



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

Será que a Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior fomenta a procura da Sustentabilidade?

Aplicação ao sector residencial (RCCTE)

Joaquim Manuel Santos Ferreira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil

Júri

Presidente: Prof. Augusto Martins Gomes

Orientador: Prof. Manuel Duarte Pinheiro

Vogal: Prof. António Heleno Domingues Moret Rodrigues

Outubro de 2010

Agradecimentos

Um caminho nunca se percorre sozinho, há sempre alguém que nos apoia e nos dá forças para caminhar até ao final. Como é natural, nesta minha dissertação de mestrado também existiram essas pessoas, cada qual com a sua importante contribuição, a quem gostava de dedicar as próximas linhas.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador, o Professor Manuel Duarte Pinheiro, não só pela grande disponibilidade, mas principalmente pela confiança que em mim depositou, pontuada com vários desafios intercalares, que para além de me permitirem a correcta realização deste documento, me permitiram conhecer outras fronteiras do mundo científico.

A segunda pessoa que contribuiu para o sucesso deste documento foi o Arquitecto Luís Calixto, que prontamente se apresentou para me ajudar inicialmente com o RCCTE, fornecendo-me, ainda, uma importante visão do mercado imobiliário actual.

As próximas personagens que participaram nesta caminhada foram os Arquitectos Bruno Xisto, Duarte Nunes, João Soeiro e Madalena Esquível, da equipa de investigação do LiderA, que com simpatia, não só me forneceram todas as peças desenhadas necessárias à correcta realização desta dissertação, mas que também se mostraram sempre prestáveis para as explicarem e me fornecerem sugestões pertinentes.

Duas outras pessoas a quem não posso deixar de mostrar a minha gratidão são os meus colegas e amigos Hélder Almeida e Jorge Sirgado, que estando a par da minha entrada tardia no *Energyplus*, desde logo se dispuseram para me ajudar com qualquer dúvida e sem os quais esta tese não teria os mesmos contornos.

Entretanto, chegou a conferência *SB10* em Vilamoura e tive a felicidade de conhecer o Arquitecto Pedro Jácome de Castro, pessoa com quem debati os objectivos e o trabalho até então realizado, dando-me importantes ideias a desenvolver.

Gostaria também de agradecer ao Engenheiro Nuno Almeida, meu colega de docência neste último semestre, com quem debati várias vezes o conteúdo da minha tese, e que me aconselhou, de forma amigável, em muitas decisões a tomar.

Como um curso não se faz, apenas sentado numa sala de aula e estudando para os exames finais, gostaria de mencionar o meu grupo de amigos que, com a boa disposição que o caracteriza, me ajudou a passar os momentos mais desmotivantes que foram aparecendo nesta dissertação, falo, pois, do Bruno Matos, do Daniel Ribeiro, do João Santana e do Nuno Feliciano, entre outros, que pelo limite de espaço me é impossível de referir neste documento.

Por último, e como os últimos são sempre os primeiros, gostaria de agradecer o exemplo de vida que os meus pais e o meu irmão para mim representam, sem os quais eu nunca seria a pessoa que hoje sou.

Resumo

Durante o último século, o mundo assistiu a um crescimento demográfico muito acentuado, que, aliado ao crescimento económico sustentado na exploração massiva de recursos não renováveis, com uma produção muito elevada de gases de efeito de estufa e outros efluentes, se manifestou numa pressão muito acentuada sobre o ambiente global.

Para travar e controlar este tipo de agressões, a UE publicou várias directivas europeias a adoptar pelos estados membros, nas quais se engloba a Directiva 2002/91/CE.

Nesta directiva afirma-se que o sector dos edifícios é responsável por 40% do consumo energético no seio da União Europeia, pelo que propõe o aumento substancial da eficiência energética dos edifícios, nomeadamente, implementando o Sistema de Certificação Energética.

Este documento foi transposto para ao Direito Interno através dos DL n.º 78/2006, que cria o SCE (Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior). A este documento, associam-se outros dois, o DL n.º 79/2006 (RSECE), dedicado aos edifícios de serviços e o DL n.º 80/2006 (RCCTE), dedicado aos edifícios residenciais.

Com a recente revisão desta directiva, aliada ao desenvolvimento de um novo tipo de construção emergente – construção sustentável, tem-se debatido a qualidade do actual SCE como ferramenta efectiva na procura da construção de edifícios sustentáveis.

Assim, esta dissertação pretende contribuir para este debate, verificando se as imposições regulamentares relativas aos edifícios residenciais fomentam uma construção que recorre aos princípios da arquitectura bioclimática (medidas passivas), complementada com equipamentos eficientes (medidas activas), ou se fomenta, apenas, a introdução de medidas activas.

Nesse intuito, recorre-se a uma análise de três casos de estudo distintos (dois pisos de um edifício multifamiliar e uma moradia unifamiliar isolada), baseados no edifício HEXA e localizados em três regiões climáticas diferentes: Lisboa, Bragança e Évora.

