CO<sub>2</sub> produzido, relativo ao consumo de energia do edifício por metros quadrados de área útil. Apesar da caracterização energética ser analisada através dos referidos dados, existem outros parâmetros que também podem ser usados para tal. A potência instalada, a eficiência nominal de componentes, a QAI (taxa de renovação do ar), a concentração de outros gases e a presença de microorganismos de partículas de suspensão nos sistemas ou no ar interior, são outros dos parâmetros usados (Decreto – Lei 79/2006).

Este regulamento estabelece que os requisitos a cumprir por forma a verificar os parâmetros estabelecidos consistem em:

- Taxa de renovação horária do ar interior de 0,6 renovações por hora;

- 40 litros de água quente a 60 °C para sistemas de AQS (sistemas de aquecimento de águas);
- A velocidade do ar interior não deve exceder os 0,2 m/s;
- Quaisquer desequilíbrios radiativos térmicos devem ser devidamente compensados (Decreto – Lei 79/2006).

Os requisitos energéticos nacionais variam consoante a tipologia dos edifícios analisados.

O Regulamento estabelece ainda várias normas a cumprir que garantem a qualidade do ar dos edifícios, nomeadamente, as taxas de renovação de ar de referência fixadas para os equipamentos de ventilação, quer estes sejam naturais, mecânicos ou híbridos. Além das taxas a analisar, é necessário também ter atenção às concentrações máximas de referência fixadas para os agentes poluentes no interior dos edifícios de serviço. Nesses edifícios, é necessário também realizar auditorias à QAI, no âmbito do SCE, com periodicidade e complexidade adequadas ao tipo e à dimensão do edifício, caso estes sejam dotados de sistemas de climatização. Nessas auditorias, devem ser medidas as concentrações de todos os poluentes, bem como, quando se justifique, efectuar medições adicionais de outros poluentes perigosos, químicos ou bacteriológicos.

O Decreto-lei 79/2006 estabelece que as potências térmicas de aquecimento ou de arrefecimento de sistemas de climatização a instalar nos edifícios não podem exceder em mais de 40% o valor de projecto estabelecido pelo método de cálculo adoptado para dimensionar os sistemas de climatização do edifício.

Nos sistemas de aquecimento, a potência eléctrica, por efeito de Joule, não pode exceder 5% da potência térmica de aquecimento, até ao limite de 25 kW por fracção autónoma. Em relação aos sistemas de arrefecimento, é permitida a instalação de equipamentos destinados a reaquecimento terminal, cuja potência não pode exceder 10 % da potência de arrefecimento a instalar (Decreto–Lei 79/2006).

O Decreto-Lei em análise estabelece que todos os sistemas energéticos dos edifícios, ou fracções autónomas, devem ser mantidos em condições adequadas de operação para garantir o respectivo funcionamento optimizado e permitir alcançar os objectivos pretendidos de conforto ambiental, de QAI e de eficiência energética. Além destas condições, o Regulamento indica que as instalações e equipamentos que são objecto em análise devem possuir um plano de manutenção preventiva que estabeleça claramente as tarefas de manutenção previstas. Este plano deve ter em consideração a boa prática da profissão, as instruções dos fabricantes e a regulamentação existente para cada tipo de equipamento constituinte da instalação, o qual deve ser elaborado e mantido permanentemente actualizado sob a responsabilidade de técnicos com as qualificações e competências definidas (isto é, ter qualificações técnicas mínimas exigidas para o exercício dessa função, a estabelecer em protocolo entre a Direcção-Geral de Geologia e Energia, o Instituto do Ambiente e as associações profissionais e do sector do AVAC, que salvguarde a sua formação de base, o seu currículo profissional e a sua adequada actualização profissional em prazo não superior a cinco anos).

No que se refere aos requisitos da qualidade do ar nos edifícios, o Regulamento em análise apresenta caudais mínimos de ar novo para renovação do ar interior e qualidade do ar aceitável em espaços sem fumadores e onde não haja fontes atípicas de poluentes e. Esses caudais mínimos são:

**Quadro 2 – Caudais mínimos de ar novo estabelecidos no RSECE; fonte: Decreto – Lei 79/2006.**

Tipo de actividade		Caudais mínimos de ar novo	
		[ m <sup>3</sup> /(h.ocupante)]	[ m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> )]
Residencial	Salas de estar e quartos	30	
Comercial	Salas de espera	30	
	Lojas de comércio		5
	Áreas de armazém		5
	Vestiários		10
	Supermercados	30	5
Serviços de refeição	Salas de refeição	35	
	Cafetarias	35	35
	Bares, salas de cocktail	35	35
	Sala de preparação de refeições	30	
Empreendimentos turísticos	Quartos/ Suites	30	
	Corredores/ átrios		5
Entretenimentos	Corredores/ átrios		5
	Auditórios	30	
	Zona do palco, estúdios	30	
	Café/ foyer	35	35
	Piscinas		10
	Ginásios	35	
Serviços	Gabinetes	35	5
	Salas de conferência	35	20
	Salas de assembleia	30	20
	Salas de desenho	30	
	Consultórios médicos	35	
	Salas de recepção	30	15
	Salas de computadores	30	
	Elevadores		15
Escolas	Salas de aula	30	
	Laboratórios	35	
	Auditórios	30	
	Bibliotecas	30	
	Bares	35	
Hospitais	Quartos	45	
	Áreas de recuperação	30	
	Áreas de terapia	30	

## **2.6 Implementação da Directiva Europeia em Portugal – RCCTE actual (Decreto - Lei 80/2006) vs RCCTE antigo (Decreto - Lei 40/90)**

Anteriormente à criação e implementação da Directiva Europeia em Portugal, já existia um regulamento construtivo direccionado às questões térmicas dos edifícios. A regulamentação existente era aplicada para que os edifícios da época apresentassem um melhoramento das condições de salubridade, de higiene e de conforto nos edifícios em geral (mas com mais pormenor nas habitações), no consumo existente e na potência da energia para o conforto térmico (aquecimento e arrefecimento) e para o conforto visual (iluminação). No entanto, os limites impostos no consumo energético eram limites pouco exigentes, uma vez que estes dependiam da viabilidade económica, face aos potenciais consumos baixos. Assim sendo e aproveitando os conhecimentos adquiridos na aplicação do regulamento anterior, o regulamento em causa apresenta uma maior flexibilidade de actualização das exigências em termos de contextos sociais, económicos e energéticos, em função dos progressos técnicos e dos contextos económicos e sociais (Decreto - Lei 80/2006). Isto faz com que seja possível que os limites impostos nele sejam fixados de forma periódica pelos ministérios que tutelam os sectores (Decreto - Lei 80/2006).

Porém, existe algo que foi mantido na passagem/revisão de um regulamento para o outro, e que consiste na ideia de que, para que a aplicação seja feita com sucesso, é necessário que este seja aplicado na fase de licenciamento e que permita a possibilidade de auditoria energética e de acção de fiscalização na fase de projecto.

De forma a ir ao encontro ao estabelecido na Directiva Europeia, foi necessário haver umas mudanças no que se refere às principais regras a observar ou objectivos a cumprir, na fase de projecto dos edifícios.

Devido à crescente preocupação com o ambiente e ao aumento significativo da exploração das técnicas e equipamentos a usar para o aproveitamento das energias renováveis (não tanto em Portugal devido à falta de conhecimento ou à recusa da aplicação de novos equipamentos), foi necessário ter atenção ao pormenor das técnicas/equipamentos de energias renováveis obrigatórios a implementar nos edifícios pela Directiva. Como tal, para que as exigências de conforto térmico no interior dos edifícios possam vir a ser asseguradas sem dispêndio excessivo de energia (Decreto - Lei 40/90) e tendo em conta a preocupação referente aos elementos de construção existentes não apresentarem patologias derivadas de condensações, o novo regulamento exige também que as exigências de ventilação para garantia da qualidade do ar interior dos edifícios, bem como as necessidades de água quente sanitária, possam vir a ser satisfeitas (Decreto - Lei 80/2006) sem dispêndio excessivo de energia.

Outra mudança realizada na revisão, consiste na especificação, mais detalhada, dos edifícios ou das obras a realizar, abrangidas ou não pelo regulamento. O anterior Regulamento das Características de Comportamento térmico dos Edifícios (Decreto - Lei 40/ 90) apenas mencionava que os edifícios abrangidos por ele consistiam em “zonas independentes dos edifícios sujeitos a licenciamento no território Nacional [...]” isto é, “cada uma das partes de um edifício dotadas de um contador individual de consumo de energia e cujo direito de propriedade ou fruição seja transmissível autonomamente”. Além destes, também eram abrangidas as remodelações ou alterações em edifícios que representassem mais de metade do valor destes e que carecessem ou não de licenciamento Municipal.

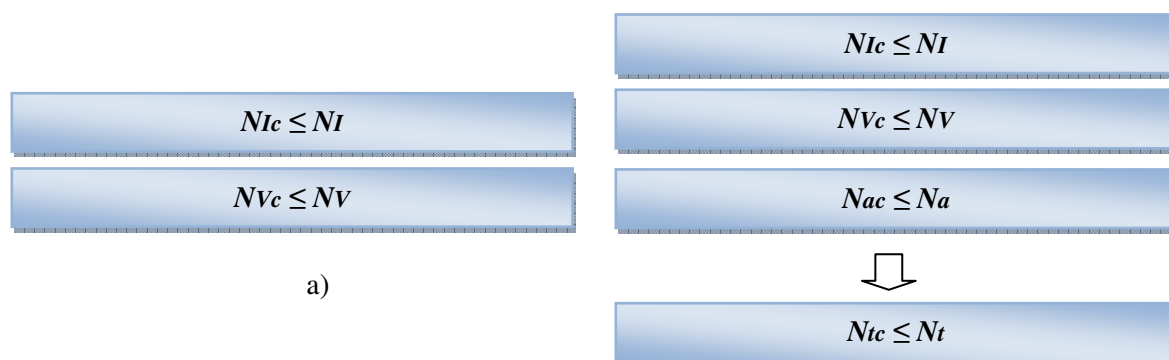
No que se refere aos edifícios/obras não abrangidas pelo Regulamento, este apenas fazia referência a remodelações ou reparações de edifícios em zonas históricas ou edifícios classificados e “edifícios a construir que, pelas suas características de utilização, se destinem a permanecer frequentemente abertos ao contacto com o exterior” (Decreto - Lei 40/ 90). No presente regulamento térmico, são especificados que os edifícios abrangidos por ele consistem em:

- i. “Novos e pequenos edifícios residenciais (área <math><1000\text{m}^2</math>) e novos edifícios não residenciais;
- ii. Edifícios residenciais existentes e pequenos (área <math><1000\text{m}^2</math>) edifícios não residenciais existentes;
- iii. Novos e já existentes grandes (área >math>>1000\text{m}^2</math>) edifícios não residenciais .”(Mateus, 2008 e Decreto – Lei 80/2006)

No entanto, no caso das obras de ampliação ou remodelação, é necessário que o seu custo seja superior a 25% do valor do edifício, cálculo efectuado tendo em conta a tipologia do edifício e de valores de referência por metro quadrado.

Porém, o presente regulamento não abrange os edifícios destinados a serviços, a construir ou renovar, que se destinam, devido à sua utilização futura, a permanecerem com os meios de acesso abertos, permitindo assim o contacto directo com o exterior e que não sejam aquecidos ou climatizados. Os edifícios usados como locais de culto, para fins industriais, afectos ao processo de produção, garagens, armazéns, oficinas e edifícios agrícolas não residuais também são incluídos neste grupo, assim como os edifícios classificados ou que se localizem em zonas históricas e que necessitem de intervenção de remodelação, infra-estruturas militares e imóveis afectos de sistema de informação ou forças de segurança.

Analisando agora a parte da determinação da qualidade térmica nos edifícios abrangidos pelo Decreto–Lei, é possível verificar que ocorrem mudanças significativas, nomeadamente nos parâmetros necessários para a emissão da garantia e principalmente pela necessidade/obrigatoriedade imposta pelo actual regulamento da emissão do certificado energético. Assim sendo, é possível verificar que, no regulamento em vigor, é necessário garantir/obedecer a mais necessidades (Figura 17).



**Figura 17 - Esquema representativo das verificações necessárias nos Regulamentos de 90 (esquema a) e 2006 (esquema b)). Fonte (Freitas, 2007)**

Devido à diferença nas verificações necessárias para a garantia de um eficaz conforto e comportamento térmico dos edifícios, verificou-se também que ocorreu uma mudança nos parâmetros necessários para o seu cálculo. Enquanto que, no RCCTE de 1990, os parâmetros necessários para a obtenção destes valores consistiam em determinar os “coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente, a classe de inércia dos edifícios e o factor solar dos envidraçados”, no RCCTE de 2006, isso já não basta. No regulamento de 2006, os parâmetros necessários para a determinação dos índices referidos são “os coeficientes de transmissão térmica, superficiais e lineares, dos elementos da envolvente; a classe de inércia térmica do edifício ou da fracção autónoma, o factor solar dos vãos envidraçados e a taxa de renovação do ar”. Além disso, o regulamento refere que, caso se recorra a sistemas de AQS (águas quentes sanitárias) por colectores solares térmicos, é necessário que “haja uma exposição solar adequada, na base de 1 m<sup>2</sup> de colector por ocupante convencional previsto, [...] podendo este valor ser reduzido por forma a não ultrapassar 50% da área de cobertura total disponível, em terraço ou em vertentes orientadas no quadrante Sul, entre Sudeste e Sudoeste”(Decreto–Lei 80/2006).

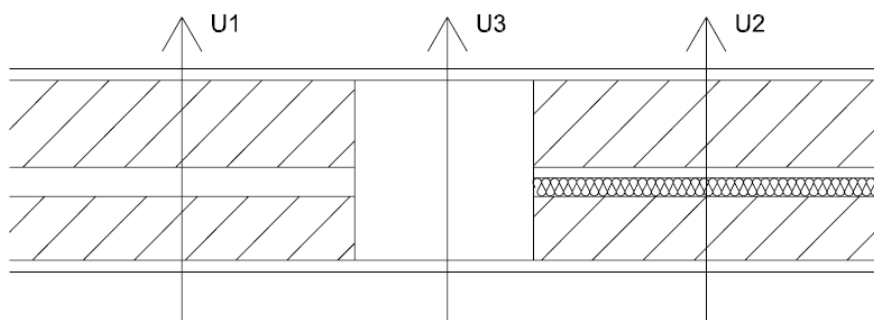
No que se refere aos índices presentes nos dois regulamentos  $N_I$  e  $N_V$ , uma das principais diferenças verificadas refere-se aos valores de referência dos coeficientes de transmissão térmica que são necessários respeitar. Ao realizar-se uma breve análise comparativa, é possível concluir que os valores limite sofreram uma diminuição na ordem dos 50%, relativamente aos limites anteriormente impostos (Freitas, 2007), como é possível observar na Quadro 3. Essa diferença deve-se a uma maior preocupação no cálculo destes parâmetros, uma vez que o regulamento actual apresenta novos conceitos e factores para a sua determinação que o anterior não apresentava.

**Quadro 3 – Valores limites dos coeficientes de transmissão térmica, estabelecidos para as diferentes regiões nas quais o País se encontra dividido, nos Regulamentos térmicos de 1990 e de 2006.**

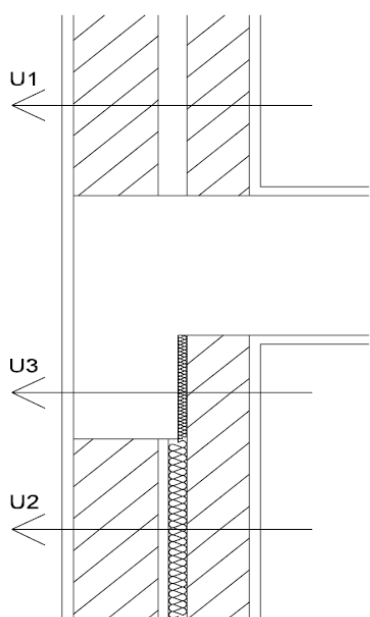
Elementos da Envolvente	I <sub>1</sub>		I <sub>2</sub>		I <sub>3</sub>		RA <sup>1</sup>	
	DL 40/90	DL 80/2006	DL 40/90	DL 80/2006	DL 40/90	DL 80/2006	DL 40/90	DL 80/2006
Zonas opacas horizontais	1,25	0,50	1,00	0,45	0,90	0,40	-	0,80
Zonas opacas Verticais	1,8	0,70	1,6	0,60	1,45	0,50	-	1,40
Elementos Interiores	DL 40/90	DL 80/2006	DL 40/90	DL 80/2006	DL 40/90	DL 80/2006	DL 40/90	DL 80/2006
Zonas opacas Verticais	2,0	1,40	2,0	1,20	1,90	1,00	-	2,00
Zonas opacas horizontais	1,65	1,00	1,30	0,90	1,20	0,80	-	1,25

No Regulamento em vigor é possível verificar que existe uma maior preocupação no combate ao aparecimento de condensações nos edifícios. Essa preocupação é manifestada através da quantificação de novos conceitos que não se verificavam no RCCTE de 1990, sendo esses conceitos designados por pontes térmicas planas e que o RCCTE actual define como sendo as heterogeneidades inseridas em zona corrente da envolvente, como certos pilares e talões de viga. Como tal, o RCCTE estabelece vários exemplos demonstrativos destes tipos de pontes térmicas, sendo que os mais comuns nas construções em Portugal consistem na existência de um pilar intermédio (Figura 18), talão de viga (Figura19) e a caixa de estores (Figura 20). Assim sendo, é necessário ter alguns cuidados na determinação dos valores dos coeficientes de transmissão térmica – U -, nomeadamente o valor destas pontes térmicas não devem ser superiores ao dobro dos valores de U dos elementos a ele adjacentes ( $U_1$  e  $U_2$  – Valores obtidos de forma unidimensional) e não podem ser superiores aos valores máximos estabelecidos pelo RCCTE , apresentados no quadro 4)(Decreto – Lei 80/2006).

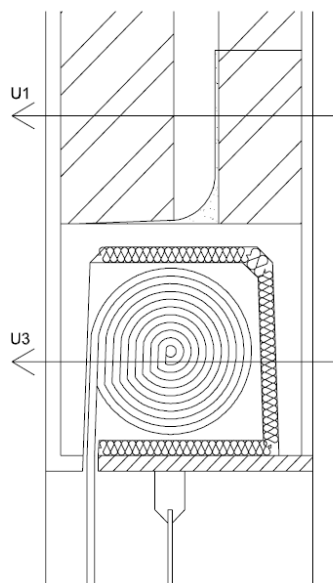
<sup>1</sup> RA – Região Autónoma da Madeira e Açores. No caso do Decreto – Lei 40/90 estes incluem-se nas regiões climáticas I<sub>1</sub>.



**Figura 18 – Ponte térmica provocada por um pilar intermédio; fonte: Freitas, 2007.**



**Figura 19 – Ponte térmica devido ao talão de viga; fonte: Freitas, 2007.**



**Figura 20 – Ponte térmica provocada pela caixa de estore; fonte: Freitas, 2007.**

**Quadro 4 – Valores máximos estabelecidos pelo Regulamento das Características e do Comportamento Térmicos dos Edifícios de 2006 para as pontes térmicas planas.**

Elementos da Envolvente	Zonas Climáticas		
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
Elementos Exteriores	DL 80/2006	DL 80/2006	DL 80/2006
Zonas opacas horizontais	1,25	1,60	1,45
Zonas opacas Verticais	1,80	1,60	1,45
Elementos Interiores	DL 80/2006	DL 80/2006	DL 80/2006
Zonas opacas Verticais	2,00	2,00	1,90
Zonas opacas horizontais	1,65	1,30	1,20

No Decreto–Lei 40/90, as heterogeneidades referidas anteriormente eram designadas por perdas térmicas, as quais apenas tinham que respeitar um único valor limite para que estas verificassem o cálculo térmico. O Decreto–Lei 40/90 estabelecia que as perdas térmicas tinham que ser inferiores ou iguais a 1,3, para verificarem o estabelecido no regulamento, valor este que comparado com os valores a verificar na actualidade não apresenta grande significado.

No que se refere às pontes térmicas lineares, o actual regulamento apresenta um especial cuidado, uma vez que estas “representam mais de 50% das perdas térmicas superficiais em soluções cujo tratamento das pontes térmicas não seja adequado” (Freitas, 2007). Como tal, o regulamento vigente apresenta um conjunto de diferentes tipos de ligações dos elementos construtivos para que seja possível a quantificação das suas perdas. A tipificação enunciada pelo Decreto – Lei 80/2006 consiste em:

- i. Ligação da fachada com os pavimentos térreos;
- ii. Ligação da fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos ou exteriores;
- iii. Ligação da fachada com pavimentos intermédios;
- iv. Ligação da fachada com cobertura inclinada ou terraço;
- v. Ligação da fachada com a varanda;
- vi. Ligação entre duas paredes verticais (ângulo saliente);
- vii. Ligação da fachada com a caixa de estore;
- viii. Ligação da fachada com padieira, ombreira ou peitoril.”

De forma a quantificar as perdas enunciadas, é necessário determinar o desenvolvimento destas e o coeficiente de transmissão térmica linear correspondente ( $\psi$ -W/m. °C) (Freitas, 2007). A quantificação deste coeficiente é obtida conforme o tipo de ligação analisado e o existente no regulamento. Caso não se verifique a correspondência entre o real e o existente no regulamento, então deve adoptar-se o valor de 0,5, ou recorrer à EN ISO 10211-1 (Decreto – Lei 80/2006 e EN ISO 10211-1).

Outra das mudanças verificadas na reformulação do regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios refere-se ao factor solar dos envidraçados, o qual, no regulamento em vigor, depende da inércia térmica e varia consoante a zona climática em que o edifício se encontra (quadro 5). No entanto, tanto num regulamento como no outro, o limite referente ao valor das áreas dos envidraçados dos edifícios permanece igual, sendo que este não pode exceder 15% da área útil de pavimento do edifício.

**Quadro 5 – Valores dos factores solares máximos admissíveis de vão envidraçados com mais de 5 % da área útil do espaço que servem; fonte: Decreto – Lei 80/2006.**

	Zona Climática		
	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>
Classe de inércia térmica, factor solar			
Fraca	0,15	0,15	0,10
Média	0,56	0,56	0,50
Forte	0,56	0,56	0,50

Por fim, verifica-se também uma mudança significativa nas verificações das condições interiores de referência, sendo que, no regulamento de 1990, apenas se mencionavam as temperaturas a garantir nas estações de aquecimento e arrefecimento enquanto, no RCCTE de 2006, já são apresentados novos limites a garantir. Como tal, apenas se pode fazer uma comparação das temperaturas a garantir nas duas estações climáticas, sendo que, no RCCTE em vigor, se indica que para a estação de aquecimento se deve garantir uma temperatura de 20 °C e 50% de humidade relativa, enquanto, para a estação de arrefecimento, se estabelece uma temperatura de 25°C. Ao efectuar uma comparação entre os dois regulamentos verifica-se que ocorreu um aumento de temperatura interior dos edifícios, na estação de aquecimento, mantendo-se a mesma temperatura, na estação de arrefecimento (quadro 6).