Nesta análise, comparam-se as soluções obtidas pelas directrizes regulamentares, com a Norma Passivhaus, que procura edifícios com baixas necessidades energéticas de climatização, recorrendo praticamente apenas a medidas passivas. Analisam-se os desvios obtidos, debatendo-se as medidas a introduzir para que se atinjam estes novos objectivos, entendidos como fulcrais na obtenção de habitações energeticamente sustentáveis (quase neutras em energia – definição adoptada no *recast* da Directiva 2002/91/CE).

Para além desta análise (que recorre à metodologia regulamentar e ao *software Energyplus 4.0*), avaliam-se, ainda, as necessidades energéticas de produção de águas quentes sanitárias (através do *software Solterm 5.1.3*), o restante consumo de operação (*software RETScreen*), a microprodução (*RETScreen*) e a forma de obtenção da classe energética.

Por fim, conclui-se a dissertação com a proposta de várias medidas a aplicar no actual SCE por forma a que este possa procurar soluções mais sustentáveis, na vertente residencial.

Palavras Chave: medidas activas, medidas passivas, Norma *Passivhaus*, RCCTE, SCE

Abstract

During the last century, the world has assisted to a great demographical growth, which was allied to an economical growth, based on a massive exploitation of non-renewable resources, with a high production of greenhouse gases and other effluents. Thus, the global environment has suffered a very high pressure.

To stop and control these kinds of aggressions, the EU has published a certain number of European directives to be adopted by the Member States, like the Directive 2002/91/EC

In this directive it is written that the buildings sector is responsible for 40% of the energetic consumption among the European Union. Therefore, it proposes the substantial growth of the buildings energetic efficiency, implementing the Energetic Certification System of Buildings.

This document was transposed to the Portuguese Legislation by the DL 78/2006, that creates the SCE (Energetic Certification System of Buildings), complemented by two other documents, the DL 79/2006 – RSECE (for service buildings) and the DL 80/2006 – RCCTE (for residential buildings).

With the recent recast of this directive, and with the development of an emergent type of construction – sustainable construction, it has been debated the quality of the actual SCE, as an effective tool to achieve the sustainable construction.

Therefore, this thesis contributes to this debate, evaluating if the regulation impositions (in residential application) try to obtain a construction based on the bioclimatic principles (passive measures), complemented with efficient equipments (active measures), or if the regulation only suggests the implementation of active measures.

For that aim, three different case-studies based on the HEXA building were tested (two floors of an urban building and a villa), located on three different climatic regions: Lisbon, Bragança and Évora.

In this analysis, the solutions obtained by the regulation proposals are compared with the *Passivhaus* Norm, which tries to obtain buildings with low climatic energy needs, using practically passive measures. The deviations are analyzed and some new measures are studied in order to obtain these new imperative objectives for the construction of energetic sustainable houses (nearly neutral energy houses – new definition adopted in the recast of the Directive 2002/91/EC).

Besides this analysis (using the regulation methodology and the software *Energyplus 4.0*), there were also studied the hot sanitary waters energy needs (software *Solterm 5.1.3*), the rest of electrical consumption (software *RETScreen*), micro-generation (*RETScreen*), and the methodology to obtain the energy class.

Finally, several measures are proposed in order to transform the actual SCE (in the residential application) into an effective tool to obtain sustainable solutions.

Key-words: active measures, passive measures, *Passivhaus* Norm, RCCTE, SCE

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice de quadros	x
Índice de figuras	xi
Siglas e abreviaturas	xii
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Hipótese da dissertação	6
1.3. Objectivos e metodologia de trabalho	7
2. Estado da Arte	9
2.1. Introdução.....	9
2.2. Orientações político-legais	9
2.2.1. Estratégia comunitária.....	9
2.2.2. Estratégia Nacional	12
2.2.3. A Directiva 2002/91/CE	13
2.2.4. DL n.º 78/2006, RSECE e RCCTE.....	14
2.2.5. Divulgação e futuro do SCE	16
2.3. Aplicação na vertente residencial.....	17
2.3.1. O parque habitacional português	17
2.3.2. O mercado e o SCE	18
2.3.3. Estudos de simulação sobre o RCCTE.....	19
2.3.4. Soluções Construtivas e RCCTE	20
2.3.5. Ajustes e melhoramentos do RCCTE	24
2.3.6. Programas de cálculo automático regulamentar.....	25
2.4. Conclusão do capítulo	26
3. Sustentabilidade e Energia	27
3.1. Introdução.....	27
3.2. O conceito de sustentabilidade	27
3.3. Construção Sustentável	28

3.4.	A energia nos edifícios	30
3.5.	A importância da eficiência energética para a sustentabilidade	32
3.6.	O que é um edifício energeticamente sustentável? (conclusão do capítulo).....	34
4.	Os casos de estudo.....	35
4.1.	Introdução.....	35
4.2.	O edifício HEXA.....	35
4.2.1.	Descrição geral do edifício	35
4.2.2.	Arquitetura	36
4.2.3.	Tipologias analisadas	37
4.2.4.	Localizações avaliadas.....	38
4.3.	Medidas com influência no desempenho energético do edifício	38
4.3.1.	Medidas passivas	38
4.3.2.	Medidas activas.....	46
4.4.	Linhas estratégicas.....	55
4.4.1.	Objectivos a atingir	55
4.4.2.	Metodologia de cálculo.....	58
4.4.3.	Metodologia de análise.....	59
5.	Resultados.....	63
5.1.	Introdução.....	63
5.2.	Lisboa	63
5.3.	Bragança	72
5.4.	Évora	74
5.5.	Resultados.....	74
6.	Discussão de resultados	75
6.1.	Introdução.....	75
6.2.	Necessidades energéticas de climatização	75
6.2.1.	Validação dos resultados	75
6.2.2.	Lisboa	79
6.2.3.	Bragança	82
6.2.4.	Évora	85
6.3.	Águas quentes sanitárias	87

6.4. Classes energéticas	89
6.5. Restante consumo de operação	91
6.6. Microprodução.....	92
7. Conclusões e trabalhos futuros.....	95
7.1. Conclusões.....	95
7.2. Trabalhos futuros.....	102
Referências bibliográficas	105
Anexos	I
Anexo I – Peças desenhadas do edifício HEXA	III
Anexo II – Metodologia utilizada no <i>Energyplus 4.0</i>	V
Anexo III – Necessidades energéticas de climatização.....	XV
Anexo IV – Necessidades energéticas de produção de AQS	XXI
Anexo V – Classes energéticas	XXV
Anexo VI – Restante consumo de operação	XXIX
Anexo VII – Exemplo de ficha de cálculo do RCCTE	XXXI

Índice de quadros

Quadro 2-1 – Documentos políticos europeus referentes à eficiência energética dos edifícios	10
Quadro 2-2 - Medidas nacionais do âmbito da eficiência energética dos edifícios	12
Quadro 2-3 - Poupanças económicas do uso de isolamento térmico em XPS (fonte: Freitas, 2007)	21
Quadro 2-4 - Certificação Acotherm (adaptado de CSTB, 2006)	23
Quadro 4-1 – Área das diferentes divisões de cada apartamento do edifício HEXA	37
Quadro 4-2 – Consumo anual de alguns equipamentos (fonte: ADENE, 2004)	50
Quadro 4-3 – Padrão base de funcionamento dos aparelhos a analisar	51
Quadro 4-4 – Classes de conforto da Norma EN 15251 (adaptado de Nicol e Pagliano, 2007)	56
Quadro 5-1 – Estratégias Bioclimáticas para a zona I ₁ V ₂ (adaptado de Gonçalves e Graça, 2004)	63
Quadro 5-2 - Descrição dos parâmetros utilizados na Solução A de Lisboa	64
Quadro 5-3 - Descrição dos parâmetros utilizados na Solução B de Lisboa	65
Quadro 5-4 - Envidraçados utilizados na Solução E	67
Quadro 5-5 - Potências dos aparelhos utilizados para p cálculo do restante consumo de operação.....	71
Quadro 5-6 - Variantes à Solução G em Bragança	73
Quadro 6-1 – Análise de sensibilidade no cálculo de Nvc para a Solução E2 Inv do último piso do edifício multifamiliar	77
Quadro 6-2 - Necessidades energéticas do edifício multifamiliar na Solução G-E2 Inv	81
Quadro 6-3 - Variantes à Solução G-E2 Inv no edifício multifamiliar de Lisboa	82
Quadro 6-4 – Solução PR-E2 Inv para o edifício multifamiliar de Bragança	85
Quadro 6-5 – Novas soluções estudadas para o edifício multifamiliar de Évora	87
Quadro 6-6 - Análise de sensibilidade referente aos padrões de consumo no edifício multifamiliar	88
Quadro 6-7 – Consumos energéticos constantes do SCE referentes às três vivendas.....	91
Quadro 6-8 - Consumos energéticos constantes do SCE referentes aos três últimos pisos	91
Quadro 6-9 - Consumos energéticos constantes do SCE referentes aos três pisos intermédios	91
Quadro 7-1 – Valores máximos admissíveis de Ni para os três climas analisados	96
Quadro 7-2 – Proposta de novos coeficientes U máximos admissíveis de elementos opacos	97
Quadro 7-3 - Proposta de novos valores de coeficientes de transmissão térmica de referência	99