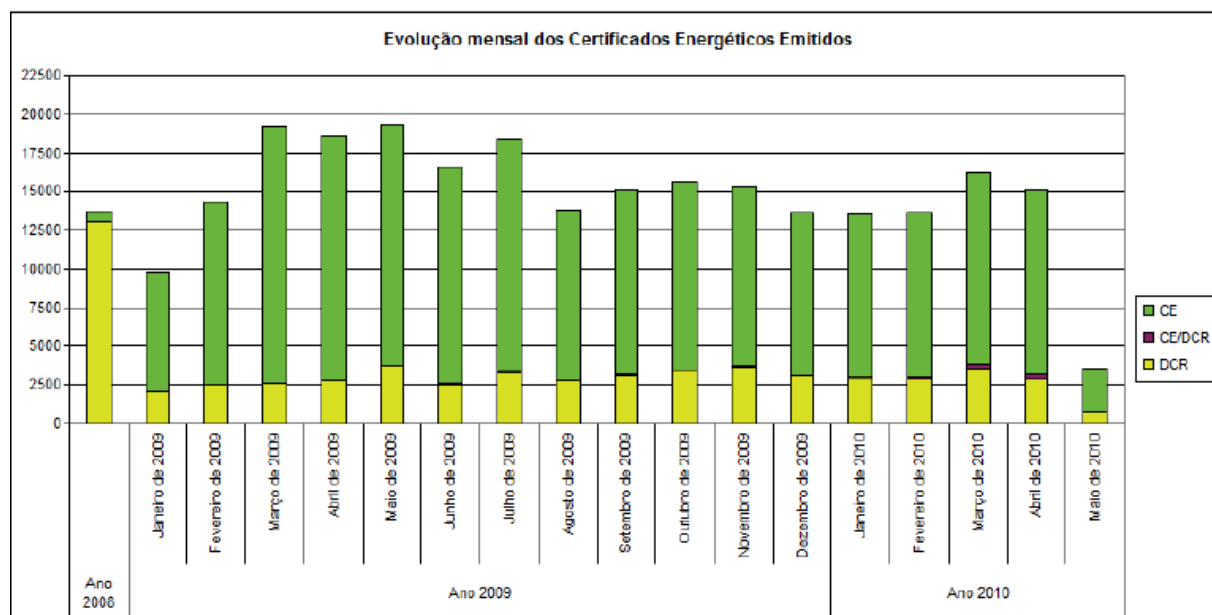
**Quadro 6 – Comparação das temperaturas a garantir nas Estações de aquecimento e arrefecimento nos Decretos –Lei analisados.**

Decreto – Lei 40/90		Decreto – Lei 80/2006	
Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento
18°C	25°C	20°C	25°C

Ao realizar-se uma renovação e aperfeiçoamento do regulamento, foram estabelecidos novos índices interiores necessários a cumprir para melhorar as construções/habitações em Portugal. Um dos índices estabelecidos refere-se ao limite da taxa de renovação horária do ar interior que, por forma a garantir a sua qualidade, este deve apresentar como valor limite 0,6 renovações por hora (Decreto – Lei 80/2006). O cumprimento deste limite deve ser efectuado independentemente do uso de sistemas de ventilação mecânica ou natural.

Além deste limite, é necessário respeitar o imposto no regulamento, no que se refere ao “consumo de referência de água quente sanitária para a utilização em edifícios de habitação” (Decreto – Lei 80/2006), sendo esse valor de 40 litros de água quente, a 60 °C por pessoa e por dia.

Da análise dos regulamentos térmicos, que se encontravam em vigor, em Portugal, desde a década de 90, o regulamento actualmente em vigor, em conjunto com os Decretos – Lei 78/2006 e 79/2006, indica que todos os edifícios de serviços e de habitação, construídos depois de 2009, são obrigados a possuir o certificado energético (Galvão et al., 2010), abrangendo assim cerca de 3.3 milhões de edifícios e 5.5 milhões de residências unifamiliares (INE, 2009). Desde o ano de 2008 que Portugal manifesta uma evolução mensal de edifícios que apresentam certificados energéticos e declarações de conformidade regulamentar, tal como é possível verificar na figura 21.



**Figura 21 – Gráfico com a evolução da emissão de Certificados Energéticos (CE) e de Declarações de Conformidade Regulamentar (DCR); fonte: ADENE, 2010.**

No quadro 7 são apresentadas as diferentes classes energéticas existentes e a comparação com o consumo de referência.

Quadro 7 – Classes energéticas; fonte: ADENE (2010)

Classe Energética	Comparação com consumo de referência	$R = \frac{Ntc}{Nt}$
A+	Menos que 25% do consumo de referência	$R \leq 0,25$
A	Entre 26 % e 50 %	$0,26 \leq R \leq 0,50$
B	51% a 75%	$0,51 \leq R \leq 0,75$
B-	76% a 100%	$0,76 \leq R \leq 1,00$
C	101% a 150%	$1,01 \leq R \leq 1,50$
D	151% a 200%	$1,51 \leq R \leq 2,00$
E	201% a 250%	$2,01 \leq R \leq 2,50$
F	Entre 251% a 300 %	$2,51 \leq R \leq 3,00$
G	Mais de 300% do consumo de referência	$3,00 \leq R$

Os edifícios novos apresentam consumos na classe de B- (Dinis, 2009).

No entanto, é de salientar que uma casa eficiente pode consumir menos de ¼ do consumo de referência (Dinis, 2009). Ao realizar-se um levantamento dos edifícios novos, em Janeiro de 2009, verificou-se que 14 % dos novos edifícios foram classificados com a classe A+, 45% com a classe A, 28% com a classe B e 12 % com a classe B- (ADENE, 2008). No que se refere aos edifícios existentes, essas classificações não apresentam tão bons resultados, obtendo apenas 0.5% a classe A, 22,4% a classe B, 32,8% a classe C, 14,2% a classe D e 4,7% a classe G (ADENE, 2010). Pode assim concluir-se que, nas construções novas, já se verifica uma certa preocupação térmica, enquanto que as construções existentes ainda necessitam de um investimento para melhorar o seu conforto térmico, dado que cerca de 60% se encontram abaixo do limiar aplicável a novos edifícios (B-) (ADENE,2010).

Após uma análise aos dois Decretos–Lei, é possível verificar que ocorreu uma melhoria dos limites térmicos estabelecidos e que, com a aplicação deste novo regulamento, se verificou um progresso do conforto térmico das habitações em Portugal. No entanto, o emprego deste não basta, é necessário estabelecer e informar a população portuguesa de como tirar um melhor partido destes limites e das novas técnicas construtivas, não sendo esse passo fácil, uma vez que existem hábitos que foram incorrectamente adquiridos e que permanecem até à actualidade (é o caso, por exemplo, da falta de ventilação natural de que os edifícios padecem no Inverno, mencionado anteriormente no capítulo das anomalias).

Outra das dificuldades, mas um importante caminho a percorrer, refere-se à introdução de novas técnicas e equipamentos “amigos do ambiente” nas construções em Portugal. Apesar de se encontrar estabelecida, no regulamento em vigor, a utilização de sistemas de aquecimento de água térmica através de colectores solares, existem, no entanto, muitos mais equipamentos que utilizam energias renováveis e que podem e devem ser obrigatórios nas construções. O Estado Português, de forma a instalar e estimular o uso destes tipos de equipamentos, ofereceu, em 2009, um conjunto de incentivos com vista à promoção das energias renováveis (Clara, 2010), o que provocou um aumento significativo de encomendas de painéis solares, cerca de 38 mil painéis. No entanto, não foi apenas este o incentivo criado, uma vez que, em 2 Março de 2009, o Programa Solar Térmico veio ajudar nesse campo. Com a aplicação deste programa, os utilizadores (particulares e posteriormente alargado a Instituições Particulares de Solidariedade Social e às Associações Desportivas de Utilidade Pública) conseguiam poupar cerca de 20% do valor da factura de gás e até 70% da energia necessária para o aquecimento de água de uso doméstico (Clara, 2010). Deste modo, além dos benefícios fiscais que vão até 30% dos custos de investimento, os utilizadores destes equipamentos ainda poderiam beneficiar de uma significativa poupança nos gastos de energia.

## **2.7 Implementação da EPBD nos diferentes países da União Europeia e quais as causas da sua implantação nos decretos-lei já existentes**

Devido à crescente preocupação com o meio ambiente, a implementação da Directiva Europeia (EPBD) era uma matéria, não só obrigatória, como necessária. Com a implementação desta Directiva, nos diferentes países pertencentes à União Europeia, previa-se um futuro bem mais positivo no que se refere a um dos principais causadores do elevado índice de poluição existente, a construção.

Prevvia-se que, com a implementação da Directiva Europeia, houvesse mudanças extremas nas normas construtivas de alguns países da União Europeia. Alguns países apresentavam uma escassa preocupação com a eficiência energética e o clima interior dos edifícios (apresentando apenas valores de coeficientes de energia U e níveis mínimos de isolamento). Para os outros<sup>2</sup> cuja as normas já manifestavam alguma preocupação com estes factores, previa-se que a directiva conduzisse a um aperfeiçoamento dos requisitos e a uma maior abrangência de tipos de edifícios.

Assim sendo, analisam-se em seguida as mudanças adoptadas por alguns dos países da União Europeia, face à implementação da Directiva (EPBD); estas mudanças foram significativas em alguns países, no entanto, noutros trataram-se apenas de aperfeiçoamentos.

De forma a respeitarem os requisitos dos cálculos energéticos estabelecidos na Directiva Europeia (e nos patamares CEN), alguns países tiveram de realizar alterações expressivas nas suas normas. Exemplos dessas modificações são a República Checa que baseou os novos cálculos nos requisitos da CEN, a Noruega que melhorou os seus requisitos de modo a irem ao encontro do estabelecido na ISO 13790 e a Alemanha que, apesar de já apresentar um eficiente cálculo energético para os edifícios habitacionais, desenvolveu um método de cálculo para os restantes edifícios baseado no CEN.

Devido às alterações nos processos dos cálculos energéticos dos edifícios e às novas medidas estabelecidas na Directiva Europeia, os limites de consumo de energia tornaram-se mais baixos e foram introduzidos novos parâmetros de cálculo necessários, bem como, novos documentos essenciais à venda ou aluguer dos edifícios novos ou dos já existentes.

É possível observar essas alterações nas novas normas construtivas da Dinamarca, onde são agora incluídos no cálculo da eficiência energética as pontes térmicas, os ganhos solares, a ventilação natural, a recuperação de calor, o ar condicionado, a iluminação (no caso de grandes edifícios), as caldeiras e a eficiência de bomba de calor. No que se refere às grandes obras de renovação dos edifícios já existentes, a Dinamarca obriga a que sejam implementadas todas as medidas de poupança de energia, assim como, a necessidade de implantar algumas medidas rentáveis individuais, tais como: a aplicação de protecção nas paredes exteriores, quando o tempo mudar, de forma a servir de escudo; aplicação de protecção, quando se estiver a realizar as obras de renovação do sótão ou cobertura; e, por fim, a substituição da caldeira.

Nas normas Dinamarquesas são ainda impostas normas relativas à obrigatoriedade das entidades competentes implementarem medidas de poupança de energia que apresentem uma devolução do custo de investimento (*pay back*) inferior a 5 anos, medida esta imposta no certificado emitido para o edifício. Outro dos países a incluir novos aspectos no cálculo energético dos edifícios é a Bélgica, que desde a implementação da EPBD, inclui o aquecimento e os consumos de AQS (águas quentes sanitárias), consumos auxiliares de energia, consumo de aquecimento, produção de energia através de células fotovoltaicas ou uma instalação de cogeração.

---

<sup>2</sup> Países que requeriam já, para os seus edifícios novos ou em construção, a apresentação de um certificado energético, assim como o cálculo do desempenho energético do edifício, segundo o estabelecido na Directiva.

No que se refere à Noruega, para além da introdução (pela primeira vez) dos cálculos para os requisitos de Verão neste país e nos países com climas do Norte da Europa (Finlândia, entre outros), ainda apresenta a necessidade de incluir nos cálculos energéticos o arrefecimento, as AQS, iluminação, bem como, alguns parâmetros de entrada fixa de ganhos internos de calor (equipamentos e pessoas), águas sanitárias, horário de funcionamento, horário de aquecimento e arrefecimento e energia de iluminação.

No entanto e como referido anteriormente, nem todos os países pertencentes à União Europeia alteraram de modo significativo as suas normas construtivas. Em alguns destes países, como a Alemanha, a França e a Holanda, as suas normas abrangeram mais edifícios e diferentes casos como o aluguer de habitações. No caso da Holanda, onde ocorreu a junção de duas normas pré-existentes, criou-se uma nova que irá abranger, tanto os edifícios já existentes, assim como os novos edifícios.

Um dos aspectos mais importantes que a Directiva veio impor refere-se à obrigatoriedade da emissão de certificado energético. Devido a esta nova obrigatoriedade, muitos dos países dos Estados Membros apresentaram, pela primeira vez, um esquema de certificado energético nas suas normas construtivas, certificado este que deveria ser apresentado, não só após a construção dos edifícios, como também em obras de renovação dos edifícios já existentes. Esta nova medida veio ao encontro dos países cujas eficiências energéticas eram bastante precárias, bastando para estes países apenas garantir o limite de isolamento e o valor do coeficiente de transmissão térmica (U). Os países nestas situações são a Bélgica, a Finlândia, a Polónia, a Espanha, a Itália e a Grécia. No entanto, nos países em que a eficiência energética já era uma questão relevante e onde o seu cálculo era obrigatório para a emissão de certificados, a obrigatoriedade da emissão do certificado expressa pela Directiva apenas veio provocar um desenvolvimento desse certificado e uma ampliação deste a diferentes edifícios.

A Alemanha, um dos países modelo, no que se refere à preocupação e emissão dos certificados energéticos e da eficiência energética, passou, após a Directiva, a também apresentar a obrigatoriedade da emissão de certificados para edifícios já existentes (o que já acontecia para edifícios novos). O mesmo se passou com a França. A Holanda foi outro dos países que, com a implementação da EPBD, melhorou o seu certificado através de pequenas mudanças e da introdução de uma escala de A a F. A Dinamarca, tal como a Holanda, também apresentou um novo certificado, uma vez que, anteriormente, este era emitido com base em medidas conceptuais para os edifícios inferiores a 15000 m<sup>2</sup>. Após a Directiva, verificou-se que todos os certificados devem ser calculados.

Nos países onde a existência de certificados energéticos era prévia à obrigação imposta pela Directiva Europeia, já existiam peritos qualificados para a sua emissão. Assim, a Directiva apenas implementou secções de informação actualizadas. No que se refere aos países onde foram implantados, pela primeira vez, os certificados energéticos, os peritos com as qualificações exigidas ainda estão a ser formados, de modo a respeitarem os requisitos estabelecidos na Directiva Europeia.

O clima interior das habitações é outro dos aspectos a ser tido em conta para o cálculo energético dos edifícios, podendo este, no caso de uma habitação deficitária, ser um dos principais causadores do elevado consumo energético. Antes da implementação da Directiva Europeia (EPBD), uma parte, senão a maioria dos Estados Membro (excluindo a Itália), já apresentava, nas suas normas construtivas, alguma preocupação com o clima interior, apresentando como soluções os níveis de ventilação e de calor. No entanto, a Directiva, apesar de não alterar por completo estas soluções, introduziu em alguns países (Bélgica, Finlândia, Holanda, Noruega e Grécia) aspectos relacionados com o conforto no Verão (evitando, claro, o risco de sobreaquecimento e reduzindo as cargas de arrefecimento). Este aspecto, tal como no caso da certificação energética, não foi novidade para alguns países, como França, Alemanha, entre outro, que já apresentavam esta solução nas suas normas. Por isso, através da implementação da EPBD, tornaram particular este aspecto do conforto no Verão. Esse desenvolvimento específico baseou-se na definição de temperaturas interiores dos edifícios, e na alteração da taxa de ventilação e do nível de tensão do ar.

Com o desenvolvimento da tecnologia foram criados novos equipamentos que aproveitam energias naturais, como o calor do sol, a força da água e do vento, para produzir energia. Através destas novas

tecnologias renováveis, é possível baixar o consumo energético dos edifícios, sendo este o motivo pelo qual a Directiva Europeia (EPBD) engloba o uso destes dispositivos para a eficiência energética dos edifícios e para o cálculo energético. A utilização imposta pela EPBD foi adoptada por todos os Estados Membros, sendo inicialmente obrigatória nos edifícios novos com áreas superiores a 1000 m<sup>2</sup>, em todos os países analisados. Apesar desta obrigatoriedade, ainda não são todos os Estados Membros que apresentam nas suas normas construtivas o uso destas tecnologias nos edifícios. Só a Alemanha, Itália, Espanha, Noruega, Finlândia e a região da Valónia, na Bélgica, o fazem. Na Alemanha existem mesmo percentagens específicas relativas ao tipo de energia/fonte renovável aplicável aos diferentes tipos de edifícios (15% térmica solar, 30% biogás, 50% recuperação de calor, biomassa e biocombustível, geotérmica e desperdício de calor).

No caso da Itália, conforme o local (caso se localize ou não no centro histórico), a percentagem de água quente sanitária proveniente de sistemas solares térmicos varia: Se o edifício se encontrar fora do centro histórico, a percentagem estabelecida é 50%, caso contrário, esta baixa para 20%. No entanto, se não for possível instalar o sistema no respectivo local, esta regra pode mudar, desde que seja tudo especificado no relatório técnico. A instalação de painéis fotovoltaicos com pelo menos 1kWp no mínimo *per dwelling* é obrigatória.

Em vários países da União Europeia, o recurso a estes equipamentos é indispensável, sendo que no caso da Espanha, estes são impostos para a implementação de sistemas de AQS (água quente sanitária) e para edifícios não habitacionais. No que toca à Noruega, é obrigatório o fornecimento de energia através de sistemas de recursos renováveis ( $\geq 40\%$ ), enquanto que na região da Valónia, na Bélgica, este recurso, é obrigatório, tanto em obras de renovação muito grandes, como em edifícios novos, desde que permitam a poupança energética. Em alguns países, a sua utilização é incentivada pelo estado através de taxas individuais.

Realizou-se um breve estudo do mercado das habitações, no que se refere ao desempenho energético dos edifícios, após a implementação da Directiva Europeia, e verificou-se que ocorreu uma mudança clara no que toca à construção de edifícios mais eficientes do ponto de vista energético. No entanto, esta clara mudança não se pode dever apenas à implementação da Directiva, uma vez que a capacidade económica dos habitantes dos países membros não é igual para todos. Por conseguinte, a utilização de todos os equipamentos de energias renováveis em todas as habitações construídas não é economicamente viável visto que os custos de investimento se reflectiriam necessariamente num aumento dos preços das habitações.

Outro dos aspectos a ter em conta refere-se à região e às situações sazonais, uma vez que é um aspecto que afecta significativamente, não só a utilização dos equipamentos energéticos, mas também os meios construtivos utilizados.

Por forma a analisar a implementação da Directiva Europeia nos 27 Países da União Europeia, um estudo efectuado por Andaloro et al (2010), utilizando dois parâmetros comparativos – Excelência e Uniformidade – permite chegar a algumas conclusões interessantes.

Esta análise é efectuada para um melhor conhecimento dos edifícios na União Europeia e para identificar quais os líderes da certificação energética.

A análise é baseada na comparação de seis factores analisados em todos os Estados Membro e que apresentam uma cotação de 0 a 3. Esses factores são:

- a) Leis Nacionais adoptadas na implementação da EPBD;
- b) Obrigação de certificar decorrente da EPBD;
- c) Métodos de cálculo no desempenho energético, correntes ou que estão a ser aperfeiçoados;
- d) Harmonização dos métodos de cálculo com os estabelecidos na CEN;
- e) Requisitos profissionais para os consultores que emitem os certificados energéticos;
- f) Escala de energia adoptada – modelo de avaliação de eficiência energética;
- g) Experiência ganha na certificação energética aplicada anteriormente à EPBD.”

A cada Estado Membro é atribuída uma pontuação (de 0 a 3) para cada factor sendo que se tivessem o valor máximo – 3 -, ser-lhes-ia atribuído 1 valor e para as restantes pontuações – 0, 1, 2 -, seria atribuído o valor 0. Esta forma permitia avaliar a Excelência. Assim sendo, a nota máxima que um país poderia ter seria de 6, correspondendo assim à máxima Excelência no que toca à certificação energética dos edifícios. Os valores obtidos no estudo podem ser observados na figura 22.

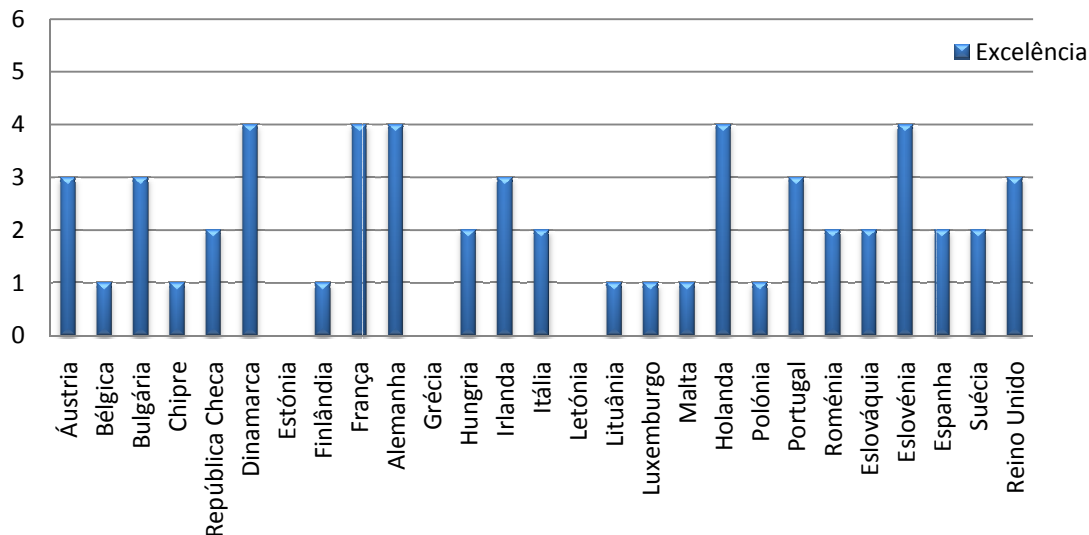


Figura22 – Gráfico com os valores de Excelência dos seis factores de comparação dos 27 Países da União Europeia; fonte: Andaloro et al. , 2010.

Pode assim concluir-se que, actualmente, todos os Estados Membro ainda se encontram longe de atingir a Excelência, sendo visível que “apenas 4 países pertencentes à União Europeia dos 15, é que conseguiram atingir a pontuação alta (igual a 4), enquanto que os países mais recentes ainda apresentam valores baixos” (Andaloro et al.,2010).

O indicador de Uniformidade apresenta uma medida de progresso atingido pelos diferentes países, no que se refere à sua comparação. Tal como o factor de Excelência, o factor de Uniformidade foi determinado, realizando-se uma análise aos mesmos factores mencionados, sendo que, neste caso, as pontuações eram atribuídas consoante a Uniformidade da aplicação dos factores em toda a Europa. Se no país em análise a aplicação de cada um dos factores é feita de acordo com a maioria dos países Europeus é-lhe atribuído o valor 1; caso contrário, será atribuído o valor 0. Os resultados obtidos são apresentados na figura 23.

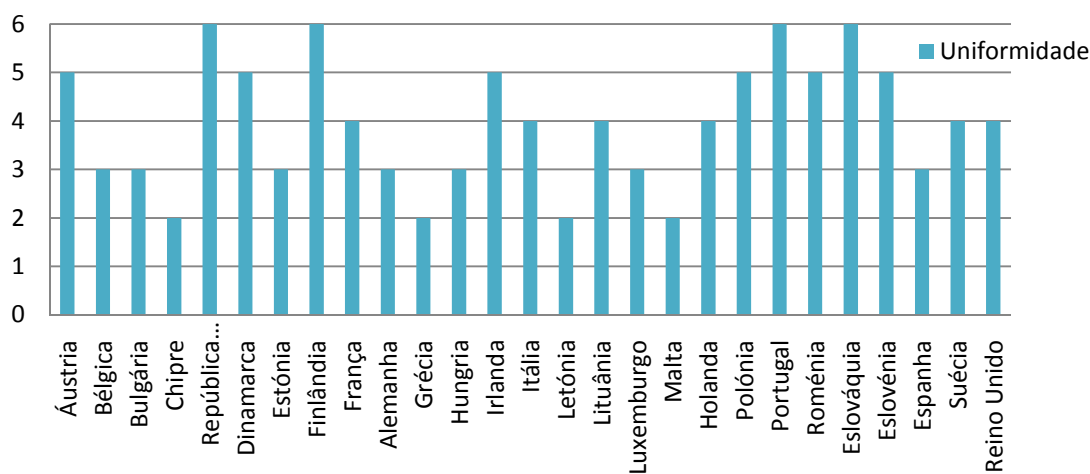
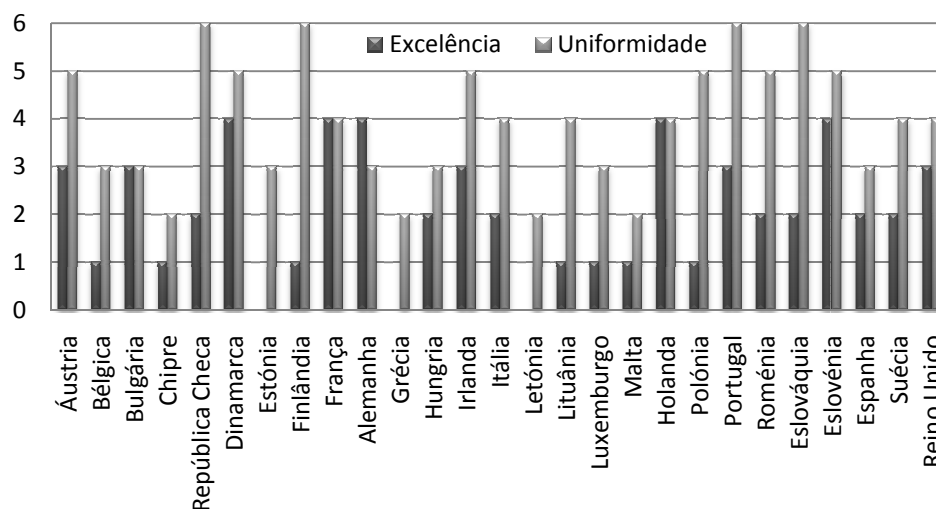


Figura 23 - Gráfico com os valores da Uniformidade dos seis factores de comparação dos 27 Países da União Europeia; fonte: Andaloro et al. , 2010.

Os autores (Andaloro et al. ,2010) referem ainda que, no caso do factor referente à utilização dos métodos de cálculo estabelecidos na CEN, como não se verificou uma maioria da sua aplicação (9 países cumpriram as medidas da CEN, 9 seguiram parcialmente e 9 não as adoptaram), estabeleceu-se que, a cotação de 1 seria atribuída aos países que adoptassem os métodos da CEN.

Ao analisar a figura, pode observar-se que muito poucos países atingiram a pontuação máxima, verificando-se que a uniformidade prevista, após a implementação da directiva, ainda se encontra longe do pretendido.

Analisando os dois parâmetros (Figura 24), é possível verificar que apenas 3 dos 27 países apresentam níveis de Excelência e Uniformidade iguais, verificando-se que nos restantes havia uma grande divergência.



**Figura 24 - Gráfico com os valores de Excelência e de Uniformidade dos seis factores de comparação dos 27 Países da União Europeia; fonte: Andaloro et al. , 2010.**

Pode-se assim concluir que, apesar da Directiva Europeia ter sido implementada ao mesmo tempo em todos os países, os valores obtidos são bastante diferentes. Como forma explicativa deste facto pode-se entender que, apesar de ser implementada ao mesmo tempo, a sua adopção varia devido às diferentes condições ou necessidades de cada país. Um exemplo disso são os países que apresentam uma maior independência e maior poder de compra e informação (relativamente às questões térmicas) que os restantes, podendo constatar-se que apresentam níveis altos de Excelência e Uniformidade.





### 3 ANÁLISE EXPERIMENTAL

A quando do início da análise das anomalias dos edifícios do Campus da Faculdade de Ciências e Tecnologias, da Universidade Nova de Lisboa (figura 25), realizou-se o levantamento térmico destes através do recurso à câmara termográfica. Após o levantamento das imagens termográficas dos edifícios escolhidos (edifício II, IV, VII, VIII, UNI e CEMOP), verificou-se que apenas existiam as plantas e a informação necessária para realizar o estudo previsto dos edifícios VII e X. Nos restantes, a escassez de informação não permitiu analisá-los. No entanto, os pormenores construtivos apresentados, referentes ao edifício II, foram obtidos empiricamente através de visitas ao local, com recurso a métodos de inspeção não-destrutivos. Assim sendo, apenas serão apresentados os edifícios II, VII e X e os resultados provenientes da sua análise.



**Figura 25 – Planta do Campus da FCT.**

Essa análise foi realizada através da combinação de dois métodos, tratando-se o primeiro de trabalho de campo, em que se recorreu à câmara termográfica, e o segundo de análise computacional dos resultados obtidos, com recurso a um programa específico – Bisco – que permite obter resultados relativos à térmica do edifício.

#### 3.1 Casos de Estudo

Todos os edifícios presentes no campus da Faculdade de Ciências e Tecnologias têm como objectivo servir toda uma comunidade de Ensino Superior, daí as suas características se focarem principalmente em fornecer a todos os seus utilizadores um espaço onde possam trabalhar em grupo e em garantir conforto e privacidade necessários para os gabinetes dos regentes.

### 3.1.1 Edifício II

No edifício II encontram-se presentes o Departamento de Informática e o Departamento de Materiais, o que leva a que existiam, no mesmo edifício, dois espaços de funcionamento diferente. No departamento de Informática, as salas de aula caracterizam-se pela presença constante de elementos informáticos; no departamento de Materiais as salas caracterizam-se pela existência de laboratórios químicos onde predomina a existência de bancadas de trabalho, bem como vários tipos de máquinas laboratoriais.

O edifício é constituído estruturalmente por betão armado e as paredes divisórias são, na sua maioria, de alvenaria, todas elas rebocadas com uma argamassa de cimento e posteriormente pintadas. Existem parede divisórias de madeira principalmente no departamento de materiais. Existem ainda corredores e salas em que o tecto é constituído por tecto falso, sendo as portas das salas e compartimentos todas em madeira. Os envidraçados são em vidro simples e o seu caixilho é em alumínio. O exterior do edifício é constituído por paredes de alvenaria rebocada e pintada, à excepção da fachada sul e oeste que é revestida por painéis pré-fabricados de betão armado.

### 3.1.2 Edifício X

O edifício X - Departamento de Engenharia Electrotécnica - é constituído apenas por um bloco com um piso abaixo do nível térreo, um piso térreo e um piso elevado. Por forma a ser possível realizar a análise térmica pretendida, foi necessário obter informação relativa aos materiais constituintes da envolvente do edifício. Este é constituído, nos alçados Norte, Sul e Nascente, por paredes duplas com pano exterior de betão (espessura 20 centímetros), caixa de ar, isolamento térmico com placas de Poliestireno extrudido e o pano interior em tijolo vazado de 15 cm rebocado.

No que se refere às coberturas, estas dividem-se em 2 tipos – sobre laboratórios e sobre as galerias e os gabinetes. As lajes do primeiro grupo de betão armado com uma camada de regularização, impermeabilização, isolamento térmico em placas de poliestireno extrudido e, por fim, uma camada de godo. Relativamente ao segundo grupo, estas são compostas por uma camada de godo, isolamento térmico de poliestireno extrudido, impermeabilização, uma camada de betão de regularização com argila expandida, laje de betão armado, caixa de ar e tecto falso em gesso.

Os pavimentos do edifício são constituídos por uma laje aligeirada, com impermeabilização, isolamento térmico de lã mineral (no caso de pavimentos sobre espaços aquecidos) e de poliestireno extrudido (em pavimentos sobre o exterior) e, em ambos os casos, apresentam um acabamento em linóleo. As portas das salas e compartimentos são todas em madeira, os envidraçados são em vidro simples e o seu caixilho em alumínio.

### 3.1.3 Edifício VII

O edifício VII – Edifício de Matemática – é constituído por 8 corpos (A – H), sendo que os corpos B, C, F e G, apresentam um piso térreo e 2 pisos elevados (figura 26). O corpo E corresponde a um espaço público destinado à restauração e o corpo A a um auditório que se encontra, parcialmente, abaixo do nível térreo. O presente edifício é constituído por uma fachada principal ventilada constituída por pedra, fixada a um pano de alvenaria de 11cm e com uma parede de betão de 25cm e isolamento térmico. As restantes fachadas são constituídas por panos duplos de alvenaria de 15 e 20 centímetros, respectivamente, com caixa de ar e isolamento térmico de poliestireno extrudido. O pano exterior é revestido por reboco e o interior por estuque projectado. As portas das salas e compartimentos são todas em madeira e o caixilho dos envidraçados são em alumínio.



**Figura 26 – Módulos do edifício II.**

## **3.2 Descrição dos métodos usados para a análise das pontes térmicas**

### *3.2.1 Análise termográfica (câmara termográfica)*

A análise térmica dos edifícios da Faculdade de Ciências e Tecnologias, da Universidade Nova de Lisboa, iniciou-se com uma análise termográfica, efectuada durante os meses de Aquecimento (e, por conseguinte, com as temperaturas exteriores muito baixas e as interiores maiores para garantir um certo conforto).

A análise termográfica é uma análise feita através da câmara termográfica que capta as imagens de calor (termogramas), não decifráveis a olho humano, sendo depois a radiação térmica ou infravermelha invisível convertida numa imagem visível (Mendonça, 2005). Durante este processo foi utilizada uma câmara termográfica com a qual foi necessário ter alguns cuidados de manuseamento, por forma a que as imagens finais fossem da melhor qualidade possível e assim permitissem identificar possíveis anomalias existentes.

Como medidas preliminares para o recurso a um aparelho de medida, é definido dentro das normas que seja necessário verificar se:

- A diferença de temperatura entre o interior e o exterior da envolvente do edifício é superior a 10 °C, isto pelo menos 8 horas antes da inspeção;
- A flutuação da temperatura da superfície é inferior a 30 % durante as 24 horas precedentes à inspeção;
- A superfície inspeccionada não pode estar exposta directamente às radiações solares depois de mais que 3 horas para as construções ligeiras, e mais que 8 horas, para as alvenarias pesadas (Manuel, 1997).

O levantamento térmico dos paramentos dos edifícios analisados foi executado, tanto pelo exterior, como pelo interior, sendo assim possível obter as temperaturas superficiais destes. No caso das inspeções exteriores, é recomendado, ao nível do material termográfico, utilizar uma objectiva de pelo menos 18 °C e estar a uma distância de tal modo que a superfície visualizada na câmara seja de pelo menos 6m<sup>2</sup> (Manuel, 1997). Durante a inspeção, é conveniente estar particularmente atento aos seguintes factores:

- Natureza dos materiais das superfícies observadas;
- Orientação geográfica do edifício;
- Elementos “vizinhos” do edifício;
- Condições climáticas.

Relativamente às inspecções pelo interior dos edifícios, estas são *à priori* mais sensíveis às condições predominantes pelo exterior. É conveniente, contudo, que se respeitem certas precauções durante todo o exame, nomeadamente:

- Verificar se a superfície não está directamente exposta ao sol (através de uma janela). Uma cortina bem colocada permite que haja o estancamento do problema, se assim for;
- Verificar se algum radiador não se encontra em funcionamento perto da superfície a analisar. É mesmo aconselhado que se retire tudo antes da inspecção;
- Verificar se alguma corrente circula dentro das bainhas eléctricas, no interior das superfícies a analisar;
- Verificar se alguma corrente de ar não vem perturbar o exame termográfico (de uma janela aberta);
- Verificar a ausência de humidade nas paredes.

É conveniente outra verificação, relacionada com as condições de pressão predominantes dentro dos edifícios. As diferenças de pressão dependem essencialmente dos seguintes factores:

- Do vento predominante no exterior do edifício;
- Do sistema de ventilação;
- Da diferença de temperatura entre o exterior e o interior do edifício (diferença de pressão térmica).

Este ponto é particularmente importante para a colocação em evidência da infiltração do ar. Uma parede que se encontre na direcção predominante do vento facilita a entrada de ar, enquanto que a parede oposta favorece a saída. (Manuel, 1997)

No entanto, para além da análise térmica efectuada através da câmara termográfica, na determinação das temperaturas superficiais dos elementos construtivos dos edifícios, foram também medidas as temperaturas ambientais, com recurso a um termómetro profissional de precisão, temperaturas estas que posteriormente seriam usadas para uma análise através do Programa Bisco.

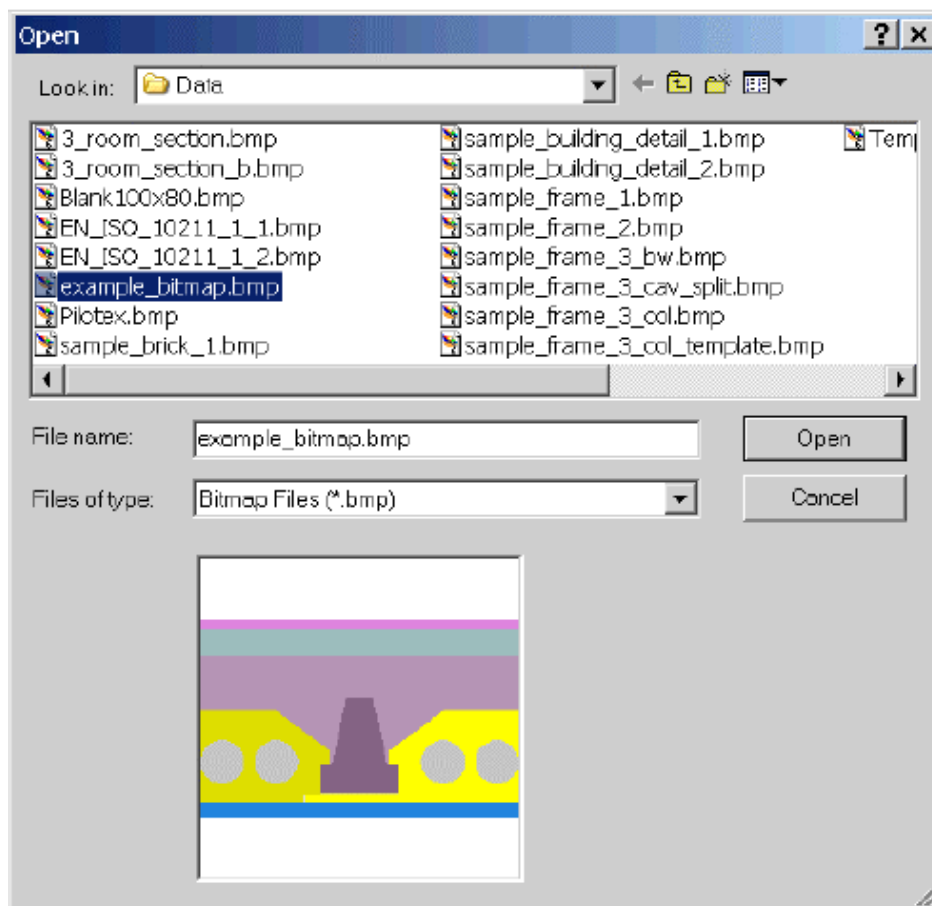
### 3.2.2 Método computacional (Programa Bisco)

Este segundo método consiste numa análise numérica efectuada aos edifícios, através de um programa computacional que permite conhecer quais os caminhos preferenciais do fluxo de calor que atravessa os edifícios nos seus pontos mais fracos (pontes térmicas), bem como o coeficiente de transmissão térmica linear ( $\Psi - \Psi_i$ ), entre outros parâmetros.

O Bisco é um programa que foi inicialmente desenvolvido no ano de 1995 numa concessão de pesquisa do Instituto Flemish para a promoção da *Industrial Scientific and Technological Research* (projecto n.º VLIET/930243), sendo que a primeira versão oficial saiu em Janeiro de 1996 e que se trata de um programa MS – DOS. Com o passar dos anos foram surgindo novas versões até se chegar ao ano de 1999, em que apareceu a primeira versão do Bisco para o Windows, fazendo com que tenha havido uma melhoria significativa da velocidade do cálculo e da facilidade do seu manuseamento (Bisco v8,0w Manual 09,2006). Actualmente, já é possível encontrar a versão 8 do Bisco, versão esta que apresenta muito mais funcionalidades que permitem facilitar o seu uso e a sua compreensão e cálculo.

O Bisco é um programa que realiza uma análise térmica para a transferência de calor de objectos em 2D constituídos por vários materiais, os quais são submetidos a várias e diferentes condições de fronteira. (Bisco v8,0w Manual 09,2006). Este programa permite calcular diferentes parâmetros térmicos dos objectos analisados, tais como o factor de temperatura, coeficiente de transmissão térmica linear, bem como a transmissão térmica da caixilharia de uma janela. Além disso, o Bisco, para além de permitir o cálculo dos parâmetros térmicos definidos pelos padrões Europeus referidos, apresenta um acréscimo/módulo que permite a determinação da radiação e da convecção infravermelhas, de uma maneira fisicamente realista. A radiação é baseada em factores de vista, emissividades e temperaturas superficiais. A convecção é baseada em leis empíricas que incluem a influência não linear das temperaturas do ar e das superfícies (Bisco v8,0w Manual 09,2006).

A utilização do Bisco é bastante simples, sendo apenas necessário possuir um pormenor construtivo da ponte térmica a analisar e os materiais que o constituem, com as condutibilidades térmicas definidas. O Programa apresenta vários exemplos já existentes, sendo que, por forma a simplificar a sua utilização, é solicitado que se aproveite um exemplo disponibilizado pela Physibel (Bibliografia) designado por “example\_bitmap.bmp”(figura27).



**Figura 27 – Exemplo do menu open do programa Bisco; fonte: Bisco v8,0w Manual 09,2006 .**

Ao abrir o exemplo, são apresentadas 3 janelas diferentes: a “Blank 100x80.bmp”, na qual será desenhado o pormenor construtivo à escala; a janela “Measures”(medidas), onde serão apresentados os materiais usados, com a respectiva cor previamente escolhida na terceira janela, bem como a escala da quadrícula da primeira janela e a malha de elementos triangulares que irá dividir o pormenor construtivo para uma análise de elementos finitas; a janela “Colours” (cores), em que apresentadas as 255 cores existentes, as quais são escolhidas pelo utilizador a usar no desenho do pormenor na primeira janela. Além das cores apresentadas, é também nesta janela que são inseridas as condutibilidades térmicas dos materiais, bem como as temperaturas exteriores e interiores a que se

encontravam aquando da sua análise termográfica. Como tal, é necessário atribuir também diferentes cores para os dois ambientes existentes, exterior e interior. (Figura 28).

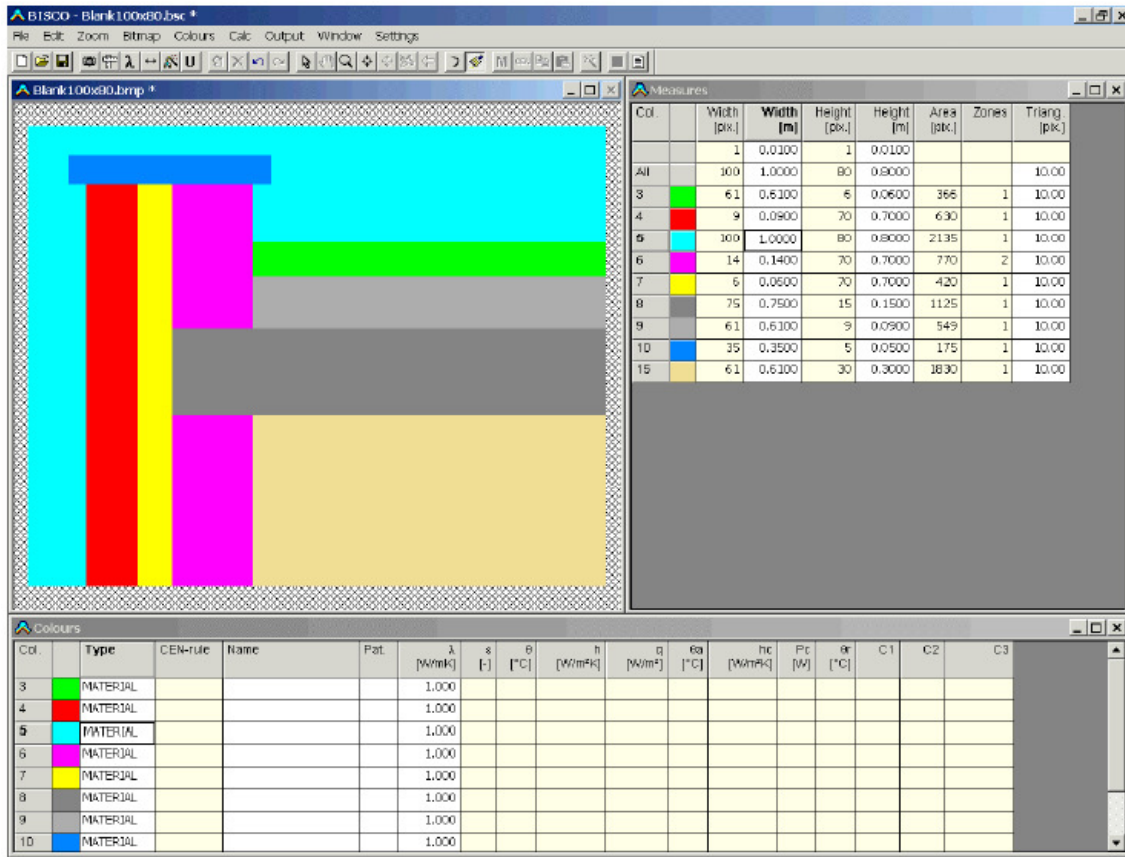


Figura 28 – Ecrã do programa com as três janelas a preencher no programa Bisco; fonte: Bisco v8,0w Manual 09,2006.

Após o preenchimento das informações necessárias em todas as janelas, o programa encontra-se preparado para o cálculo da quantidade de calor que atravessa o pormenor. Para isso, é necessário que o programa faça a divisão do pormenor numa malha triangular (malha de elementos finitos), calculando depois a temperatura em cada um dos nós da malha do elemento construtivo. A determinação das temperaturas em cada um dos nós que pertencem à malha de elementos finitos é realizada através da resolução computacional de várias matrizes que, após serem concluídas, mostram a variação térmica que os elementos construtivos apresentam ao longo dos seus constituintes. Essas matrizes provêm da equação que origina o problema de condução de calor num meio bidimensional em equilíbrio (regime estacionário, sem variação no tempo) que é facilmente deduzida se se considerar um elemento diferencial de lados  $dx$  e  $dy$ , e com fluxo de calor a atravessar o contorno do elemento (figura 29).