Índice de figuras

Figura 1.1 - Evolução da pegada ecológica global (adaptado de Ecological Footprint Atlas, 2008)	1
Figura 2.1 - Classes energéticas do SCE (fonte: ADENE, 2009a)	15
Figura 3.1 - Consumo de energia primária em Portugal de 1990 a 2007 (fonte: DGGE).....	31
Figura 3.2 - Repartição do consumo energético por sectores em 2007 (fonte: DGGE).....	31
Figura 3.3 – Repartição do consumo em electricidade pelos usos finais (fonte: ADENE)	31
Figura 3.4 – Dependência energética (%) entre 1996 e 2007 (fonte: Eurostat)	33
Figura 3.5 – Intensidade energética entre 1995 e 2006 (fontes: Eurostat e APA)	33
Figura 3.6 – Intensidade carbónica entre 1995 e 2006 (fontes: Eurostat e APA)	33
Figura 3.7 – Estimativa das necessidades energéticas anuais de aquecimento (a vermelho) e de arrefecimento (a azul) de uma casa típica portuguesa e de uma <i>Passivhaus</i> portuguesa (fonte: Norma <i>Passivhaus</i>)	34
Figura 4.1 – Radiação solar incidente sob plano horizontal em Portugal (fonte: PVGIS)	47
Figura 4.2 – Radiação solar incidente segundo a orientação óptima (fonte: PVGIS)	47
Figura 4.3 – Esquema de um colector solar tipo (adaptado de Roriz <i>et. al.</i> , 2010).....	48
Figura 4.4 – <i>Mix</i> energético nacional em 2009 (fonte: EDP – Serviço Mundial).....	52
Figura 4.5 – Exemplo de uma curva característica de uma célula fotovoltaica (fonte: Roriz e Rosendo, 2010)	54
Figura 5.1 – Exemplo de um sistema tipo “kit” (fonte: <i>Solterm 5.1.3</i>).....	69
Figura 5.2 - Exemplo de um sistema com depósito (fonte: <i>Solterm 5.1.3</i>).....	69

Siglas e abreviaturas

ADENE – Agência para a Energia

AQS – Águas Quentes Sanitárias

AVAC – Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado

CO₂ – Dióxido de carbono

CO₂e – Dióxido de carbono equivalente

COP – *Coefficient of Performance* (eficiência de climatização)

DGGE – Direcção Geral de Geologia e Energia

DL – Decreto-Lei

EPS – Poliestireno expandido (tipo de isolamento térmico)

ETIC – Sistema de isolamento térmico aplicado pelo exterior, com revestimento aplicado sobre o material de isolamento

F_f – Factor de sombreamento do vão envidraçado devido a elementos verticais

F_o – Factor de sombreamento do vão envidraçado devido a elementos horizontais

g_⊥ - factor solar do vão envidraçado

g'_⊥ - factor solar do vão envidraçado com a protecção solar 100% activa

GEE – Gases de Efeito de Estufa

I_f-V_iS/N – região climática do RCCTE de Inverno i, de Verão i Norte ou Sul, i=1,2 ou 3

INETI - Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

IS – Instalação sanitária

kgep – quilograma equivalente de petróleo

LED – tipo de lâmpada muito eficiente (Light-Emitting Diod)

LNA – local não aquecido (não útil)

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

m_i – massa total

M_{si} – Massa superficial útil

N – Norte

NASA – *National Aeronautics and Space Administration* (instituição pertencente aos Estados Unidos da América)

Na – Valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias

Nac – Necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias

Ni – Valor máximo admissível para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

Nic – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

Nt – Valor máximo admissível de energia primária

Ntc – Necessidades globais de energia primária

Nv – Valor máximo admissível para as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

Nvc – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

PIB – Produto interno bruto

PNAC – Plano Nacional para as Alterações Climáticas

PNACE – Plano Nacional de Acção para o Crescimento e o Emprego

PNAEE – Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética

PNR – Plano Nacional de Reformas

PPEC – Plano de Promoção na Eficiência no Consumo de Energia Eléctrica

PVC – Policloreto de Vinilo

r – factor de redução de M_{si}

R – razão entre N_{tc} e N_t , para cálculo da classe energética

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RPH – Número de renovações horárias do ar de uma fracção autónoma

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

S - Sul

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar em Edifícios

tep – tonelada equivalente de petróleo

U – Coeficiente de transmissão térmica (nas coberturas U_{Inv} – referente ao Inverno, U_{Ver} – referente ao Verão)

UE – União Europeia

XPS – Poliestireno extrudido (tipo de isolamento térmico)

α – Coeficiente de absorção solar

η_a – eficiência do sistema de apoio de produção de águas quentes sanitárias

η_i – eficiência do sistema de aquecimento ambiente

η_v – eficiência do sistema de arrefecimento ambiente

Ψ – Coeficiente de transmissão térmica linear

θ_i – temperatura interior

τ – Coeficiente de redução de perdas

1. Introdução

1.1. Enquadramento

No século XX a população mundial cresceu a uma taxa nunca antes assistida na História Mundial. De facto (PDDESA, 1999), basta verificar que em 1900 a Terra era habitada por cerca de 1650 milhões pessoas, tendo-se atingido os 5980 habitantes em 1999. No entanto, este crescimento continua a verificar-se, com dados do U.S. Census Bureau a estimarem que a população mundial atingiu os 6711 milhões de habitantes em 2008.

Se a estes dados se adicionar o também acentuado crescimento da economia – quintuplicou desde 1950 (Pinheiro, 2006) – baseado na exploração massiva dos recursos naturais, aliada à grande produção de resíduos (sólidos, efluentes líquidos e GEE), basta uma simples dedução empírica para se perceber que o planeta não está preparado para receber tamanha pressão, sem que dela advenham graves consequências.

Para concretizar e tornar tangíveis as agressões anteriormente descritas, Mathis Wackernagel e William Rees (1996) propõem o conceito de pegada ecológica – área produtiva equivalente do globo que é necessária para repor todos os recursos consumidos e todos os resíduos produzidos por uma dada população ou economia. Tal conceito permite realizar uma comparação entre o consumo humano e a capacidade que a natureza tem de o suportar (Lauria, 2007).

Assim, ao dividir a área dos terrenos produtivos (nem todos os terrenos o são) do globo pela população Mundial e considerando, também, que a Terra não está apenas disponível para os seres humanos, chega-se ao valor de 2 ha *per capita*. Porém, a pegada ecológica média está estimada em 2,7 ha, ou seja, eram necessários cerca de 1,3 planetas Terra para repor os danos causados pela Humanidade (Lauria, 2007).

A nível nacional, o problema ainda se agrava mais, já que seria necessário que Portugal tivesse mais 180% da sua área para que o país se encontrasse actualmente em equilíbrio ambiental (Pinheiro, 2006).

Por outro lado (Ewing *et al.*, 2008), com o crescimento da economia, a pegada ecológica tem vindo continuamente a aumentar (Figura 1.1), pelo que se torna imperativo actuar no sentido de atenuar a agressão da humanidade e levá-la para níveis tais que o planeta seja capaz de se renovar (< 1 planeta).

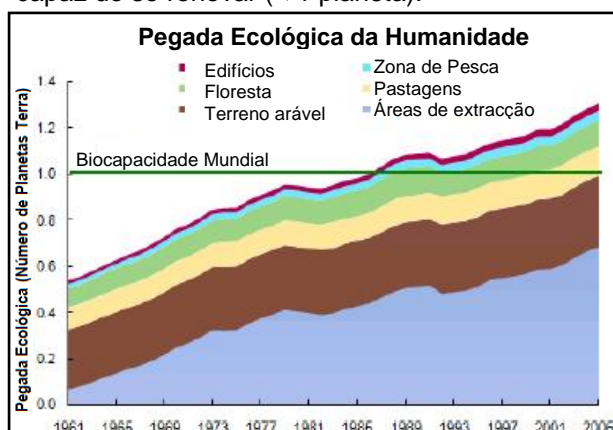


Figura 1.1 - Evolução da pegada ecológica global (adaptado de Ecological Footprint Atlas, 2008)

É neste contexto de agressão contínua do nosso habitat que, em 1987, surge a definição de desenvolvimento sustentável, como sendo um objectivo imperativo a nível global, no qual se consigam conciliar o desenvolvimento tecnológico e a componente social, por forma a criar uma economia passível de crescer e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos do globo, sem com isso prejudicar o ambiente (Brundtland, 1987).

Assim, Brundtland afirma (artigo 27.º do Capítulo I do Relatório de Brundtland, 1987) que “a humanidade tem a possibilidade de realizar um desenvolvimento sustentável que vá ao encontro das suas necessidades presentes, sem comprometer as necessidades das gerações futuras”. Neste mesmo artigo ainda se vai mais longe, ao referir que a pobreza generalizada deixa de ser inevitável, se se cumprir com rigor esta definição.

Como consequência deste relatório (ONU, 1992), entre 3 e 14 de Junho de 1992, realizou-se a Conferência das Nações Unidas para o Ambiente e Desenvolvimento (ECO 92), da qual se lavraram 27 princípios que procuram colocar em prática o conceito de desenvolvimento sustentável – conciliar o desenvolvimento económico com a protecção ambiental.

Este objectivo encontra-se bem patente no 4.º princípio desta mesma declaração, referindo que “para se alcançar o desenvolvimento sustentável, é imprescindível que a protecção ambiental constitua uma parte integrante do processo de desenvolvimento, não podendo ser considerada isoladamente”.

Porém, pese embora o facto de esta declaração ser já *per si* um importante documento que “regulamenta” a procura da sustentabilidade, o principal resultado operacional desta conferência foi a Agenda 21.

Este documento (ONU, 1992) salienta, desde logo, a importância da necessidade de todos os países trabalharem em conjunto para que se atinja a sustentabilidade. No entanto, o seu artigo 1.3 foca que o êxito dos seus intuitos é da responsabilidade do Governo de cada Estado, que deverá lançar os seus respectivos planos e estratégias nacionais, sempre apoiados pelas Nações Unidas. Considera, ainda, que a participação dos cidadãos e das ONG's é fundamental para que se consiga mudar a difícil conjuntura ambiental.

É, portanto, um documento decisivo de reflexão e de acção para cada Estado Membro, traçando objectivos gerais a nível global e local (capítulo 28 – Agenda 21 Local), que deverão ser aplicados localmente às condições socio-económicas de cada nação, dando ênfase especial às economias em transição.

Como tal, divide-se em quarenta capítulos, agrupados em quatro grandes áreas:

- I – Dimensões sociais e económicas;
- II – Conservação e gestão dos recursos para o desenvolvimento;
- III – Fortalecimento do papel dos grupos principais;
- IV – Meios de execução.