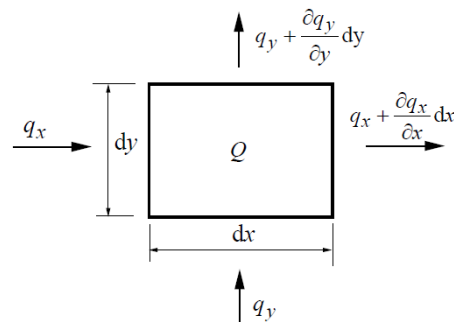


Figura 29 – Elemento diferencial a ser atravessado pelo fluxo de calor; fonte: Souza, 2003.

Aplicando-se a primeira lei da termodinâmica, Lei da Conservação da energia, ao elemento bidimensional, e analisando a diferença entre o fluxo que sai e o que entra no elemento, obtém-se (Vila Real, P.M.;1988):

$$Qdx dy + \left( q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx \right) dy + \left( q_y + \frac{\partial q_y}{\partial y} dy \right) dx = \rho c \frac{d\theta}{dn} d_x d_y \quad (3.1)$$

Em que:

$Qdx dy$  – quantidade de calor criado no interior do corpo;

$\rho c \frac{d\theta}{dn}$  - variação da energia interna na unidade de tempo;

$q_x, q_y$  – fluxo de calor ( $W/m^2$ ).

Ao cancelar os termos repetidos e dividindo a equação resultante por  $dx dy$ , obtém-se:

$$\left( \frac{\partial q_x}{\partial x} \right) + \left( \frac{\partial q_y}{\partial y} \right) + Q - \rho c \frac{d\theta}{dn} = 0 \text{ no corpo analisado.} \quad (3.2)$$

Aplicando a Lei de Fourier à equação, tem-se:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_x \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_y \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) + Q - \rho c \frac{\partial \theta}{\partial t} = 0 \quad (3.3)$$

A condutibilidade térmica  $\lambda$ , segundo as hipóteses da homogeneidade térmica, é constante em qualquer ponto do material e em qualquer direcção, podendo escrever-se a equação da condução de calor do seguinte modo (Vila Real, P.M.;1988 e Aelenei,D.;2010):

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{Q}{\lambda} - \frac{\rho c}{\lambda} * \frac{\partial \theta}{\partial t} = 0 \quad \text{ou} \quad \nabla^2 \theta + \frac{Q}{\lambda} - \frac{\rho c}{\lambda} * \frac{\partial \theta}{\partial t} = 0 \quad (3.4)$$

Onde  $\nabla^2$  é o operador diferencial e  $\frac{\rho c}{\lambda}$  a difusividade térmica.  $\frac{\partial \theta}{\partial t} = 0$ , e sem produção interna de calor, a equação pode ser escrita numa forma mais simplificada:

$$\nabla^2 \theta = 0 \quad (3.5)$$

No caso de fluxo de calor unidimensional, verifica-se que o fluxo de calor numa direcção é proporcional à taxa de variação da temperatura  $\theta$  naquela direcção (Lei de Fourier). Assim,

$$q_x = -\lambda_x \frac{d\theta}{dx} \quad (3.6)$$

onde  $\lambda_x$  é a condutibilidade térmica do elemento.

O sinal negativo da equação 3.6 significa que o fluxo de calor ocorre em sentido contrário ao gradiente de temperatura (Vila Real,P.M.; 1988).

Para o caso mais geral (bi ou tridimensional), observa-se que o vector fluxo de calor é função do gradiente de temperatura  $\theta$ .

$$q = -\lambda \nabla \theta \quad (3.7)$$

onde, para o caso bidimensional,

$$\lambda = \lambda(x, y) = \begin{bmatrix} \lambda_{xx}(x, y) & \lambda_{xy}(x, y) \\ \lambda_{xy}(x, y) & \lambda_{yy}(x, y) \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Em que  $\lambda$  é a matriz de condutibilidade térmica, e

$$\nabla \theta = \begin{Bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{Bmatrix} \theta = \begin{Bmatrix} \frac{\partial \theta}{\partial x} \\ \frac{\partial \theta}{\partial y} \end{Bmatrix} = grad \theta \quad (3.9)$$

De seguida, o pormenor apresentará um esquema de cores correspondente à temperatura a que se encontra (figura 30), variando desde as cores mais escuras (temperaturas mais baixas) até às cores mais claras e quentes (temperaturas mais altas).

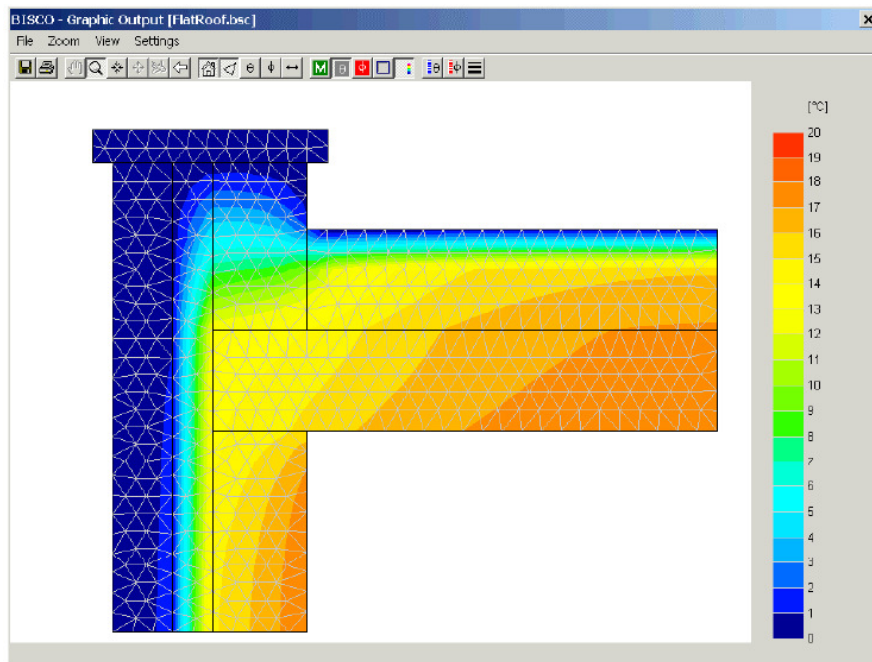


Figura 30 – Esquema da variação térmica do pormenor construtivo analisado; fonte: Bisco v8,0w Manual 09,2006.

No entanto, também é possível também obter o valor do fluxo de calor através dos valores obtidos nas matrizes dos elementos finitos:

$$\begin{Bmatrix} q_x \\ q_y \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} \lambda_{xx} & \lambda_{xy} \\ \lambda_{xy} & \lambda_{yy} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial \theta}{\partial x} \\ \frac{\partial \theta}{\partial y} \end{Bmatrix}, \quad (3.10)$$

abrindo uma janela onde apresentará o resultado obtido(figura 31).



**BISCO Calculation Results**

BISCO data file: FlatRoof.bsc

Number of nodes = 538  
 Heat flow divergence for total object = 0.00049037  
 Heat flow divergence for worst node = 0.00268686

Col.	Type	Name	tmin [°C]	tmax [°C]	ta [°C]	flow in [W/m]	flow out [W/m]
3	MATERIAL	roof insulation	-0.05	15.86			
4	MATERIAL	brickwork	0.06	1.22			
5	BC_SIMPL	outside	-0.05	2.20		0.04	12.80
6	MATERIAL	brickwork	0.16	17.94			
7	MATERIAL	wall insulation	0.16	14.81			
8	MATERIAL	concrete	12.84	17.79			
9	MATERIAL	screed	9.75	17.15			
10	MATERIAL	stone	0.04	0.40			
15	BC_SIMPL	inside	15.38	17.94		12.76	0.00

**Figura 31 – Janela com os valores do fluxo de calor que atravessa o pormenor; fonte: Bisco v8,0w Manual 09,2006.**

Como referido, além da quantidade de calor que atravessa o pormenor, é também necessário obter o valor do coeficiente de transmissão térmica linear ( $\Psi$ ), sendo para isso necessário alterar o tamanho da janela “Bitmap”, pois é preciso que o pormenor apresente uma extensão, tanto superior como inferior, maior que 1 metro. Este passo é necessário por forma a que exista uma extensão suficiente de zona corrente que permita que a transmissão de calor estabilize e deixe de sofrer o desvio provocado pela heterogeneidade em causa. Por outras palavras, deve acautelar-se que a distância à ponte térmica seja suficiente para que as linhas de fluxo de calor voltem a ser perpendiculares ao paramento, retornando o fluxo à forma base de fenómeno unidimensional. Neste sentido, é necessário também ter atenção a uma eventual necessidade de refinamento da malha de cálculo em zonas críticas e ter em conta possíveis interferências de outras pontes térmicas próximas.

No que se refere à determinação do parâmetro  $\Psi$ , no estudo da térmica de edifícios (fluxo de calor), este é um passo importante para o cálculo térmico referente às pontes térmicas, uma vez que a avaliação do fluxo de calor que atravessam os pontos críticos é obtido por:

$$Q = \frac{\psi \times (\theta_i - \theta_e)}{B} \quad (\text{W/m}^2) \quad (3.11)$$

Em que:

$\Psi$  – Coeficiente de transmissão térmica da ponte térmica em estudo (W/m. °C);

B – Dimensão linear da ponte térmica (m);

$\theta_i$  – Temperatura do ambiente interior ( °C);

$\theta_e$  – Temperatura do ambiente exterior ( °C).

No que se refere ao coeficiente  $\Psi$ , a norma EN ISO 10211 estabelece que, para a sua correcta determinação, através do programa computacional, é necessário obter primeiro, por cálculo bidimensional, o coeficiente de transmissão térmica do pormenor construtivo que faz a separação dos dois ambientes, interior e exterior, tidos em consideração.

Esse cálculo é realizado através do recurso a expressões indicadas na norma e usadas no programa, tendo como base as dimensões do pormenor construtivo analisado.

Como exemplo demonstrativo deste cálculo, apresentam-se dois pormenores (Figura 32 e figura 33), representativos de pontes térmicas que separam dois ambientes com um diferencial térmico de  $\Delta\theta = \theta_i - \theta_e$ . Assim sendo, pretende-se calcular o fluxo de calor que atravessa os pormenores por unidade de comprimento z, tendo em conta o acréscimo introduzido pelas pontes térmicas.

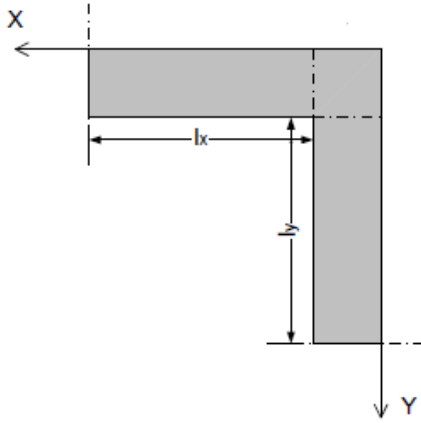


Figura 32 – Corte no plano XY; fonte: EN ISO 10211.

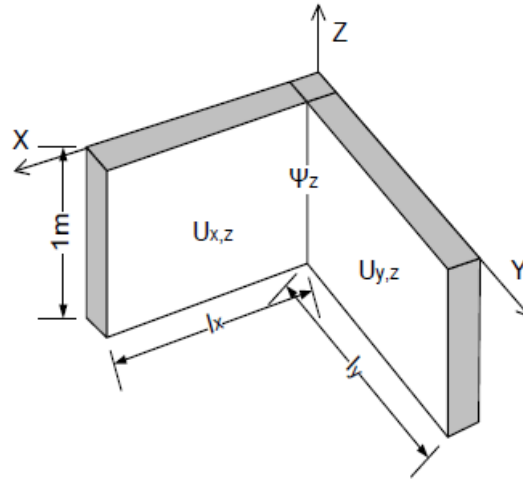


Figura 33 – Corte tridimensional de um cunhal; fonte EN ISO 10211.

$$Q = \psi_z \times \Delta\theta + U_{x,z} \times l_z \times \Delta\theta + U_{y,z} \times l_y \times \Delta\theta \quad (\text{W/m}). \quad (3.12)$$

Em que:

$U_{x,z}$  – Coeficiente de transmissão térmica da envolvente na direcção x, que estabelece a ponte térmica analisada ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{C}$ );

$U_{y,z}$  – Coeficiente de transmissão térmica da envolvente na direcção y, que estabelece a ponte térmica analisada ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{C}$ );

$l_x$  e  $l_y$  – Comprimento dentro do modelo bidimensional a qual o U se aplica (m).

Ao dividir-se o fluxo de calor obtido pela diferencial de temperaturas verificado, é possível obter o coeficiente de transmissão térmica linear, associado à ponte térmica em análise ( $L^{2D}$ ):

$$L^{2D} = \frac{Q}{\Delta\theta} = \psi_z + U_{x,z} \times l_z + U_{y,z} \times l_y \quad (\text{W/m.K}). \quad (3.13)$$

Conseguindo assim achar o valor pretendido do coeficiente de transmissão térmica linear do pormenor ( $\Psi$ ):

$$\psi_z = L^{2D} - U_{x,z} \times l_z - U_{y,z} \times l_y \quad (\text{W/m.K}). \quad (3.14)$$

Sendo no caso geral:

$$\psi = L^{2D} - \sum U_i \times l_i \quad (\text{W/m.K}). \quad (3.15)$$

Após a determinação deste parâmetro, através do recurso ao programa Bisco, é possível obter o valor do fluxo de calor.

### **3.3 Caracterização das pontes térmicas analisadas**

Nos casos em estudo, verificou-se que se encontravam algumas anomalias térmicas provocadas por pontes térmicas, tanto lineares como planas (em que pontes térmicas planas são heterogeneidades inseridas em zonas correntes da envolvente, como por exemplo certos pilares e talões de viga). Por forma a obter a informação relativa às trocas de calor e, conseqüentemente, ao aumento das perdas energéticas dos edifícios, recorreu-se ao programa informático Bisco para determinar o parâmetro necessário para o cálculo, ou seja, o coeficiente de transmissão térmica linear –  $\Psi$ . Essa análise foi efectuada recorrendo a pormenores construtivos dos edifícios, os quais foram introduzidos no programa e submetidos a diferentes temperaturas ambientais, interior e exterior. As diferenças térmicas provocadas têm origem nas temperaturas retiradas aquando do estudo termográfico (Quadro 8).

**Quadro 8 – Representação das temperaturas inseridas no programa Bisco.**

	Edifícios	Temperatura interior [°C]	Temperatura Exterior [°C]
Temperaturas obtidas na análise termográfica	Ed.X	17,3	10,4
	Ed.VII	14,1	7,3
	Ed.II	25	10,8

Na análise das pontes térmicas encontradas nas imagens termográficas recolhidas, recorreu-se ao programa computacional Bisco para obter os valores dos coeficientes de transmissão térmica linear –  $\Psi$  -, para cada exemplo. Como referido anteriormente, para uma eficaz e eficiente utilização do programa, na recolha da informação necessária, foi seguida a norma EN ISO 10211, que indica a forma de modelar a ponte térmica em programas numéricos de diferenças ou elementos finitos e a determinação do coeficiente térmico linear ( $\Psi$ ). Apesar de a norma direccionar o modo de modelar programas para uma análise bi e tridimensional, o programa empregado apenas permite um estudo de duas direcções de espaço, ou seja, bidimensional.

De seguida são apresentados as heterogeneidades e anomalias térmicas encontradas nos edifícios em estudo. Em cada caso apresentado, serão dispostos os valores correspondentes a cada diferencial térmico estudado e os valores de resistências e condutibilidades térmicas de cada material constituinte dos pormenores construtivos investigados, como nota introdutória para a análise realizada no programa Bisco.

O primeiro edifício analisado refere-se ao Edifício II, no qual foram estudadas duas pontes térmicas, ligação fachada com cobertura e ligação fachada com fachada – cunhal.

Analisando o primeiro caso – ligação fachada com fachada (figura 34) – verifica-se que, no local onde as duas fachadas se encontram, existe um pilar de betão armado, o que irá provocar um agravamento das trocas de calor. Além da existência deste elemento construtivo no local da ligação, as paredes em si fazem também com que a eficiência energética do edifício seja muito deficitária, dado que estas são apenas constituídas por um pano de alvenaria com espessura de 25cm, como se verifica no pormenor construtivo (figura 36).

Como é possível observar através da imagem termográfica obtida, existe um diferencial térmico bastante acentuado, devido ao referido (Figura35).



Figura 34 – Fotografia da ponte térmica analisada cunhal.

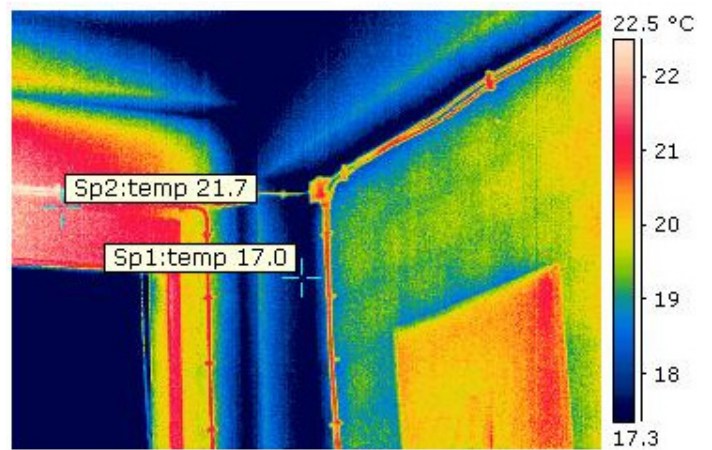


Figura 35 – Imagem termográfica do edifício II.

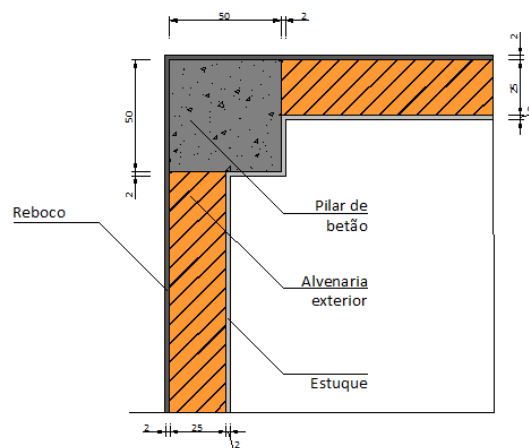


Figura 36- Pormenor construtivo da ligação.

Na modelação do pormenor construtivo no programa Bisco, constata-se que o diferencial térmico que se verifica ao longo da parede se prolonga na zona do pilar, sendo de notar que, na aresta exterior do pilar e na interior, as temperaturas estabelecidas aí são mais elevadas que nos outros locais. Esse aspecto é comprovado quando se analisa a imagem do fluxo de calor que mostra que, na aresta interior do pilar, existe uma maior acumulação de linhas de fluxo que provoca esse aumento da temperatura no local (Figura 37 b).

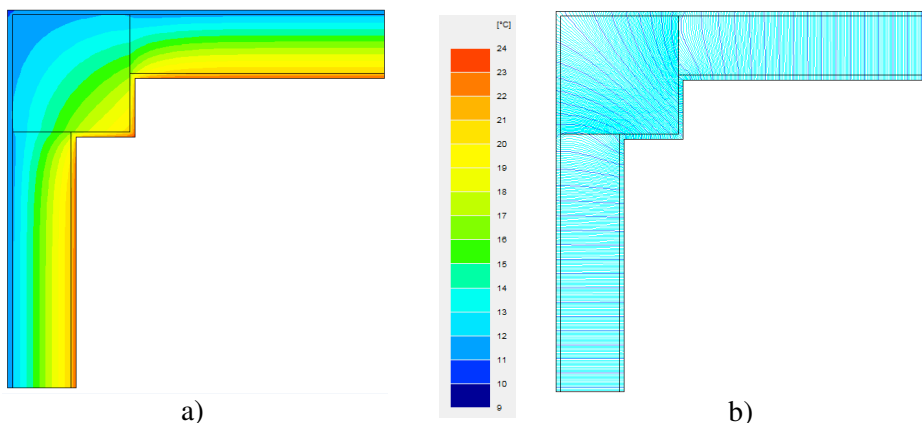


Figura 37 - Imagem da ponte térmica linear do encontro de duas paredes verticais na variação térmica representativa do trabalho de campo realizado ( $\Delta\theta = 25 - 10.8$ ). a) Variação térmica obtida para o pormenor representado ; b) Imagem das linhas do fluxo de calor que atravessam a ligação.

No quadro 9 são apresentados os valores obtidos para os coeficientes de transmissão térmica lineares para cada diferença de temperatura analisada.

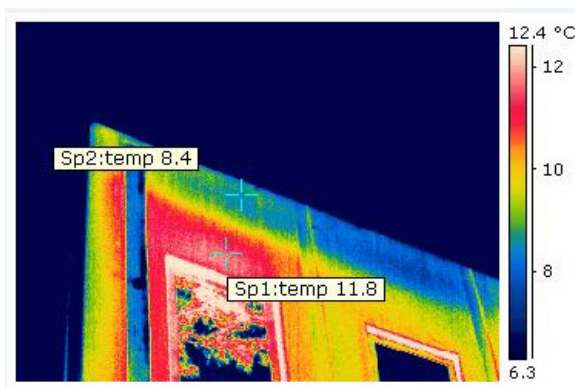
**Quadro 9 - Quadro com os valores retirados do Programa Bisco para a anomalia do edifício II – Cunhal.**

$\Theta_e$ [°C]	10,8
$\Theta_i$ [°C]	25
$e_p$ [m]	0,79
$\Psi_{\text{Bisco}}$ [W/ m. °C]	0,995
$\Psi_{\text{RCCTE}}$ [W/ m. °C]	0,5
$L^{2D}$ [W/ m. °C]	3,53
$U_{\text{zona corrente Bisco}}$ [W/ m <sup>2</sup> . °C]	1,167
$U_{\text{zona corrente determinado}}$ [W/ m <sup>2</sup> . °C]	1,168
Erro entre $U_{\text{zona corrente}}$	0,001
Verificação do RCCTE ( $U \leq U_{\text{máx}}$ (Quadro IX.I – RCCTE))	Verifica

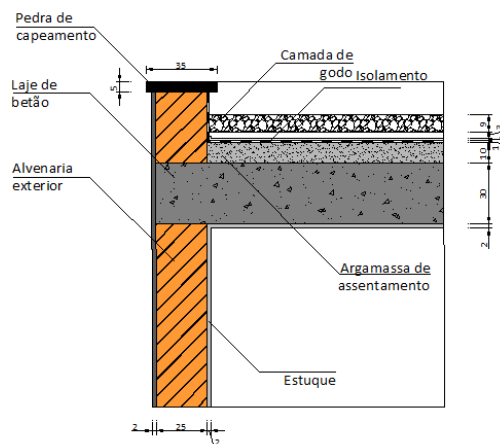
A segunda anomalia térmica analisada refere-se à ligação da fachada com a cobertura (Figura 38). Ao observar-se a imagem termográfica retirada, verifica-se que existe um diferencial térmico bastante acentuado, o que denuncia um grave problema de eficiência térmica no local (Figura 39).