Relativamente à União Europeia, as preocupações ambientais têm estado sempre presentes na sua política comunitária desde 1967. De facto (Pinheiro, 2006), entre 1967 e 1987 verificou-se a primeira geração das directivas comunitárias sobre o Ambiente e também os três primeiros programas de acção em matéria de Ambiente.

Estava dado, pois, o primeiro passo rumo à sustentabilidade. Contudo, esta geração de políticas tinha, ainda, um fraco suporte jurídico, não contemplando, também, o ambiente como parte integrante de todo o sistema económico-social, mas antes, como uma área isolada a preservar.

Efectivamente, segundo Pinheiro, “a protecção ambiental era vista sobretudo de uma perspectiva antropocêntrica”. Era necessário preservar o ambiente, entendido como suporte para a vida, mas não lhe era atribuída qualquer valoração. Era uma visão preocupada com as consequências e não com as causas, filosofia que a prática provou ser errada.

Todavia (Pinheiro, 2006), no final dos anos 80 é aprovado o Acto Único Europeu, modificando-se todo este paradigma ambiental, tendo sido traçadas três linhas de orientação estratégica a nível comunitário:

- preservar, proteger e melhorar a qualidade do ambiente;
- contribuir para a protecção da saúde das pessoas;
- assegurar uma utilização prudente e racional dos recursos naturais.

Tendo como base estes princípios e a conferência ECO 92, já devidamente explicada, a Comissão Europeia lança uma segunda geração de directivas europeias sobre o Ambiente. Ao contrário da primeira geração, cada um destes documentos dirige-se a sectores e a actividades específicas, regulamentando-os de forma concreta, incidindo-se já sobre as questões económicas.

Por fim, a terceira geração das directivas, que se desenvolve até à data, assume uma visão integrada das questões ambientais, como aliás já vinha a ser enfatizado nas conclusões da Conferência ECO 92 e da Agenda 21.

Paralelamente a estas acções levadas a cabo pela União Europeia, foi discutido em 1997 em Quioto, no Japão, o Protocolo de Quioto, que procura reduzir as emissões de GEE, estabelecendo metas de redução diferenciadas para cada país (Anexo B do Protocolo – ONU, 1997), relativas às emissões em 1990, sendo que no conjunto se pretende uma diminuição de pelo menos 5% até 2012.

Neste intuito (artigo 2.º do Protocolo – ONU, 1997), discriminam-se diversas soluções a implementar como: aumentar a eficiência energética, inserção de filtros industriais mais eficientes, promoção de uma agricultura sustentável, limitar a produção de GEE no sector dos transportes, etc. Refira-se, que nesse mesmo artigo vem claramente expresso que se devem implementar medidas e políticas nacionais (comunitárias no caso da UE), de acordo com as condições de cada nação.

Apesar de discutido e de aprovado em Dezembro de 1997, só entrou em vigor a 16 de Fevereiro de 2005, aquando da ratificação de 55% dos países.

As grandes metas para a União Europeia prendem-se com a redução das emissões de GEE em 8% (ONU, 1997), para o período entre 2008 e 2012. Assim, Portugal vê-se obrigado a limitar o aumento das suas emissões em 27%. Como tal, a Resolução do Conselho de Ministros nº 119/2004 aprova o primeiro Plano Nacional para as Alterações Climáticas (conhecido por PNAC 2004).

Este documento expressa quais as responsabilidades sectoriais, “apresentando um conjunto de políticas e medidas e respectivos instrumentos que permitam uma intervenção integrada com o objectivo de mitigação das emissões”, cujo objectivo final é reduzir “7,6 Mt a 8,8 Mt CO₂e no período 2008-2012, face ao cenário *business as usual*”.

Contudo, segundo a Resolução do Conselho de Ministros n.º 104/2006, várias medidas previstas no PNAC 2004 não estavam a ser postas em prática, facto que afastava Portugal das metas a que se propusera no Protocolo de Quioto. Por conseguinte, é aprovada a revisão desse documento, entrando em vigor o PNAC 2006, aprovado nessa mesma resolução, que consolida as políticas tomadas, reforçando-as, de modo a que o país se aproxime dos compromissos internacionais em causa.

Felizmente, esta revisão tem vindo a colher os seus frutos, tendo-se revisto em alta o PNAC 2006 na Resolução do Conselho de Ministros nº 1/2008, aprovando novas metas discutidas em Janeiro de 2007, de modo a cumprir os objectivos já descritos.

Desta forma, para que se atinjam as metas de Quioto, o PNAC 2006, nas suas Tabelas n.º 6 (cenário de referência) e n.º 9 (novas políticas e medidas) concretiza os sectores nos quais actua, especificando as políticas e medidas a implementar, estabelecendo, também, as metas para 2010. Consequentemente, são considerados diferentes sectores: Oferta e Procura de Energia, Residencial e Serviços, Indústria, Transportes, Agricultura e Pecuária, Floresta e Resíduos.

Como ficou bem patente no parágrafo anterior, o sector imobiliário é apenas uma parcela de um todo, para o qual o PNAC 2006 prevê:

- uma maior eficiência energética dos edifício, com a introdução do RCCTE e do RSECE (aumento de 40% em relação ao RCCTE de 1991);
- introduzir um parque de 1 milhão de m² de colectores solares para águas quentes sanitárias;
- aumento da carga fiscal sobre o gasóleo de aquecimento, para promover o uso de energias renováveis.

Para reforçar a importância do aumento da eficiência energética como parte integrante da diminuição das emissões de GEE, é aprovado o Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE) pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008.

O PNAEE surge como a transposição da Directiva n.º 2006/32/CE, que prevê que cada Estado Membro deve reduzir o consumo de energia em pelo menos 1% ao ano até 2016, reduzindo-se o consumo de energia primária e as emissões de GEE, prevenindo-se as alterações climáticas perigosas.

Contudo, o Conselho de Ministros da República Portuguesa decidiu ser ainda mais exigente e estabelece uma redução de 9,8% do consumo final de energia como meta a atingir até 2015, promovendo uma articulação do PNAEE com o PNAC 2006.

Assim, o PNAEE abrange quatro áreas específicas de cariz tecnológico (Transportes, Residencial e Serviços, Indústria e Estado), às quais se adicionam três áreas transversais (Comportamentos, Fiscalidade e Incentivos e Financiamento).

Mais uma vez se constata que o sector imobiliário se encontra enquadrado num sistema mais vasto, sendo que a este nível estão previstos três distintos programas:

- Programa Renove Casa (eficiência ao nível da iluminação, equipamentos e reabilitação de espaços);
- Programa Renováveis na Hora (para fomentar o uso de energias renováveis nas habitações e serviços);
- Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios (Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios).

De entre estes três programas, destaca-se o sistema de certificação energética (tema da presente tese), que surge na Lei Portuguesa através do DL n.º 78/2006, de 4 de Abril, que transpõe para a legislação nacional a Directiva Comunitária 2002/91/CE.

Esta directiva é fruto de uma Estratégia Comunitária, desde logo patente no artigo 6.º do Tratado que institui a Comunidade Europeia, que refere que “as exigências em matéria de protecção do Ambiente devem ser integradas na definição e execução das políticas e acções da Comunidade” (CECA, 1957).

Nesta linha, entre 30 de Maio e 5 de Dezembro de 2000, o Conselho Europeu aprova o Plano de Acção para melhorar a Eficiência Energética da Comunidade Europeia. Este documento destaca o grande potencial de poupança energética economicamente viável do sector imobiliário, integrando os edifícios na lista dos cinco sectores prioritários, alvos de medidas e políticas de acção concretas: Transportes, Equipamento, Indústria, Edifícios e Produção combinada de calor e energia.

Relativamente aos edifícios, foram criadas onze medidas concretas, nas quais se insere a certificação em matéria de energia (*vide* Anexo 1 do referido Plano de Acção).

Como tal, surge a Directiva 2002/91/CE, na qual se prevê o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, tomado como uma ferramenta para a diminuição do consumo de energia deste sector, estimado na sua consideração (6) como sendo de cerca de 40% do consumo final da energia comunitária.

É, assim, um sistema que classifica os edifícios em oito classes de eficiência energética de A a G, subdividindo as duas classes mais elevadas em quatro mais restritas (A e A+, B e B-). É um documento vocacionado para o público em geral, sendo elaborado por peritos qualificados (Engenheiros, Engenheiros Técnicos e Arquitectos), que permite comparar e estimar o consumo médio de energia de cada edifício, bem como a sua produção de CO₂ equivalente.

A classificação tem por base os limites mínimos regulamentares de consumo de energia (classe B-) estabelecidos nos regulamentos RCCTE (Regulamento das Características Térmicas dos Edifícios, DL n.º 80/2006) e RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, DL n.º 79/2006). O primeiro é utilizado para as fracções autónomas de edifícios de habitação e de serviços sem sistemas de climatização centralizados. O segundo é usado em edifícios não residenciais ou fracções autónomas com área útil superior a 1000 m² (Portaria n.º 461/2007).

É, pois, neste complexo domínio ambiental que surge o tema desta tese, como sendo um importante instrumento de procura da sustentabilidade. Porém, como já se enfocou, o SCE não é uma ferramenta que por si só consiga mudar todo o paradigma actual, devendo antes ser entendida como uma parte integrante de um leque muito mais vasto de políticas a implementar em todos os diferentes sectores.

De facto, o SCE procura vincar no domínio psicológico da população a necessidade de se caminhar para uma maior eficiência, facto que só é conseguido se cada cidadão der um pequeno passo. É uma forma de estimar o consumo de cada edifício, avaliando quais as medidas que podem ser tomadas para melhorar o seu desempenho energético, deixando ao proprietário a responsabilidade de modificar e de certificar o seu edifício (acção obrigatória em processos de venda ou arrendamento de imóveis).

No entanto, olhando de uma perspectiva mais pessimista e mais céptica, este processo poderá tornar-se num novo passo burocrático, representando um custo adicional para o proprietário, sem que dele advenham quaisquer vantagens a nível ambiental.

É para concluir se a Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior realmente constitui uma ferramenta que fomenta a procura da sustentabilidade, que se insere esta tese de mestrado.