**Figura 38 – Fotografia da fachada do edifício.**



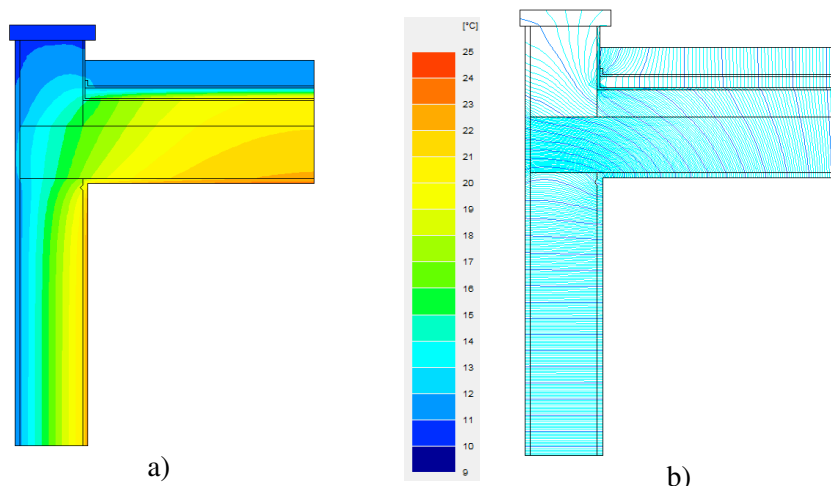
**Figura 39 – Fotografia termográfica.**



**Figura 40 – Pormenor construtivo.**

Ao realizar-se a modelação do pormenor construtivo (figura 40) no programa, verifica-se que, conforme o observado na imagem termográfica, existem duas zonas críticas na ligação analisada. Um dos pontos críticos diz respeito à região onde as temperaturas são mais baixas, uma vez que se encontra mais exposto aos agentes atmosféricos e assim favorece o aparecimento de anomalias como condensações na zona da ligação com a fachada. A humidade absorvida pelos materiais vai evidenciar-se no local crítico mais próximo. A figura 41 b) mostra isso mesmo pois as linhas do fluxo vão concentrar-se no local de ligação da fachada com a laje de cobertura.

O segundo ponto crítico observado diz respeito à elevada concentração de linhas de fluxo na zona de ligação da laje de cobertura com a fachada, indicando assim que esse é um ponto através do qual irá ocorrer uma maior troca de calor (Figura 41 b)).



**Figura 41 - Imagem representativa da ponte térmica da ligação da fachada com a laje de cobertura na variação térmica representativa do trabalho de campo realizado ( $\Delta\theta = 25 - 10.8$ ). a) Variação térmica obtida para o pormenor representado ; b) Imagem das linhas do fluxo de calor que atravessam a ligação.**

De seguida são apresentados os valores obtidos para os coeficientes de transmissão térmica lineares para cada diferença de temperatura analisada (quadro 10).

**Quadro 10 - Quadro com os valores retirados do Programa Bisco para a anomalia do edifício II – Ligação da fachada com a laje de cobertura.**

$\Theta_e$ [°C]	10.8
$\Theta_i$ [°C]	25
$e_p$ [m]	0,54
$\Psi_{Bisco}$ [W/ m. °C]	0,365
$\Psi_{RCCTE}$ [W/ m. °C]	0,5
$L^{2D}$ [W/ m. °C]	2,32
$U_{zona\ corrente\ Bisco}$ [W/ m <sup>2</sup> . °C]	1,167
$U_{zona\ corrente\ determinado}$ [W/ m <sup>2</sup> . °C]	1,168
Erro entre $U_{zona\ corrente}$	0,001
Verificação do RCCTE ( $U \leq U_{m\acute{a}x}$ (Quadro IX.I – RCCTE))	Verifica

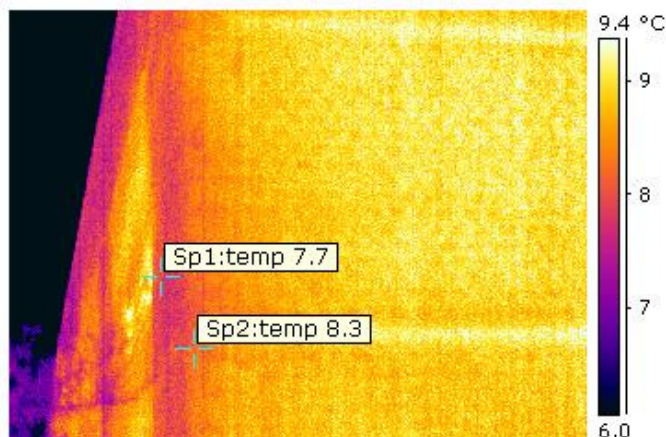
No que se refere ao edifício VII – Departamento de Matemática -, as pontes térmicas analisadas são do tipo lineares, tratando-se de pontes térmicas provocadas pela existência de talões de viga e pela existência de um pilar na junção de duas paredes.



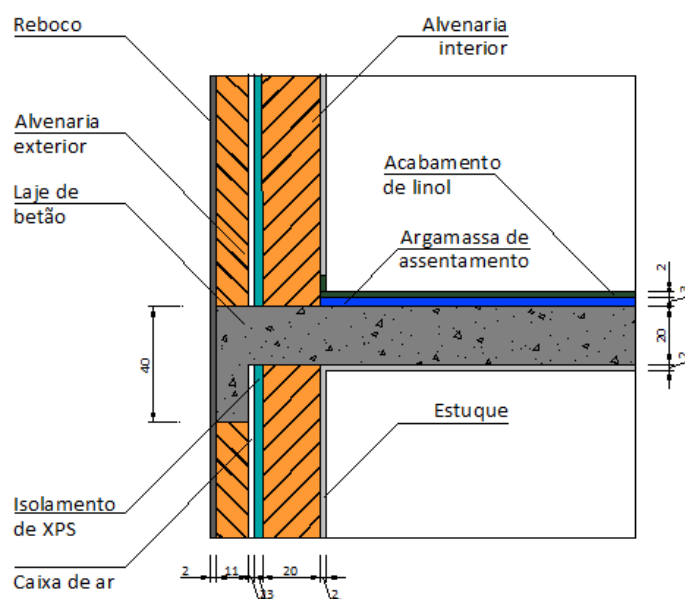
O primeiro caso analisado refere-se à existência de um talão de viga na ligação da fachada com o pavimento intermédio existente, na fachada Sul do edifício (Figura 42). Como é visível na imagem da figura 43, existe um diferencial de coloração na zona referida que indica a heterogeneidade e a anomalia térmica referida. Através do pormenor construtivo da ligação referida, é possível verificar que esta anomalia térmica ocorre devido à falta de homogeneidade dos materiais utilizados na construção do edifício. Esta falta é provocada pela inserção de betão, para a execução do talão de viga e laje, na fachada constituída por pano duplo de alvenaria de tijolo com caixa de ar e isolamento na face exterior do segundo pano (figura 44).



**Figura 42 - Fachada do Edifício VII – Ponte térmica linear de ligação da fachada com o pavimento do piso intermédio e ligação entre as duas fachadas – Cunhal.**



**Figura 43 – Imagem termográfica da ponte térmica.**



**Figura 44 – Pormenor construtivo.**

Ao inserir o pormenor apresentado no programa Bisco, é possível verificar que, na zona referida, existe um acréscimo de linhas de fluxo devido a uma diminuição da resistência à passagem deste e, por conseguinte, o aparecimento de anomalias térmicas como testemunhado no esquema de temperaturas mostrado (Figura 45a).

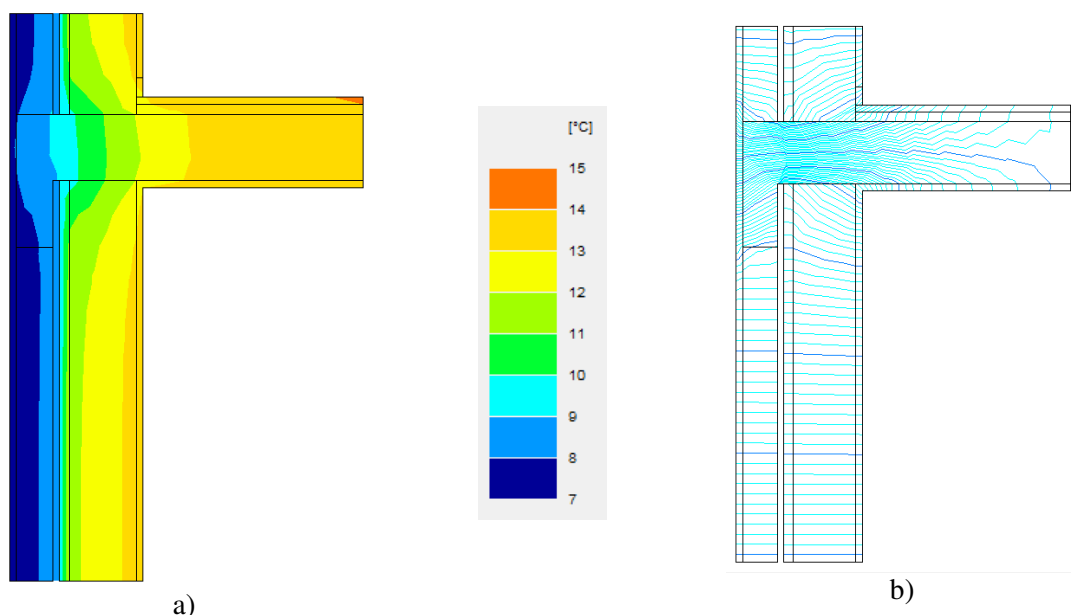


Figura 45 - Imagem expressiva da ponte térmica mista verificada na análise do edifício VII – Ligação fachada com pavimento do piso intermédio e presença do talão de viga – Para a variação da temperatura observada na análise termográfica efectuada ( $\Delta\theta = 14,1-7,3$ ). a) Variação térmica verificada para o pormenor analisado; b) Esquema representativo das linhas de fluxo que atravessam o pormenor.

No quadro 11 são apresentados os valores obtidos para os coeficientes de transmissão térmica lineares para cada diferença de temperatura analisado.

Quadro 11 – Quadro com os valores retirados do Programa Bisco.

$\Theta_e$ [°C]	7,3
$\Theta_i$ [°C]	14,1
$e_p$ [m]	0,51
$L^{2D}$ [W/ m. °C]	1,33
$\Psi_{RCCTE}$ [W/ m. °C]	0,8
$\Psi_{Bisco}$ [W/ m. °C] <sup>3</sup>	(0,630+0,708)=1,34
$U_{\text{zona corrente Bisco}}$ [W/ m <sup>2</sup> . °C]	0,435
$U_{\text{zona corrente determinado}}$ [W/ m <sup>2</sup> . °C]	0,446
Erro entre $U_{\text{zona corrente}}$	0,012
Verificação do RCCTE ( $U \leq U_{\text{máx}}$ (Quadro IX.I – RCCTE))	Verifica

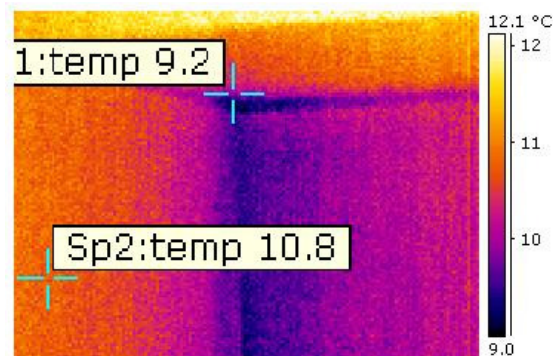
Relativamente à segunda heterogeneidade encontrada no edifício VII, foi observada a junção de dois paramentos do edifício com a existência de um pilar nessa junção (Figura 46).

<sup>3</sup> Valor do coeficiente de transmissão térmica linear contabilizando o  $\Psi$  inferior e o  $\Psi$  superior.

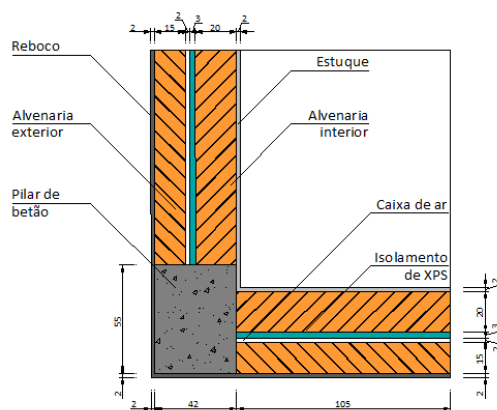




**Figura 46 - Ponte térmica linear da ligação entre duas fachadas e da ligação entre o pavimento e a fachada, observada pelo interior do Edifício VII.**

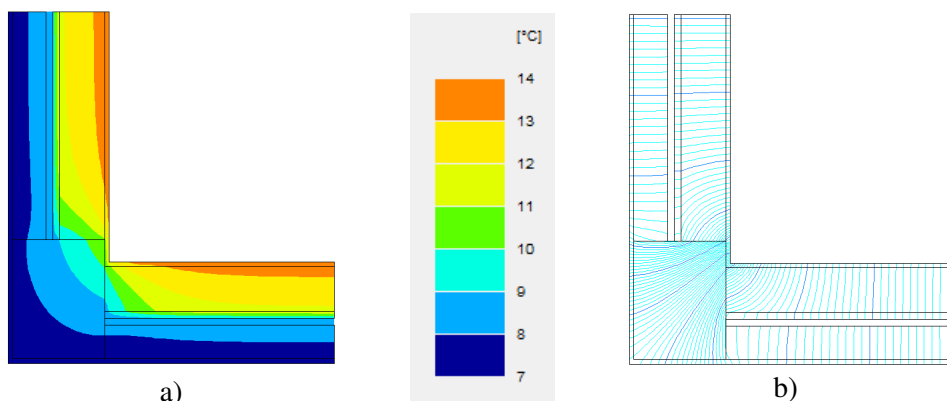


**Figura 47 – Fotografia termográfica do cunhal analisado do edifício VII.**



**Figura 48 – Pormenor construtivo.**

Na figura apresentada, verifica-se que, no ponto de intercepção dos dois paramentos, se observa uma coloração de tonalidade mais escura do que as restantes apresentadas, resultante da fragilidade referida e da baixa resistência à passagem do calor (Figura 46). Observando o pormenor construtivo apresentado (Figura 48), verifica-se que, para além da ligação das paredes verticais já se tratar de um aspecto negativo, devido à elevada concentração das linhas de fluxo, este apresenta um pilar na zona crítica. Assim sendo, a presença deste pilar provoca um aumento da concentração das linhas de fluxo que já se verificava, devido à falta de homogeneidade dos materiais construtivos do nó (Figura 49 b)).



**Figura 49 - Imagem representativa da ponte térmica linear do encontro de duas paredes verticais na variação térmica representativa do trabalho de campo realizado ( $\Delta\theta = 14.1-7.3$ ). a) Variação térmica obtida para o pormenor representado ; b) Imagem das linhas do fluxo de calor que atravessam a ligação.**

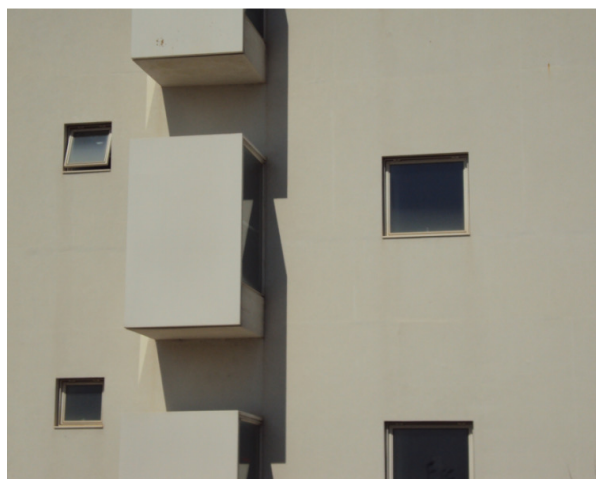
Tal como no primeiro caso analisado, no quadro 12, são apresentados os valores obtidos através de uma análise, no programa Bisco, dos coeficientes de transmissão térmica.

**Quadro 12 – Resultados obtidos na análise da ponte térmica no Programa Bisco.**

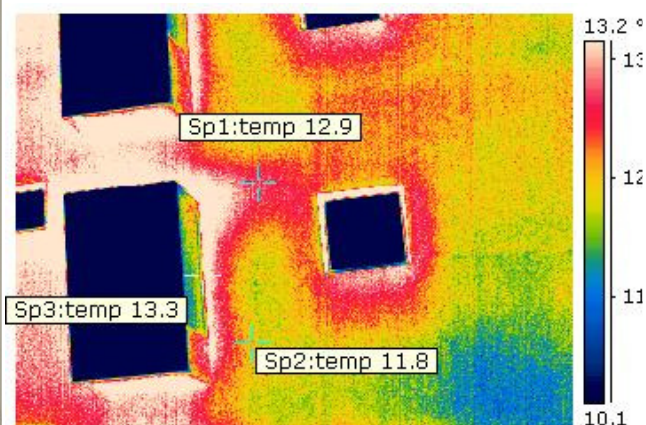
$\Theta_e$ [°C]	7,3
$\Theta_i$ [°C]	14,1
$e_p$ [m]	0,44
$L^{2D}$ [W/ m.°C]	1,49
$\Psi_{RCCTE}$ [W/ m.°C]	0.2
$\Psi_{Bisco}$ [W/ m.°C]	0,605
$U_{\text{zona corrente Bisco}}$ [W/ m <sup>2</sup> .°C]	0,435
$U_{\text{zona corrente determinado}}$ [W/ m <sup>2</sup> .°C]	0,446
Erro entre U	0,011
Verificação do RCCTE( $U \leq U_{\text{máx}}$ (Quadro IX.I – RCCTE))	Verifica

No que se refere ao segundo edifício em estudo, edifício X – Departamento de Engenharia Electrotécnica -, tal como nos restantes edifícios, foram estudadas duas anomalias térmicas.

O primeiro caso analisado refere-se à ligação da fachada ao peitoril (figura 50 e 51) de um dos envidraçados na fachada Sul do edifício analisado. A fachada em estudo, ao contrário da anterior, apresenta paredes de betão contínuas de espessura de 20 cm (Figura 54).



**Figura 50 - Fachada Sul do Edifício X demonstrativa da ponte térmica da ligação da fachada com os envidraçados.**



**Figura 51 – Fotografia termográfica da ligação da fachada com os envidraçados.**

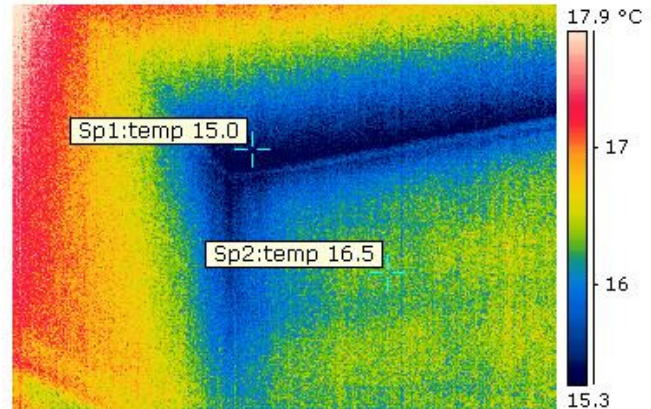
No que se refere ao caso da ligação da fachada com os envidraçados, não foi possível inserir-lo no Bisco, devido à sua elevada complexidade. Assim sendo, no presente caso, adoptou-se o valor do coeficiente de transmissão térmica linear indicado pelo regulamento ( $\Psi= 0$  W/ m.°C). No entanto, apenas pela observação da imagem termográfica é possível verificar que, existe na zona da ligação entre o peitoril e a parede de betão, um aumento significativo de temperatura, dado tratar-se do

principal ponto de descontinuidade de materiais na fachada, concluindo-se assim que o valor adoptado no regulamento não é o mais indicado (Figura 51).

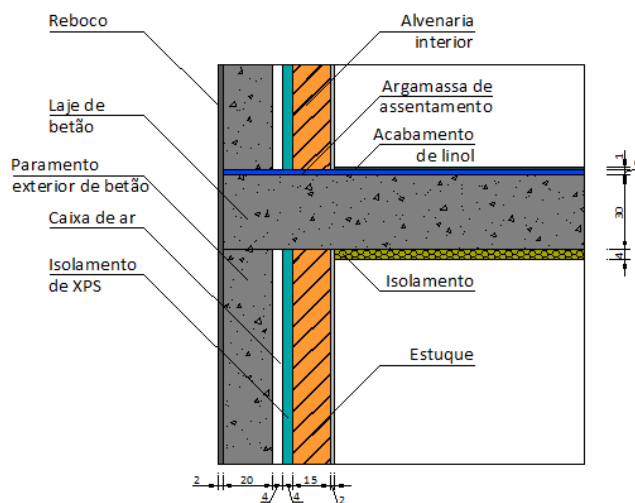
Em relação à segunda ponte térmica analisada, esta resulta da ligação da fachada ao pavimento intermédio de um piso (Figura 52). No entanto, ao analisar a imagem termográfica obtida (Figura 53) da fachada Sul do edifício, observamos que, em comparação com as imagens obtidas no edifício VII, ela não apresenta, pelo exterior, os diferenciais térmicos que representam possíveis pontes térmicas existentes.



**Figura 52 - Ponte térmica linear demonstrativa da ligação da fachada com o piso intermédio do Edifício X, observada pelo interior deste.**



**Figura 53 - Fotografia termográfica da ligação observada no edifício X, da ponte térmica analisada.**



**Figura 54 - Pormenor construtivo.**

Este caso ocorre devido à homogeneidade existente entre a fachada e a ligação do pavimento a esta (uma vez que, o material que as constitui é o mesmo, o betão – Figura 54). No entanto, ao realizar o estudo termográfico pelo interior do Edifício (figura 55 a), verifica-se que, contrariamente ao obtido na análise exterior, se observa que a ponte térmica linear referida se manifesta. Esta diferenciação ocorre devido à constituição da fachada que, no caso, consiste em parede dupla com isolamento térmico e caixa de ar. No entanto, o seu plano exterior, contrariamente ao esperado, não é de alvenaria de tijolo, mas sim de betão, como referido. Assim sendo, inversamente ao obtido no exterior, no interior não existe homogeneidade entre os materiais pois o plano interior da fachada é de alvenaria de tijolo (Figura 54).

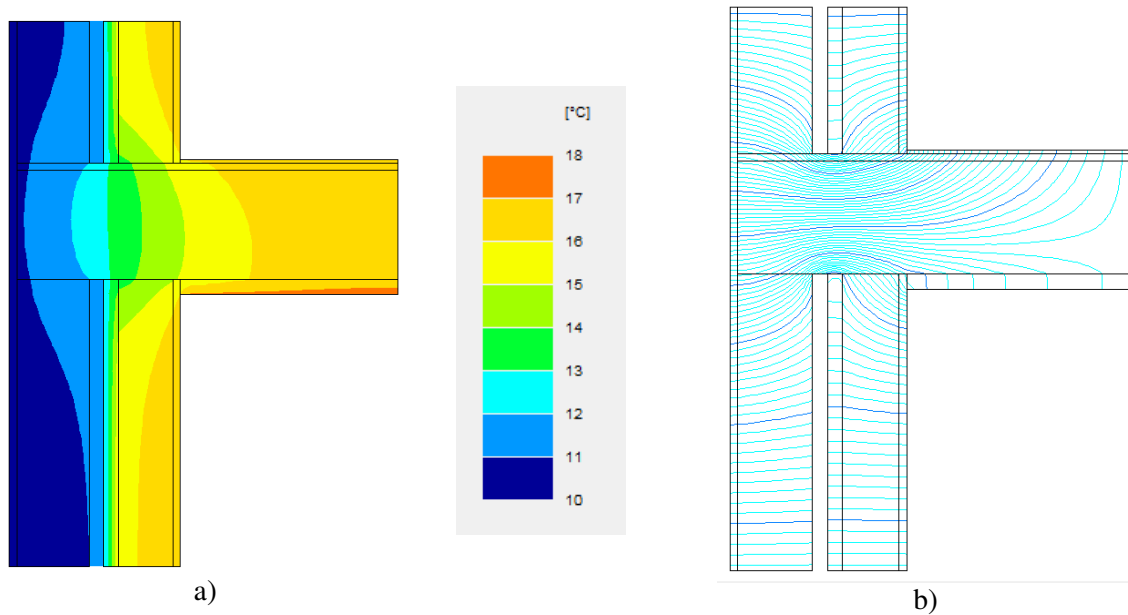


Figura 55 - Imagens relativas à ponte térmica linear da ligação da fachada com o pavimento do piso intermédio no que se refere à variação da temperatura registada no trabalho de campo realizado ( $\Delta\theta = 17,3-10,4$ ). a) Imagem da variação térmica obtida ao longo do pormenor; b) Imagem representativa das linhas de fluxo que atravessam a ligação dos elementos construtivos.

De seguida são apresentados os valores obtidos no programa Bisco, para os parâmetros mencionados (quadro 13).

Quadro 13 - Resultados obtidos na análise da ponte térmica no Programa Bisco.

$\Theta_e$ [°C]	10,4
$\Theta_i$ [°C]	17,3
$e_p$ [m]	0,83
$L^{2D}$ [W/ m. °C]	1,23
$\Psi_{RCCTE}$ [W/ m. °C]	0,5
$\Psi_{Bisco}$ [W/ m. °C] <sup>4</sup>	(0,123+(-0,049))=0,074
$U_{zona\ corrente\ Bisco}$ [W/ m <sup>2</sup> . °C]	0,491
$U_{zona\ corrente\ determinado}$ [W/ m <sup>2</sup> . °C]	0,453
Erro entre U	0,038
Verificação do RCCTE( $U \leq U_{máx}$ (Quadro IX.I – RCCTE))	Verifica

### 3.4 Análises Realizadas

Após a determinação dos coeficientes de transmissão térmica para cada um dos pormenores dos edifícios analisados, efectuaram-se diferentes análises com o propósito de estudar o comportamento e a influência das pontes térmicas nos edifícios referidos, bem como de averiguar a influência do posicionamento e consequentes discrepâncias de valores do isolamento térmico nestas irregularidades térmicas.

<sup>4</sup> Valor do coeficiente de transmissão térmica linear contabilizando o  $\Psi$  inferior e o  $\Psi$  superior.

Assim sendo, efectuaram-se 3 análises às pontes térmicas em estudo:

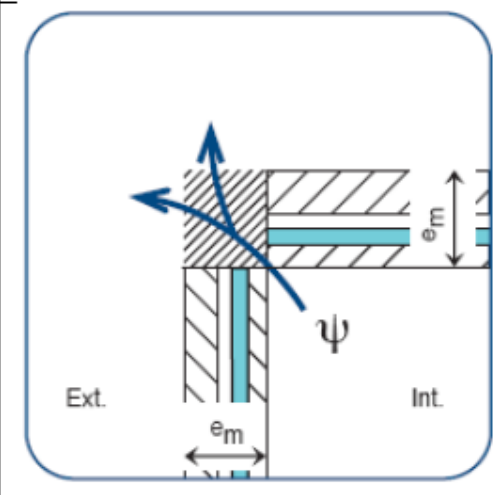
- Análise comparativa entre o fluxo de calor que se obtém a partir dos valores retirados do programa Bisco e os valores estabelecidos no Regulamento Térmico – RCCTE;
- Análise da variação dos valores do coeficiente de transmissão térmica, consoante a posição e espessura do isolamento térmico no pormenor construtivo;
- Análise da variação das perdas térmicas, consoante a posição e espessura do isolamento térmico no pormenor construtivo.

### 3.4.1 Análise comparativa entre o fluxo de calor que se obtém a partir dos valores retirados do programa Bisco e os valores estabelecidos no RCCTE

Na presente análise, pretendeu-se verificar qual seria a diferença, no que se refere a valores de fluxo de calor, que se obteria consoante se escolhesse efectuar o estudo térmico dos edifícios, usando os valores estabelecidos no Regulamento existente, ou realizando o cálculo dos coeficientes de transmissão térmica linear de cada ponte térmica.

No RCCTE, encontram-se tabelado vários valores do coeficiente de transmissão térmica linear –  $\Psi$  – para diversas pontes térmicas lineares, como é possível observar no quadro 14. No entanto, os casos que não são apresentados no regulamento, este adopta o valor de  $\Psi = 0,5$  (W/m. °C), havendo, no entanto, outros casos que também não são contabilizados por este em que não é adoptado o valor referido. São o caso de “paredes interiores intersectando a cobertura e pavimentos, quer sobre o exterior quer sobre espaços não úteis (locais não aquecidos) e as paredes interiores separando um espaço útil de um espaço não útil adjacente desde que  $\tau < 0,7$  “ (Decreto – Lei 80/2006). Nestas situações, o regulamento actual considera que não devem ser contabilizadas.

**Quadro 14 – Tabela com o exemplo dos valores do coeficiente de transmissão térmica linear apresentados no Regulamento térmico Nacional; fonte: Decreto – Lei 80 /2006 – RCCTE.**



$e_m$ * [m]
$\geq 0,22$
0,20

\* Se não for em betão, a parede deve ter uma espessura superior a 0,22m

Assim sendo, para cada ponte térmica estudada, calculou-se o valor do respectivo coeficiente de transmissão térmica linear, através do programa Bisco (como mostrado no ponto 3.3 do presente capítulo). De seguida, calculou-se o fluxo de calor para o valor retirado e para o valor que o RCCTE apresenta para o caso em estudo.

De notar que, ao realizar esta análise, teve-se em consideração que os valores estabelecidos no regulamento se dizem respeito a temperaturas de referência ( $\theta_e=20\text{ }^\circ\text{C}$  e  $\theta_i=0\text{ }^\circ\text{C}$ ). No entanto e para demonstrar e examinar a importância do cálculo do coeficiente de transmissão térmica linear, as temperaturas usadas no programa Bisco foram as de referência estabelecidas na norma ISO 10211 e as retiradas quando se efectuou a análise termográfica. Esta comparação realizou-se para averiguar se os valores obtidos para o parâmetro  $\Psi$  através do programa Bisco, usando as temperaturas de referência estabelecidas no regulamento, seriam próximos ou não dos mencionados no regulamento.

No quadro 15 são apresentados os valores obtidos.

**Quadro 15 – Quadro síntese com os valores dos coeficientes de transmissão térmica linear para cada ponte térmica analisada nos três edifícios, para as temperaturas da análise termográfica, temperaturas de referência do RCCTE e os valores tabelados no RCCTE.**

Edifício Analisado	Ponte térmica em estudo	Temperaturas da análise termográfica		$\Psi$ das temperaturas da análise termográfica (W/(m.K))	$\Psi$ tabelado no RCCTE (W/(m.K))
		Temperatura Interior ( $^\circ\text{C}$ ) / Temperatura Exterior ( $^\circ\text{C}$ )			
Ed. II	Cunhal	25	10.8	0,995	0,5
	Ligação fachada com laje de cobertura	25	10.8	0,365	0,5
Ed. VII	Cunhal	14.1	7.3	0,605	0,2
	Ligação fachada com laje de piso intermédio	14.1	7.3	1,338 <sup>5</sup>	0,8
Ed. X	Ligação fachada com laje de piso intermédio	17,3	10.4	0,081	0,5

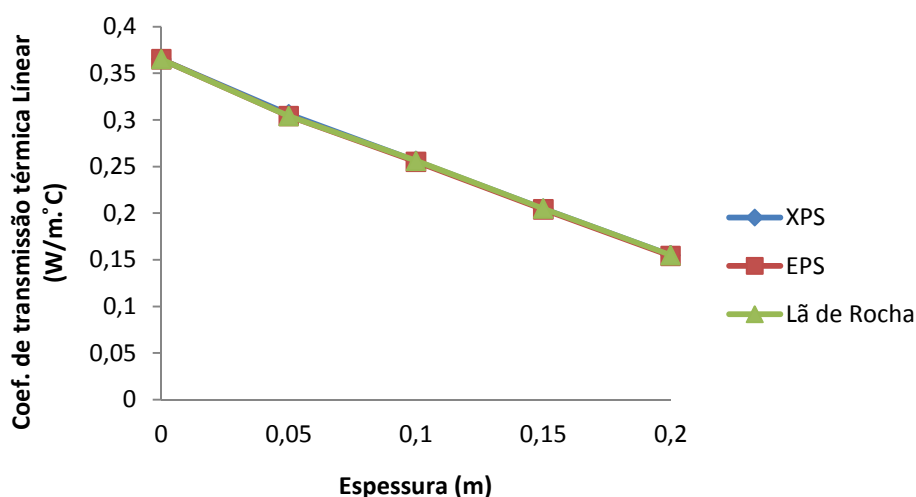
Após o cálculo deste parâmetro, realizou-se a determinação do fluxo de calor, obtendo-se primeiro a transferência de calor através da equação 3.11 no ponto 3.3 do presente capítulo (Quadros 16-20, capítulo 4) e dividindo depois pela área de influência. A análise destes resultados é apresentada no capítulo 4.

<sup>5</sup> Na obtenção do coeficiente de transmissão térmica linear neste tipo de ponte térmica, foi necessário calcular o seu valor na parte superior e na parte inferior da laje. Daí o valor deste parâmetro ser superior a 1 e ser mais elevado que os outros. Este caso aplica-se tanto para o coeficiente de transmissão térmica linear das temperaturas aquando da análise termográfica, como para as temperaturas de referência.



### 3.4.2 *Análise da variação dos valores do coeficiente de transmissão térmica consoante a posição e espessura do isolamento térmico no pormenor construtivo*

Antes de se efectuar a análise indicada, realizou-se um estudo com três tipos de isolamento térmico (XPS, EPS, Lã de rocha) para averiguar se existiam diferenças significativas entre os valores obtidos para cada um deles. Sabe-se que a condutibilidade térmica dos três não é muito diferente, no entanto quis-se verificar qual seria o melhor, pois são todos bastante utilizados nas construções em Portugal. Deste modo, seria possível verificar qual o melhor para se obter um edifício energeticamente mais eficaz. Assim sendo, através do programa Bisco, aplicaram-se nos pormenores construtivos (do edifício II e VII, usados nas seguintes análises), os três tipos de isolante, com diferentes espessuras (2,4,6,8 e 10 cm), para verificar como seria a evolução dos valores dos coeficientes de transmissão térmica linear para cada caso. Após esse estudo, verificou-se que as diferenças entre cada um dos isolantes eram mínimas ou nulas, aquando do cálculo do coeficiente de transmissão térmica linear para as diferentes espessuras, como se demonstra na figura 56. No entanto, é possível observar que, para todos os tipos de isolamento térmico analisados, o coeficiente de transmissão térmica linear baixa à medida que a espessura aumenta, mostrando assim a importância do isolamento térmico nas pontes térmicas.



**Figura 56 – Gráfico demonstrativo da evolução dos valores do coeficiente de transmissão térmica linear para os diferentes tipos de isolante referente ao pormenor construtivo do edifício II – ligação cobertura com a fachada.**

Como tal, para a realização da análise referida, apenas se utilizou um tipo de isolamento térmico – XPS.

A posição e a espessura do isolamento térmico nos edifícios é deveras importante no estudo das pontes térmicas. Por forma a verificar, não só qual o melhor local para a colocação do isolante térmico, mas também a importância da espessura deste, na determinação da influência das pontes térmicas, efectuou-se uma análise comparativa relativamente à colocação do isolante pelo exterior e pelo interior.

Assim sendo, nos pormenores construtivos do edifício II e do edifício VII, colocou-se isolamento térmico pelo interior com diferentes espessuras ( 2, 4, 6, 8 e 10 cm) e retirou-se o valor do coeficiente de transmissão térmica linear. Realizou-se o mesmo para o caso do isolamento térmico pelo exterior. Os valores obtidos foram os apresentados nos quadros 21-24, indicados no capítulo 4.

Após isto, verificou-se qual a evolução do coeficiente de transmissão térmica, consoante a espessura e a colocação do isolamento, os quais são analisados detalhadamente no capítulo 4.

### 3.4.3 *Análise da variação das perdas de calor, consoante a posição e espessura do isolamento térmico no pormenor construtivo*

No que se refere à presente análise, esta consiste numa continuação da anterior pois, após determinado o coeficiente de transmissão térmica linear, consoante a espessura e o posicionamento do isolante, pretendeu-se verificar como é que esses aspectos afectariam a ponte térmica relativamente à sua perda.

Nos quadros 25-28 seguintes mostram-se os resultados obtidos para as perdas de calor usando a equação seguinte no seu cálculo:

$$Q_{pte} = \psi \times \Delta\theta (\text{W/m}) \quad (3.16)$$

Em que:

$Q_{pte}$  – Perdas de calor das pontes térmicas em (W/m);

$\Psi$  – Coeficiente de transmissão térmica linear (W/m.° C);

$\Delta\theta$  – Variação da temperatura (° C).

A determinação das perdas por W/m realizou-se para averiguar como é que o valor do coeficiente de transmissão térmica linear e o respectivo posicionamento do isolamento afectam, efectivamente, os edifícios. Optou-se por se efectuar a determinação das perdas em função da variação da temperatura, por forma a verificar como é que com a simples aplicação do isolamento, o edifício seria afectado, nomeadamente em relação às suas perdas térmicas, mantendo-se constante a variação térmica. Os resultados obtidos são os apresentados no capítulo 4, quadros 25-28.

Após a determinação de todos os parâmetros necessários para a realização das análises referidas, será possível, agora, compreender e estudar mais eficazmente os edifícios examinados e as pontes térmicas escolhidas.



## 4 ANÁLISE DE RESULTADOS

No presente capítulo pretende-se apresentar um estudo mais focado e funcional dos resultados obtidos e apresentados no capítulo 3, ponto 3.4. Através deste passo, é possível concluir se os edifícios do campus universitário analisados apresentam ou não um conforto térmico admissível.

No que se refere à análise comparativa entre os valores obtidos para o fluxo de calor que atravessa cada ponte térmica dos edifícios, com recurso ao programa Bisco (usando temperaturas obtidas da análise termográfica e das temperaturas de referência, indicadas na ISO 10211) e aos valores tabelados para estas no regulamento térmico, verificou-se qual seria a diferença estabelecida entre cada edifício.

Assim sendo, após a determinação dos fluxos de calor de cada ponte térmica dos edifícios, para o caso das temperaturas verificadas aquando da recolha das imagens termográficas, somaram-se esses valores, para cada edifício das respectivas pontes térmicas (quadros 16-20). Realizou-se o mesmo para o caso dos fluxos de calor obtidos através dos valores dos coeficientes de transmissão térmica linear tabelados (quadros 16-20). Após isso, compararam-se os valores obtidos, para assim retirar conclusões relativas às opções estabelecidas no regulamento térmico nacional (Figura57).

### Edifício II

**Quadro 16 – Valores do fluxo de calor para a ponte térmica referente à ligação da fachada com a laje de cobertura.**

	B (m)	$\Psi$ (W/m. $^{\circ}$ C)	( $\theta_i - \theta_e$ ) ( $^{\circ}$ C)	Q(W/m $^2$ )
Bisco(temperaturas da análise termográfica)	5,57	0,365	14,2	0,93
Valor $\Psi$ tabelado no RCCTE	5,57	0,5	14,2	1,27
Bisco(temperaturas referência)	5,57	0,365	20	1,31
Valor $\Psi$ tabelado no RCCTE	5,57	0,5	20	1,80

**Quadro 17 - Valores do fluxo de calor para a ponte térmica referente ao encontro entre duas paredes verticais - Cunhal.**

	B (m)	$\Psi$ (W/m. $^{\circ}$ C)	( $\theta_i - \theta_e$ ) ( $^{\circ}$ C)	Q(W/m $^2$ )
Bisco(temperaturas da análise termográfica)	2,53	0,995	14,2	5,58
Valor $\Psi$ tabelado no RCCTE	2,53	0,5	14,2	2,81
Bisco(temperaturas referência)	2,53	0,995	20	7,87
Valor $\Psi$ tabelado no RCCTE	2,53	0,5	20	3,95

Edifício VII**Quadro 18 - Valores do fluxo de calor para a ponte térmica referente à ligação da fachada com o pavimento do piso intermédio.**

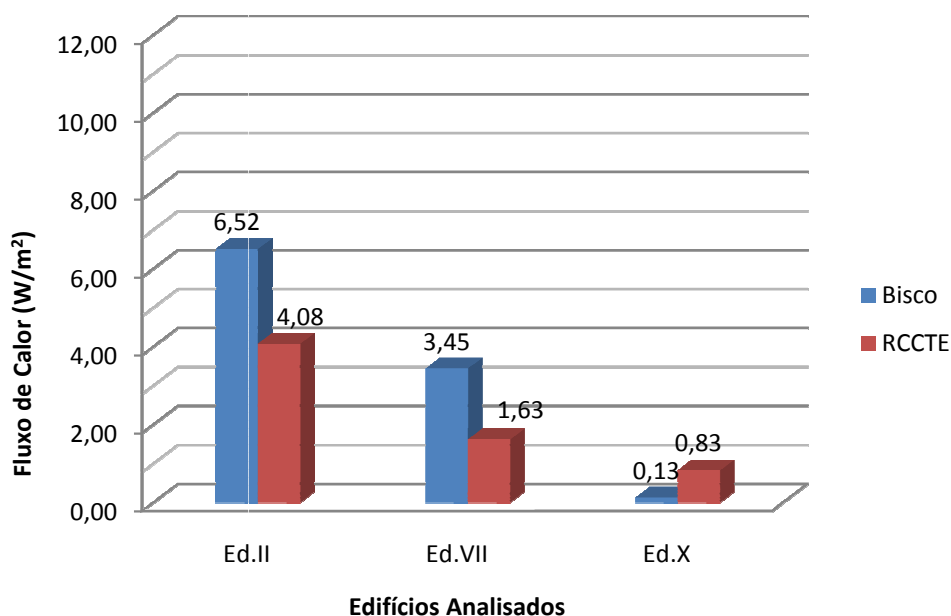
	B (m)	$\Psi$ (W/m. $^{\circ}$ C)	( $\theta_i - \theta_e$ ) ( $^{\circ}$ C)	Q(W/m $^2$ )
Bisco(temperaturas da análise termográfica)	5	1,338	6,8	1,82
Valor $\Psi$ tabelado no RCCTE	5	0,8	6,8	1,09
Bisco(temperaturas referência)	5	1,343	20	5,37
Valor $\Psi$ tabelado no RCCTE	5	0,8	20	3,20

**Quadro 19 - Valores do fluxo de calor para a ponte térmica referente ao encontro entre duas paredes verticais – Cunhal.**

	B (m)	$\Psi$ (W/m. $^{\circ}$ C)	( $\theta_i - \theta_e$ ) ( $^{\circ}$ C)	Q(W/m $^2$ )
Bisco(temperaturas da análise termográfica)	2,53	0,603	6,8	1,63
Valor $\Psi$ tabelado no RCCTE	2,53	0,2	6,8	0,54
Bisco(temperaturas referência)	2,53	0,609	20	4,81
Valor $\Psi$ tabelado no RCCTE	2,53	0,2	20	1,58

Edifício X**Quadro 20 - Valores do fluxo de calor para a ponte térmica referente à ligação da fachada com o pavimento do piso intermédio.**

	B (m)	$\Psi$ (W/m. $^{\circ}$ C)	( $\theta_i - \theta_e$ ) ( $^{\circ}$ C)	Q(W/m $^2$ )
Bisco(temperaturas da análise termográfica)	3,86	0,128	6,9	0,13
Valor $\Psi$ tabelado no RCCTE	3,86	0,5	6,9	0,83
Bisco(temperaturas referência)	3,86	0,128	20	0,66
Valor $\Psi$ tabelado no RCCTE	3,86	0,5	20	2,59



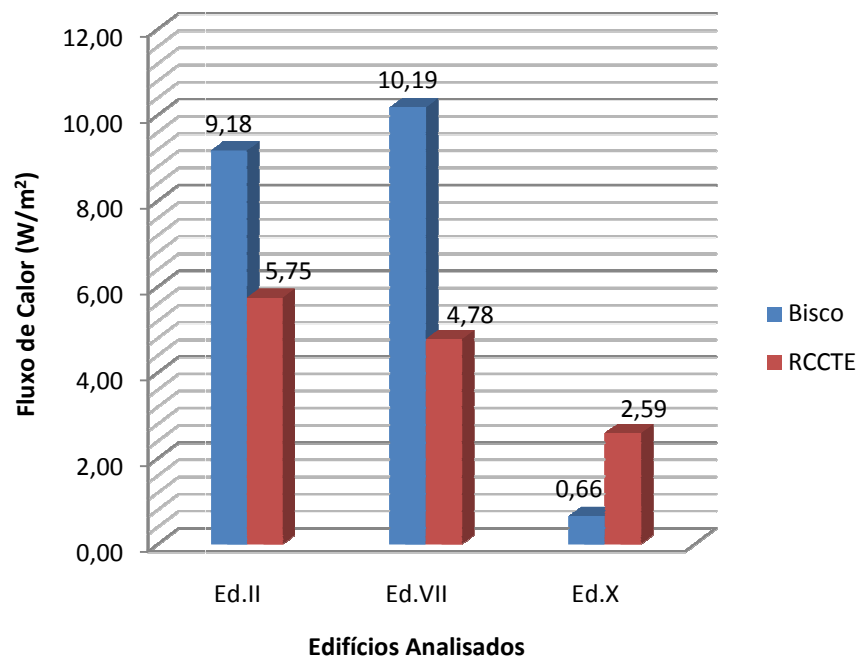
**Figura 57 – Gráfico com os fluxos de calor para cada edifício, obtidos através dos coeficientes de transmissão térmica linear calculados (Bisco) e tabelados (RCCTE).**

Através da figura 57, é possível concluir que, conforme as soluções construtivas adoptadas, o fluxo de calor que atravessa os edifícios é maior ou menor e, conforme esse aspecto, os valores adoptados no regulamento serão valores de sobredimensionamento, o que é um aspecto favorável quando se realiza o estudo térmico dos edifícios. Este pormenor é visível para o caso do edifício X, no qual se confere exactamente o referido pois, através do cálculo do fluxo de calor com recurso aos valores tabelados no regulamento do coeficiente de transmissão térmica linear, obtêm-se fluxos de calor superiores aos obtidos através do cálculo do parâmetro  $\Psi$ , com temperaturas retiradas aquando da recolha das imagens termográficas.

A escolha da solução construtiva influencia bastante o fluxo de calor que atravessa os edifícios. Este aspecto é observável quando se comparam os valores de fluxo do edifício X com os edifícios II e VII. Ao analisar o gráfico da figura 57, verifica-se que o fluxo de calor que atravessa o edifício II é bem maior do que nos restantes edifícios (tanto para os valores do parâmetro  $\Psi$  tabelados, como para e os determinados no programa Bisco). Esse pormenor deve-se às soluções construtivas que, comparativamente aos outros dois edifícios, são bastante debilitadas e deficitárias.

No que se refere à questão da comparação do fluxo de calor obtido através dos valores de  $\Psi$  tabelados do Regulamento e os calculados no programa Bisco, é necessário analisar os resultados obtidos para os edifícios II e VII. Nestes casos, contrariamente ao verificado no edifício X, os valores de fluxo obtidos pelo RCCTE são bem menores do que os determinados pelo programa Bisco. Este aspecto é bastante relevante pois demonstra que nem sempre os valores tabelados são os valores mais adequados para o estudo e a determinação da influência das pontes térmicas nos edifícios. No que se refere aos edifícios II e VII, já não se verifica o sobredimensionamento dos valores do coeficiente de transmissão térmica linear estabelecidos no RCCTE, o que provoca uma discrepância nos valores calculados através da análise termográfica e do programa Bisco com os valores tabelados, no estudo térmico dos edifícios. No entanto, por forma a verificar se os resultados obtidos teriam a mesma discrepância dos apresentados na figura 57, calcularam-se os valores do parâmetro  $\Psi$  para as temperaturas de referência ( $T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $T_e = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) estabelecidas na norma ISO 10211. Submeteram-se os pormenores construtivos a esta nova análise, por forma a verificar se a diferença obtida nos resultados anteriores se devia à questão de não se verificar a mesma diferença térmica.

Após a determinação do coeficiente de transmissão térmica linear para os pormenores construtivos analisados nos edifícios, no que diz respeito às temperaturas de referência no programa Bisco, efectuou-se o mesmo estudo anterior e os resultados são os apresentados na figura 58.



**Figura 58 - Gráfico com os fluxos de calor para cada edifício, obtidos através dos coeficientes de transmissão térmica linear calculados com temperaturas de referência (Bisco) e tabelados (RCCTE).**

Através desta análise, é possível verificar, na figura 58, que os resultados obtidos e as conclusões retiradas do estudo do gráfico da figura 57 (gráfico anterior) são exactamente as mesmas que as observadas agora. No entanto, é de notar que a discrepância observada na análise anterior é bem mais acentuada neste.

Relativamente à análise da variação do coeficiente de transmissão térmica linear conforme a posição e espessura do isolamento, verificou-se que dependendo do elemento analisado e da sua composição, este apresenta valores esperados e inesperados.

Como referido anteriormente no capítulo 2, ponto 2.4.3, a melhor maneira para o tratamento e correcção das pontes térmicas consiste na aplicação de isolamento térmico, de forma contínua, pelo exterior do edifício. No entanto, após a realização desta análise, observou-se que esta aplicação nem sempre é vantajosa.

Ao estudar os edifícios II e VII e as respectivas pontes térmicas apresentadas, verificou-se que, no caso da ligação da fachada com a laje de cobertura, do edifício II, e a ligação da fachada com a laje de pavimento do piso intermédio, do edifício VII, (figuras 59 e 60), os resultados obtidos não vieram ao encontro do esperado (figuras 61 e 62 e quadros 21-24).

Edifício II

**Quadro 21 – Variação do valor do coeficiente de transmissão térmica linear consoante a espessura – caso da ponte térmica relativa à ligação da fachada com a laje do pavimento.**

Edifício	Espessura (m)	Isolamento térmico	$\Psi$ (W/m.° C)
Ed. II	0	XPS (interior)	0,365
	0,02		0,148
	0,04		0,315
	0,06		0,392
	0,08		0,432
	0,1		0,454
Ed. II	0	XPS (exterior)	0,365
	0,02		0,076
	0,04		0,196
	0,06		0,247
	0,08		0,271
	0,1		0,283

**Quadro 22 - Variação do valor do coeficiente de transmissão térmica linear relativamente ao aumento da espessura do isolante térmico – caso da ponte térmica relativa ao encontro entre duas fachada, cunhal.**

Edifício	Espessura (m)	Isolamento térmico	$\Psi$ (W/m.° C)
Ed. II	0	XPS (interior)	0,995
	0,02		0,452
	0,04		0,272
	0,06		0,18
	0,08		0,126
	0,1		0,09
Ed. II	0	XPS (exterior)	0,995
	0,02		0,644
	0,04		0,483
	0,06		0,388
	0,08		0,325
	0,1		0,271

Edifício VII**Quadro 23 – Variação do valor do coeficiente de transmissão térmica linear relativamente ao aumento da espessura do isolamento térmico aplicado – caso da ponte térmica alusiva ao encontro entre duas fachadas, cunhal.**

Edifício	Espessura (m)	Isolamento térmico	$\Psi$ (W/m. <sup>°</sup> C)
Ed. VII (1)	0	XPS	0,522
	0,02		0,224
	0,04		0,123
	0,06		0,101
	0,08		0,043
	0,1		0,027
Ed. VII (1)	0	XPS (exterior)	0,522
	0,02		0,402
	0,04		0,329
	0,06		0,28
	0,08		0,244
	0,1		0,217

**Quadro 24 – Valores do coeficiente de transmissão térmica linear consoante a espessura do isolamento térmico – caso da ponte térmica referente à ligação fachada com pavimento do piso intermédio.**

Edifício	Espessura (m)	Isolamento térmico	$\Psi$ (W/m. <sup>°</sup> C)
Ed. VII (2)	0	XPS	0,799
	0,02		0,676
	0,04		0,627
	0,06		0,591
	0,08		0,564
	0,1		0,543
Ed. VII (2)	0	XPS (exterior)	0,799
	0,02		0,378
	0,04		0,218
	0,06		0,131
	0,08		0,076
	0,1		0,038

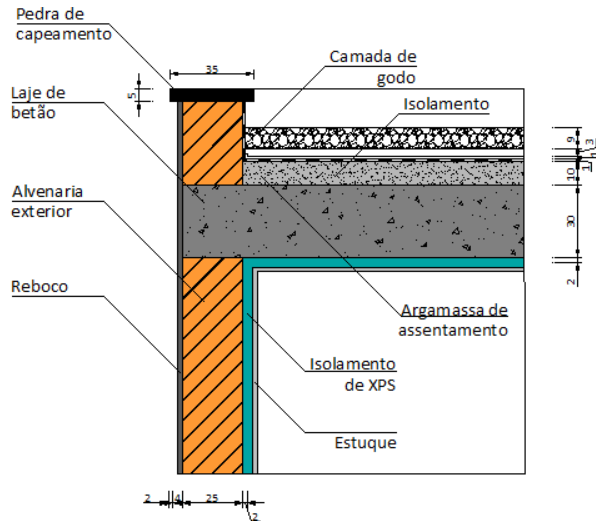


Figura 59 – Pormenor construtivo com isolamento pelo interior do edifício II.

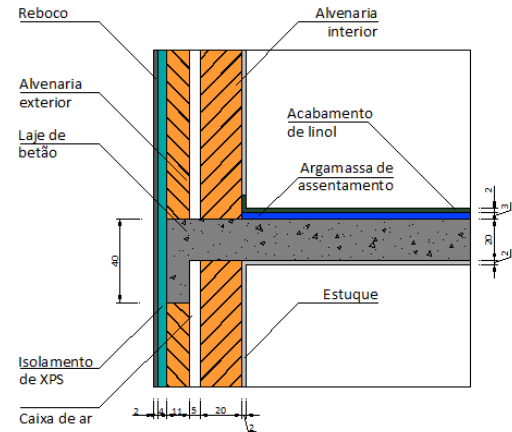


Figura 60 – Pormenor construtivo com isolamento pelo exterior do edifício VII.

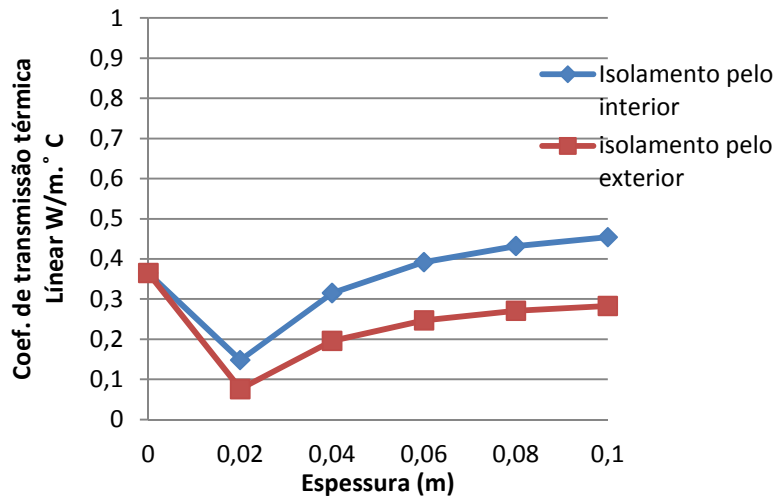


Figura 61 – Gráfico demonstrativo da variação do coeficiente de transmissão térmica linear consoante a espessura do isolamento térmico do edifício II.

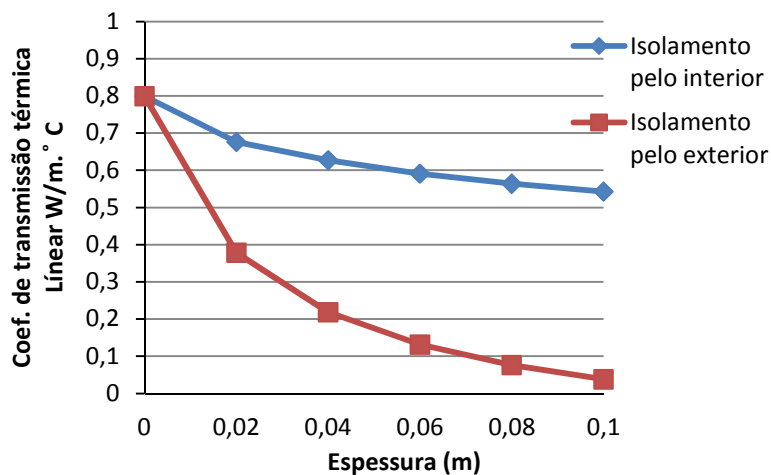


Figura 62 - Gráfico demonstrativo da variação do coeficiente de transmissão térmica linear consoante a espessura do isolamento térmico do edifício VII.

Nestes dois casos, observou-se que a aplicação do isolamento térmico pelo exterior era o mais vantajoso, dando origem a valores de coeficientes de transmissão térmica linear mais baixos que os referentes à aplicação de isolamento pelo interior. Além deste aspecto, verificou-se que, no caso do edifício VII, a aplicação de isolamento em qualquer dos casos era mais vantajosa pois, à medida que a espessura do isolante aumenta, os valores do parâmetro  $\Psi$  vão diminuindo. No entanto, no caso do pormenor do edifício II, esta particularidade já não se verificou. Ao analisar a evolução de valores deste parâmetro, repara-se que, quando o isolamento tem 2 centímetros de espessura, existe uma queda acentuada no valor do coeficiente de transmissão térmica linear, mas que, à medida que o isolamento aumenta os valores vão crescendo também. Uma possível razão para isso pode estar relacionada com a dupla exposição a que a zona da platibanda se encontra sujeita. Isto pode dever-se ao facto de, apesar do isolamento ter como função aumentar a resistência da parede, na qual é aplicado, neste caso, este pode provocar um aumento da concentração de linha de fluxo de calor na zona não isolada da platibanda.

No que se refere aos outros dois pormenores construtivos dos edifícios II e VII, que são idênticos, variando apenas as escolhas construtivas seleccionadas, estes pormenores referem-se à ligação entre duas fachadas – cunhal (figura 63 e 64). Contrariamente ao observado nos casos já analisados, estes não apresentam a variação de coeficiente de transmissão térmica linear esperada aquando da aplicação de isolante pelo exterior. Nestes casos, à medida que o isolante ia aumentando, o valor do parâmetro  $\Psi$  ia diminuindo, o que correspondia ao esperado, sendo no entanto de notar que os valores menores correspondiam à aplicação de isolamento térmico pelo interior (Figura 65 e 66).

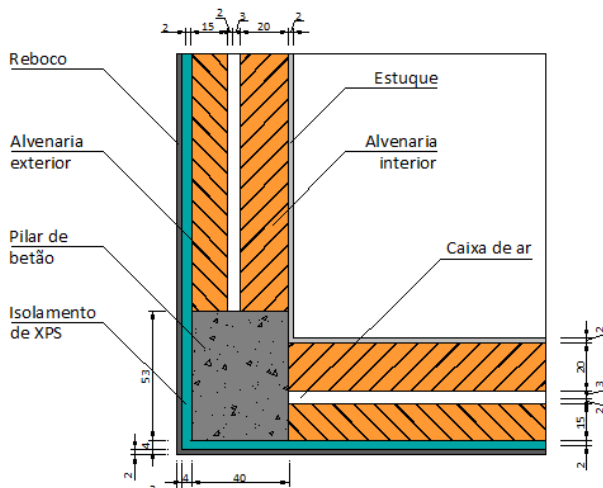


Figura 63 – Pormenor construtivo com isolamento pelo exterior do edifício VII.

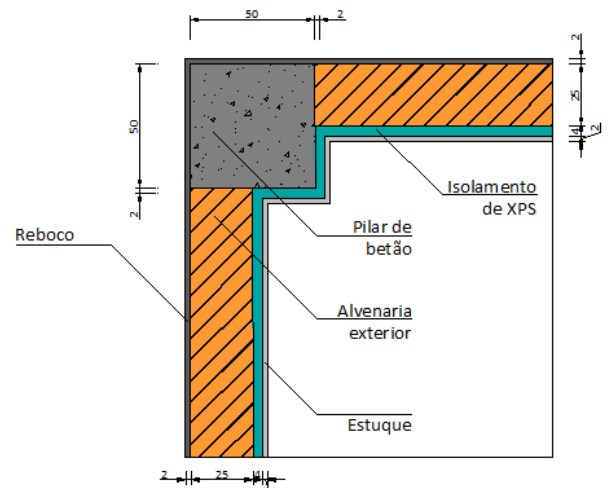


Figura 64 – Pormenor construtivo com isolamento pelo interior do edifício II.



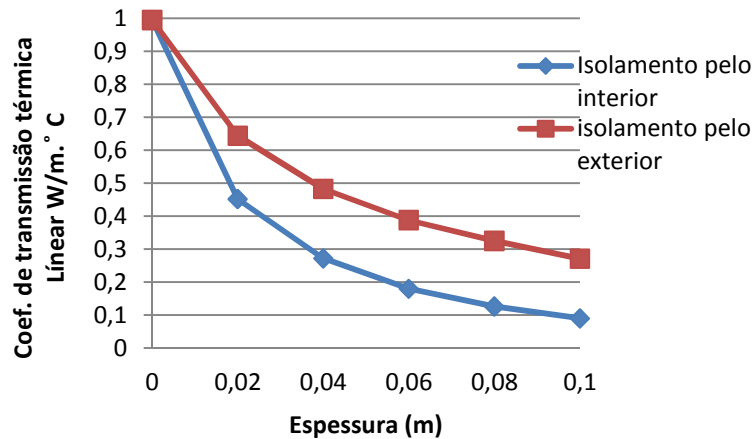


Figura 65 - Gráfico demonstrativo da variação do coeficiente de transmissão térmica linear consoante a espessura do isolamento térmico do edifício II cunhal.

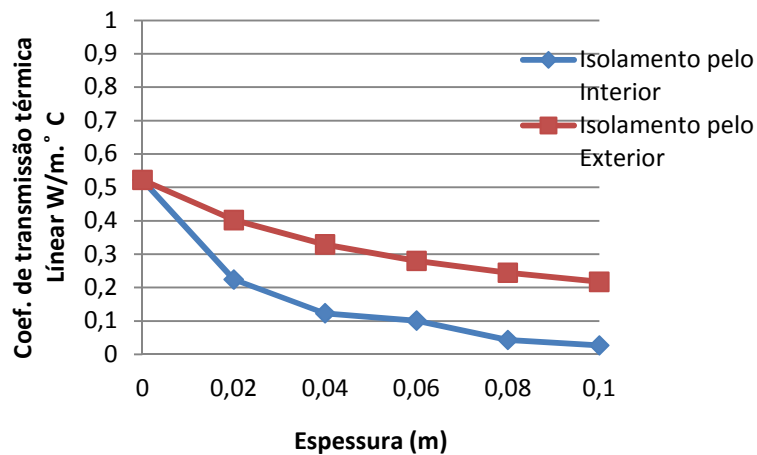


Figura 66 - Gráfico demonstrativo da variação do coeficiente de transmissão térmica linear consoante a espessura do isolamento térmico do edifício VII cunhal.

Ao realizar uma análise às figuras de cada um com isolante pelo interior e exterior, constata-se que, no caso do edifício II, quando o isolante se encontra no exterior, este apresenta uma maior resistência à passagem de calor. Também se verificou que existe uma dispersão equivalente ao longo do isolante na zona do pilar, o que não só origina que, nesse local, exista um aglomerado de linhas de fluxo, como também provoca depois, nas zonas mais fracas, a existência de uma elevada concentração de linhas de fluxo (Zonas delimitadas nas Figuras 67).

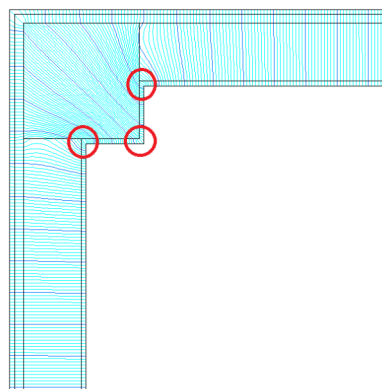


Figura 67 – Imagem com as zonas críticas do cunhal do edifício II quando da aplicação de isolamento pelo exterior.

No caso do cunhal do edifício VII, verifica-se exactamente o mesmo, o que faz com que o ponto da zona interior da ligação das fachadas seja bastante favorecido para a troca de calor e perdas térmicas. Nestes casos, a aplicação do isolamento pelo interior é favorável pois, sendo já uma zona privilegiada para que ocorra uma concentração de linhas de fluxo de calor junto ao canto interior do pormenor, o isolamento faz com que nesse local, a acumulação de linhas seja dispersa ao longo do isolante, provocando uma diminuição das anomalias (Figura 68).

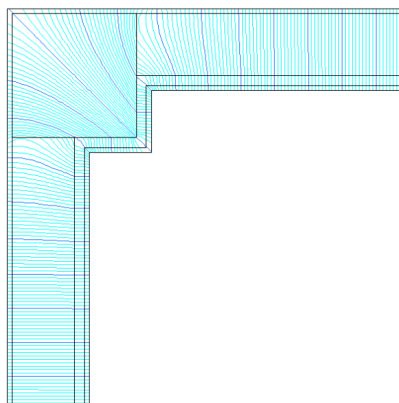


Figura 68 – Imagem demonstrativa da dispersão das linhas de fluxo aquando da aplicação de isolamento pelo interior.

No que se refere à última análise efectuada aos edifícios, relacionada com a evolução das perdas de calor consoante a posição e espessura do isolante, verificou-se que os resultados foram bastante semelhantes aos obtidos no estudo anterior.

Ao efectuar a avaliação das perdas de calor nos casos analisados, obteve-se o mesmo tipo de variação de valores que na análise anteriormente apresentada. Como se indicia nas figuras 69 e 70, as perdas de calor no edifício II apresentam valores decrescentes na zona do cunhal e valores crescentes (a partir espessuras de isolamento maiores que 2 centímetros) na ligação da fachada com a laje de cobertura.

### Edifício II

Quadro 25 – Valores das perdas de calor obtidos através da variação da espessura do isolamento térmico aplicado – caso da ponte térmica relativa à ligação da fachada com a laje de cobertura.

Edifício	Isolamento térmico	Espessura (m)	$\Psi$ (W/m.° C)	$\Delta T$ (° C)	Perdas (W/m)
Ed. II	XPS (interior)	0	0,365	14,2	5,18
		0,02	0,148		2,10
		0,04	0,315		4,47
		0,06	0,392		5,57
		0,08	0,432		6,13
		0,1	0,454		6,45
Ed. II	XPS (exterior)	0	0,365	14,2	5,18
		0,02	0,076		1,08
		0,04	0,196		2,78
		0,06	0,247		3,51
		0,08	0,271		3,85
		0,1	0,283		4,02

**Quadro 26 - Valores das perdas de calor obtidos através da variação da espessura do isolamento térmico aplicado – caso da ponte térmica relativa ao encontro entre duas fachada, cunhal**

Edifício	Isolamento térmico	Espessura (m)	$\Psi$ (W/m.° C)	$\Delta T$ (° C)	Perdas (W/m)
Ed. II	XPS (interior)	0	0,995	14,2	14,13
		0,02	0,452		6,42
		0,04	0,272		3,86
		0,06	0,18		2,56
		0,08	0,126		1,79
		0,1	0,09		1,28
Ed. II	XPS (exterior)	0	0,995	14,2	14,13
		0,02	0,644		9,14
		0,04	0,483		6,86
		0,06	0,388		5,51
		0,08	0,325		4,62
		0,1	0,271		3,85

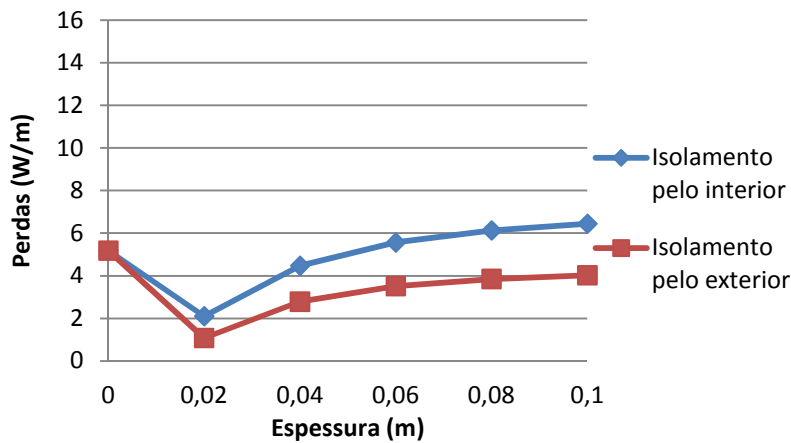
Edifício VII

**Quadro 27 - Valores das perdas de calor correspondentes à variação da espessura de isolamento térmico aplicado – caso da ponte térmica alusiva ao encontro entre duas fachadas, cunhal.**

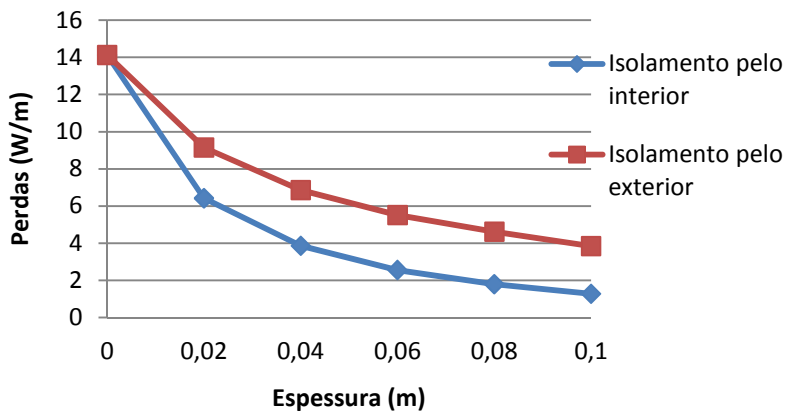
Edifício	Isolamento térmico	Espessura (m)	$\Psi$ (W/m.° C)	$\Delta T$ (° C)	Perdas (W/m)
Ed. VII (1)	XPS (interior)	0	0,522	6,8	3,55
		0,02	0,224		1,52
		0,04	0,123		0,84
		0,06	0,101		0,69
		0,08	0,043		0,29
		0,1	0,027		0,18
Ed. VII (1)	XPS (exterior)	0	0,522	6,8	3,55
		0,02	0,402		2,73
		0,04	0,329		2,24
		0,06	0,28		1,90
		0,08	0,244		1,66
		0,1	0,217		1,48

**Quadro 28 - Valores das perdas de calor conforme a espessura de isolamento térmico aplicado – caso da ponte térmica referente à ligação fachada com pavimento do piso intermédio.**

Edifício	Isolamento térmico	Espessura (m)	$\Psi$ (W/m.° C)	$\Delta T$ (° C)	Perdas (W/m)
Ed. VII (2)	XPS (interior)	0	0,799	6,8	5,43
		0,02	0,676		4,60
		0,04	0,627		4,26
		0,06	0,591		4,02
		0,08	0,564		3,84
		0,1	0,543		3,69
Ed. VII (2)	XPS (exterior)	0	0,799	6,8	5,43
		0,02	0,378		2,57
		0,04	0,218		1,48
		0,06	0,131		0,89
		0,08	0,076		0,52
		0,1	0,038		0,26

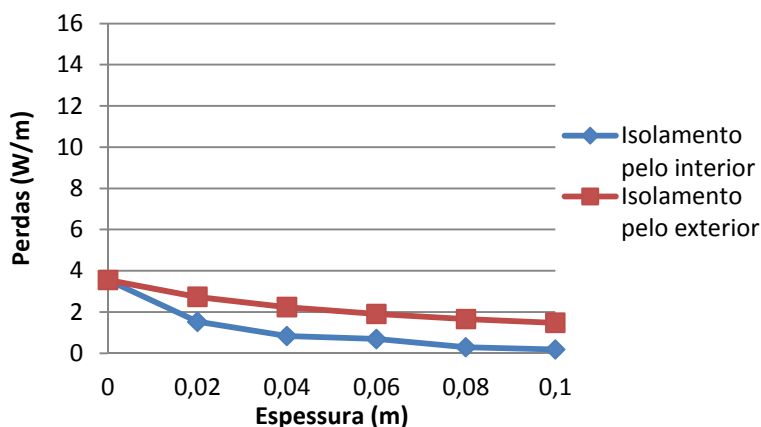


**Figura 69 – Gráfico demonstrativo da variação das perdas térmicas consoante a posição e espessura do isolamento térmico no edifício II- Ligação fachada – laje de cobertura.**

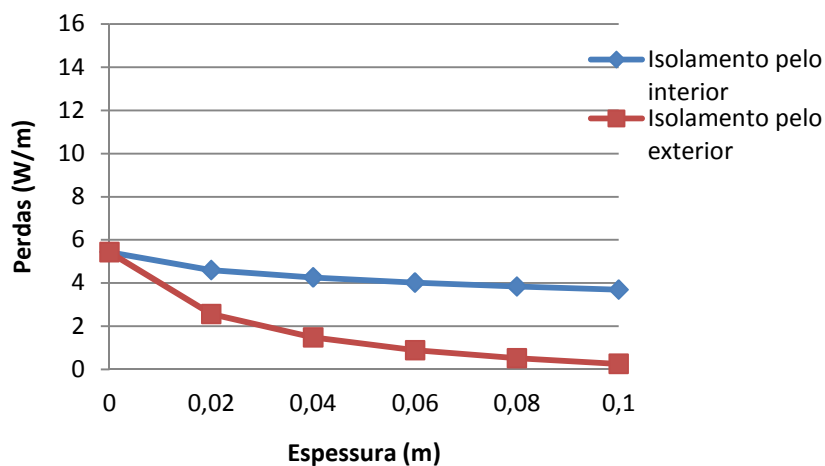


**Figura 70 - Gráfico demonstrativo da variação das perdas térmicas consoante a posição e espessura do isolamento térmico no edifício II- Ligação fachada com fachada – cunhal.**

Relativamente ao edifício VII, verifica-se que as perdas vão diminuindo nas duas pontes térmicas estudadas (Figuras 71 e 72). No entanto, é de notar a diferença entre os dois, pois no caso do cunhal, o isolamento pelo interior origina menores perdas que no caso da aplicação de isolamento pelo exterior. Este aspecto é oposto no caso da ponte térmica relativa à ligação da fachada com a laje de pavimento do piso intermédio, verificando-se que, neste caso, a diferença entre as duas posições do isolamento é bastante significativa, uma vez que apresenta uma diferença de cerca de 3,34 W/m, enquanto que no cunhal a diferença é cerca de 1,29 W/m, quando o isolamento tem espessura de 10 centímetros.

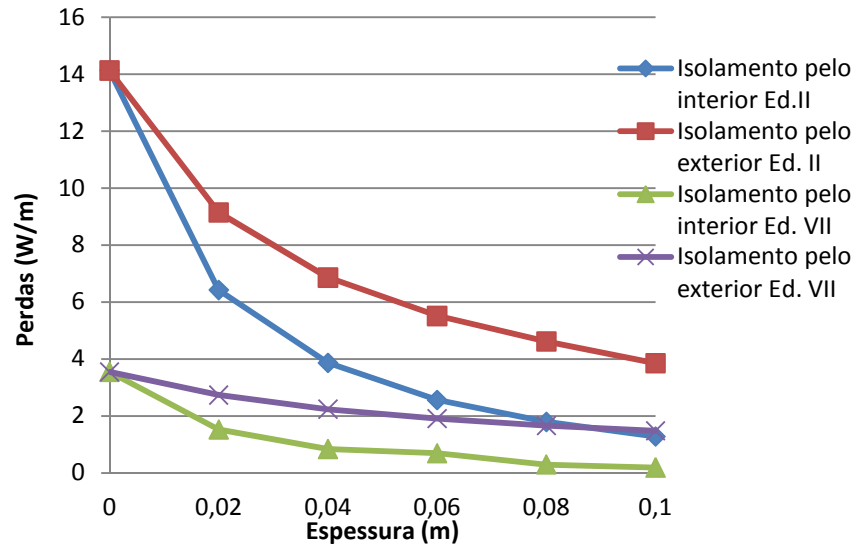


**Figura 71 - Gráfico demonstrativo da variação das perdas térmicas consoante a posição e espessura do isolamento térmico no edifício VII- Ligação fachada com fachada – cunhal.**



**Figura 72 - Gráfico demonstrativo da variação das perdas térmicas consoante a posição e espessura do isolamento térmico no edifício VII- Ligação fachada com laje de piso intermédio.**

No entanto, decidiu-se verificar qual a diferença de perdas de calor nos dois pormenores referentes à mesma ponte térmica. Assim sendo, construiu-se um gráfico (Figura 73) no qual se colocaram as perdas térmicas dos dois edifícios com isolamento pelo interior e exterior, por forma a verificar qual a solução construtiva mais adequada e que originaria menores perdas.



**Figura 73 – Gráfico com a comparação das perdas térmicas verificadas na ponte térmica referente a um cunhal, em ambos os edifícios, com o aumento da espessura do isolamento.**

Deste gráfico verifica-se que, para ambas as hipóteses de colocação de isolamento térmico, a solução construtiva adoptada no edifício VII dá origem a menores perdas que no caso do edifício II. Da análise do gráfico, também se verifica a eficácia do isolamento térmico pelo interior, neste tipo de pontes térmicas, conforme a solução construtiva adoptada. Isso é bastante visível quando se compara o edifício II, com isolante pelo interior, com o edifício VII com isolante pelo exterior. Nestes casos verifica-se que o isolamento pelo interior do edifício II provoca perdas menores do que o isolamento pelo exterior do edifício VII. Verificou-se também que os edifícios com fachadas formadas por dois panos de alvenaria e caixa de ar a separá-los, são mais eficientes termicamente do que edifícios com fachadas constituídas por apenas um pano de alvenaria (caso do edifício II). Este tipo de soluções com isolamento térmico pelo interior gera perdas térmicas muito pequenas, quando o isolante tem pelo menos 10 centímetros de espessura.

## **5 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

### **5.1 Conclusões gerais**

Apresentam-se, de seguida, as conclusões referentes à globalidade do estudo efectuado. Sublinhe-se que, ao longo do capítulo anterior, foram sendo apresentados comentários e recomendações para situações específicas que constituem, igualmente, conclusões a retirar da análise efectuada.

O presente trabalho foi desenvolvido com o objectivo de avaliar a importância da determinação do impacto das pontes térmicas nos edifícios do Campus da FCT/ UNL.

Após a análise efectuada, foram obtidas algumas conclusões no que concerne às soluções construtivas analisadas e à adopção de valores tabelados pelo regulamento térmico nacional para a realização do estudo térmico dos edifícios.

Relativamente às soluções construtivas adoptadas, no caso concreto dos edifícios analisados, concluiu-se que a solução mais eficiente termicamente diz respeito à solução do edifício X. Neste edifício, como analisado anteriormente, o fluxo de calor que o atravessa é muito reduzido. Isto deve-se a este apresentar no pano exterior das fachadas, uma parede de betão continua que evita a ocorrência de uma descontinuidade de materiais na zona da ligação das fachadas com as lajes dos pisos intermédios. Verificou-se assim que, para este edifício, as anomalias provocadas por pontes térmicas são praticamente nulas. Assim sendo, retira-se destes resultados que uma das possíveis modificações a implementar nas construções correntes seria a possibilidade de evitar as heterogeneidades dos materiais que constituem as principais ligações que compõem as pontes térmicas conhecidas. Deste modo, crê-se que, aliada a esta solução construtiva, a incorporação de isolamento térmico pelo exterior originaria um elevado conforto térmico no interior dos edifícios.

Contrariamente ao que se constatou na análise do edifício X, nos restantes edifícios, as soluções adoptadas não são as mais eficientes em termos energéticos, tendo originado diferentes anomalias. No caso do edifício II, o mais antigo dos edifícios analisados, o conforto térmico é muito reduzido, como mostram os resultados, dando origem a grandes trocas de calor entre o exterior e o interior devidas, essencialmente, ao facto do fluxo de calor que o atravessa não encontrar grande resistência nos elementos de construção. Estes resultados vêm ao encontro do referido acima, que edifícios com fachadas ou outros elementos constituídos por diferentes materiais provocam um acréscimo significativo de perdas e trocas de calor.

Na presente dissertação foi possível concluir que o modo de aplicação do isolamento térmico nos edifícios influencia significativamente as suas condições de conforto térmico, sendo ainda responsável pela contribuição das pontes térmicas no desempenho térmico dos edifícios. Concluiu-se que a aplicação do isolamento pelo exterior é mais eficaz na maioria dos casos, indo ao encontro das conclusões obtidas por outros autores (Abreu, 2004; Janssens et al, 2007; Larbi, 2005). No entanto, no caso de cunhais, a aplicação destes pelo exterior não se afigurou tão favorável, concluindo-se assim que o tratamento de pontes térmicas não é linear, visto que, apesar de existirem técnicas consideradas como sendo as mais eficazes (o caso dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior, vulgarmente designados por ETICS, onde o isolamento é aplicado de forma contínua na fachada do edifício), estas não dão resposta a todos os problemas. Acredita-se que o estudo dos fenómenos térmicos dos edifícios contribui de forma significativa para o conhecimento das soluções que minimizam as perdas energéticas, incentivando a procura e desenvolvimento de soluções construtivas mais eficazes.

Outras das conclusões obtidas prende-se com a determinação do contributo das pontes térmicas para o estudo térmico dos edifícios. Após se efectuarem os cálculos para obter o fluxo e as perdas de calor referentes às singularidades analisadas, verificou-se que, ao realizar o estudo através do recurso aos valores tabelados para o coeficiente de transmissão linear e os valores obtidos com recurso ao

programa Bisco, as discrepâncias entre ambos eram elevadas. No dimensionamento ou estudo térmico dos edifícios é necessário conhecer o coeficiente de transmissão térmica linear (parâmetro  $\Psi$ ), estando este valor tabelado no RCCTE e dependendo apenas da ponte térmica que se esteja a analisar. No presente estudo, concluiu-se que os valores tabelados nem sempre conduzem à melhor avaliação térmica dos edifícios.

Após a avaliação dos pormenores, verificou-se que os valores estabelecidos no RCCTE, são valores que não representam nem se aproximam da realidade pois originam valores menores que os obtidos, quando se recorre à determinação do parâmetro  $\Psi$ . Estes valores vêm ajudar a que seja cumprido um dos objectivos da presente dissertação, isto é, os resultados obtidos vêm demonstrar a importância de um correcto dimensionamento térmico e que para isso é necessário que ocorra uma actualização das soluções construtivas correntemente empregues nos edifícios ou, que seja necessária uma reorganização/actualização dos valores do coeficiente de transmissão térmica. De facto, concluiu-se que uma avaliação mais rigorosa do coeficiente de transmissão térmica linear contribui para a melhoria do estudo do comportamento térmico dos edifícios, estando estas conclusões de acordo com as obtidas por outros autores em estudos análogos (Janssens et al , 2007; Larbi, 2005).

## 5.2 Desenvolvimentos futuros

Após a realização deste trabalho e mediante as conclusões dele retiradas, ressaltam possíveis áreas de investigação em aberto. No que se refere à avaliação do contributo das pontes térmicas para o estudo térmico das habitações, recomenda-se que seja realizado um catálogo com os diferentes valores de coeficiente de transmissão térmica para os diferentes distritos de Portugal. Assim sendo, seria possível obter com uma crescente melhoria e com muito mais proximidade da realidade, o contributo real das pontes térmicas para o projecto térmico das habitações. Este estudo poderia ser feito fazendo grupos de amostras com um determinado número de habitações, com diferentes soluções construtivas, por distrito, e depois determinar o coeficiente de transmissão térmica linear para as diferentes pontes térmicas.

Outras das hipóteses de estudo diz respeito à colocação de isolamento térmico pelo exterior na zona de encontro entre duas fachadas – cunhal. Neste ponto, sugere-se que sejam realizados ensaios que permitam que os resultados das trocas de calor e das perdas térmicas na zona do cunhal com isolante pelo exterior, sejam menores do que com isolamento pelo interior. Como ponto de partida já se conhecem possíveis resoluções deste tipo de ponte térmica, de que temos, como exemplo, a utilização de sistemas de isolamento pelo exterior, aplicados parcialmente na fachada e a aplicação de fachadas ventiladas. Os sistemas de revestimento descontínuo e independente sobre isolante são os que trazem mais vantagens na realização deste tipo de correcção pontual, visto que permitem alguma liberdade de deformações do revestimento em relação ao suporte (Abreu 2004). Assim sendo aponta-se o estudo da possibilidade de aplicação de ETICS na estruturas que permitam que os resultados, normalmente obtidos nos cunhais, sejam melhorados.



## **BIBLIOGRAFIA**

ABREU, Maria Isabel. – *Reabilitação de Pontes térmicas em Intervenções de Reabilitação*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003.

AELENEI, Daniel. – *Sebenta de Física das Construções*. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil, 2010.

ÁGUAS, Miguel. – *Conforto térmico – Módulo da disciplina de Mestrado Métodos Instrumentais em Energia e Ambiente*. IST, 2001.

AL-HOMOUD, Mohammad. – *Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials*. Building and Environment, Volume 40, n.º 3, págs. 353-366, 2005.

ANDALORO, A. et al. – *Energy certification of buildings: A comparative analysis of progress towards implementation in European countries*. Energy Policy, Volume 38, n.º 10, págs. 5840-5866, 2010.

BISCO, Computer program to calculate two-dimensional steady state heat transfer in free-form objects. s.l.: Physibel, 2006.

BRAGANÇA, L. et al. – *Technical improvement of housing envelopes in Portugal*. COST C16 Improving the quality of existing urban building envelopes, Research in Architectural Engineering Series, Volume 5, Amsterdam, 2007, págs. 115-126.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, *Cavity External Walls: Cold Bridges Around Windows And Doors*, Defects Action Sheet 77, Garston, 1986.

CABEZA, L.F. et al. – *Experimental study on the performance of insulation materials in Mediterranean construction*. Energy and Buildings, Volume 42, n.º 5, págs. 630-636, 2010.

CITTERIO, M. et al. – *Thermal Bridges in the EPBD context*. Conferência de Berlin ALVC, 2009. 12/08/2010

CLARA, Ana. – *Investimento em painéis solares ascende a 167 milhões*. Revista “O Instalador”, n.º 168, págs. 8 -9. O Instalador Publicações, Lda., 2010.

CLARA, Ana. – *A Iluminação e os sistemas integrados de eficiência energética*. Revista “O Instalador”, n.º 168, págs. 24. O Instalador Publicações, Lda., 2010

CORVACHO, M. Helena. - *Pontes Térmicas: Importância da existência de um catálogo*, 6as Jornadas de Construções Cívicas. s.l. : FEUP, Porto, 1998.

CORVACHO, Maria Helena. - *Pontes Térmicas, Análise do Fenómeno e Proposta de soluções*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1996.

CORVACHO, H.; ABREU, I. – *Reabilitação de zonas de ponte térmica da envolvente dos edifícios*. Congresso Construção 2004, 2º Congresso Nacional da Construção, Porto, 2004, págs. 891 -896.

DAGOUMAS, A. et al. – *An economic assessment of the Kyoto Protocol application*. Greece, Energy Policy, Volume 34, págs. 26-39, 2006.

Decreto – Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril. Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE).

Decreto – Lei 79/2006 de 4 de Abril. Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE).

Decreto – Lei 80/2006 de 4 de Abril. Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE).

Decreto - Lei 40/1990 de 6 de Fevereiro. Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

DINIS, Bernadete. – *Termografia aplicada à física das construções*. Monografia de obtenção do grau de Licenciatura, Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2009.

Directiva Europeia do Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD), 2002 /91 /CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION (CEN) – EN ISO 10211:2007 – Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures – Detailed calculations. Brussels CEN, December 2007.

FREITAS, Vasco – *Implicações construtivas no novo RCCTE na concepção de paredes de alvenaria*. Seminário sobre Paredes de Alvenaria, P. B. Lourenço *et al.* editores, Porto, 2007.

FRITCHEN, David R. & TREDWAY, Timothy C.. - Kansas State University Architectural Engineering, Journal of Architectural Engineering, Volume 4, n.º 1, 1998.

GORE, Al. – *Uma Verdade Inconveniente*. s.l. ,Esfera do Caos, 2006.

HENRIQUES, Fernando A.M. – *Humidade em paredes*. Lisboa, LNEC, 1994.

JANSSENS, A et al – *Development of Limits for the Linear Thermal Transmittance of Thermal Bridges in Buildings*. Thermal performance of the exterior envelopes of whole buildings X. Conferência Internacional, Clearwater, Florida. ASHRAE (2007).

LARBI, A. Ben. – *Statistical modeling of heat transfer for thermal bridges of buildings*. France, Energy and Building, Volume 37, págs. 945-951, 2005. 13/07/2010

MANUEL, David. – *Thermographie infrarouge Diagnostique thermique du bâti Rapport de stage*. Centre Scientifique et technique du bâtiment, Paris, 1997.

MARSHALL, D. & WORTHING, D. – *The construction of houses, third edition*. London, Estates Gazette, 2000.

MENDONÇA, L. – *Termografia por infravermelhos na inspeção de betão*. Engenharia & Vida, n.º 16, págs. 53-57. 2005.

MIGUEZ, J. – *Review of the energy rating of dwellings in the European Union as a mechanism for sustainable energy*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 10, págs. 24-45, 2006.

MIMOSO, João – *Transmissão de calor – bases teóricas para aplicação à térmica de edifícios*. Lisboa, ICT, 1987.

PAPADOPOULOS, A.M. – *State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments*. Energy and Buildings, Volume 37, págs. 77-86, 2005.

PAPADOPOULOU, K. et al. – *Evaluation of the impact of national EPBD implementation in MS*, ASIEPI, 2010.

PIEIDADE, A. – *Seminário realizado ao abrigo do convénio de cooperação com a Universidade Técnica de Lisboa (IST)*. Lisboa, LNEC, 1982.

POEL,B. et al. – *Energy performance assessment of existing dwellings*. Energy and Buildings, Volume 39, págs 393-403, 2007.

RABENSEIFER, Roman. – *Reference Building Physical Model of System T06B*. CESB07 Prague: *Proceedings International Conference 'Central Europe towards Sustainable Building*, 2007

ROULET, Claude-Alain. *Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments*. Lausanne, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2004.

SANTOS, C. , MATIAS L. - *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. Lisboa, LNEC, 2006

SANTOS,Paulo. – *Certificação Energética em Portugal*. Seminário Keep Cool in zero energy buildings, Lisboa, LNEG , 2010.

SAVOLAINEN, I. & KORHONEN,R. . – *Contribution of industrial and developing countries to the atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations – impact of the Kyoto protocol*. Environmental Science & Policy, Volume 2,págs. 381-388, 1999.

SOUZA, Remo Magalhães– *O Método dos Elementos Finitos Aplicado ao Problema de Condução de Calor*. Apostila Elementos Finitos do Núcleo de Instrumentação e Computação aplicada à Engenharia - Universidade de Federal do Pará Centro Tecnológico Departamento de Engenharia Civil, Belém, 2003.

STRAUBE, JF - *The US Department of Energy. Insulation fact sheet with addendum on moisture control*, DOE/CE-0180, USA, Moisture in buildings. ASHRAE Journal 2002;44(1):15–9).

VALÉRIO, Jorge. – *Avaliação do impacto das pontes térmicas no desempenho térmico e energético de edifícios residenciais correntes*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2007.

VILA REAL, P. M. – *Modelação por elementos finitos do comportamento térmico e termo-elástico de sólidos sujeitos a elevados gradientes térmicos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Estrutural, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1988.

Páginas de Internet:

Página da Agência para a Energia – [www.adene.pt](http://www.adene.pt) (consultado em 16/08/2010)

Página da Electricidade de Portugal – [www.edp.pt](http://www.edp.pt) (consultado em 20/08/2010)

Página da Energy Solutions for better building - [www.buildup.eu](http://www.buildup.eu) (consultado em 17/08/2010)

Página da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa (página da disciplina de Física das Construções) - <http://www.fct.unl.pt/> (consultado em 17/07/2011)

Página do Instituto Nacional de Estatística – [www.ine.pt](http://www.ine.pt) (consultado em 17/06/2010)

Página do Instituto Superior Técnico. – <https://fenix.ist.utl.pt/cursos/mec/dissertacoes> (consultado em 22/07/2010)

Página da Universidade de Barcelona - <http://diposit.ub.edu/dspace/browse-title>

Página da Universidade do Minho – <http://www.civil.uminho.pt/cec/revista/revista.htm> (consultado em 08/03/2010)

Página do science direct. - [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) (consultado em 16/06/2010)