1.2. Hipótese da dissertação

Tendo como base o conjunto legal mencionado, que enquadra o Sistema de Certificação Energética no âmbito nacional e internacional, a hipótese da corrente dissertação prende-se com o fomento da procura da sustentabilidade preconizado pelo SCE.

Como tal, o SCE vai ser alvo de uma reflexão, procurando verificar se este sistema reduz, de facto, os consumos energéticos e se o faz privilegiando as medidas de arquitectura bioclimática, apostando em sistemas passivos de poupança energética (passo muito importante na procura da sustentabilidade, que modifica o paradigma arquitectónico/construtivo actual), ou se, pelo contrário, aposta maioritariamente em sistemas activos mais eficientes,

perdendo-se, assim, uma importante oportunidade de incentivo a um novo tipo de construções mais sustentáveis e eficientes.

1.3. Objectivos e metodologia de trabalho

No intuito de verificar se a hipótese enunciada é verdadeira e quais as consequências e o contributo do SCE ao nível da Sustentabilidade, torna-se imperativo dividir o trabalho num conjunto de objectivos intercalares, que quando correctamente atingidos e interligados, permitam aferir o valor lógico da hipótese.

Desse modo, para além do Enquadramento já redigido no capítulo 1.1., que procura justificar o aparecimento desta temática e a sua relevância ao nível ambiental, nomeadamente na redução das emissões dos GEE e no aumento da eficiência energética do edificado, decidi dividir esta dissertação em sete grandes áreas de estudo, cada qual correspondente a um dos seus capítulos.

Assim, após 1. Introdução, segue-se o capítulo 2. Estado da Arte, no qual se revêem as características e as implicações do SCE para a Energia e para a própria Qualidade do Ar Interior. Baseia-se, portanto, numa cuidada pesquisa bibliográfica, com particular incidência em documentos normativos, quer da Comissão Europeia, quer da própria República Portuguesa. Como adição, e sem, com isto, minorar a sua importância científica e técnica, recorre-se, também, a documentos relativos ao SCE em Portugal e na Europa disponibilizados pela autoridade nacional responsável pelo mesmo – ADENE.

Posto isto, estão criadas as condições para se estudar a importância da Energia e da Qualidade do Ar no tocante à Sustentabilidade. É neste contexto que se insere o capítulo 3. Sustentabilidade e Energia, que, recorrendo, ainda, a uma pesquisa bibliográfica da especialidade, relaciona os conceitos de Construção Sustentável e de Eficiência Energética, concluindo com a definição adoptada neste trabalho de edifício energeticamente sustentável.

Após apreendidos os conceitos teóricos básicos para uma análise consistente do problema em questão, passa-se para uma análise de casos específicos, conseguida no capítulo 4. Os casos de estudo.

Através da análise de um edifício multifamiliar e de uma vivenda, inserida em três regiões climáticas distintas, avaliam-se as disposições regulamentares, verificando se os edifícios construídos de acordo com o actual RCCTE cumprem os propósitos de um edifício energeticamente sustentável, definido no capítulo 3.

Para esta mesma análise, não só se recorre às ferramentas de cálculo regulamentares (RCCTE e *software Solterm 5.1.3*), mas também ao *software Energyplus 4.0*, que permite a avaliação de soluções passivas mais complexas, que não podem ser avaliadas pela metodologia anterior.

No capítulo 5. Resultados, descrevem-se os resultados adoptados e as diferenças construtivas existentes entre as várias soluções adoptadas, por forma a que se possa responder à pergunta que intitula a presente tese.

Tendo como base os resultados anteriores, introduz-se o capítulo 6. Discussão de resultados, que permite discutir e a analisar tecnicamente os dados obtidos no ponto anterior, que relacionados com os conceitos teóricos abordados nos capítulos iniciais, prepara a resposta à pergunta que intitula a presente dissertação.

Por fim, reserva-se um último capítulo para as conclusões e trabalhos futuros (7. Conclusões e trabalhos futuros), no qual se verifica se o SCE, na vertente residencial, procura, de facto, a sustentabilidade, realçando as alterações a introduzir no futuro, para que se atinjam correctamente as directrizes para edifícios energeticamente sustentáveis.

2. Estado da Arte

2.1. Introdução

Este segundo capítulo da dissertação tem como fim a realização da revisão da literatura referente à certificação energética e suas implicações construtivas, quer a nível político-legal, quer a nível científico.

Deste modo, numa primeira parte abordam-se os principais documentos de índole político-legal, para que se possam resumir as estratégias europeia e nacional no âmbito da certificação energética.

Posteriormente, procede-se a uma abordagem científica, na qual se descrevem de uma forma sucinta vários estudos já realizados relativos ao tema em análise, que servem de ponto de partida para o desenvolvimento desta dissertação.

Como tal, neste capítulo não se procura abordar extensivamente todos os regulamentos e programas de acção (embora também se dedique uma parte para o efeito). Procura-se, antes, resumir os vários trabalhos já executados, de modo que esta tese venha na sua sequência, melhorando, assim, os conhecimentos sobre a sustentabilidade do actual sistema de certificação energética.

2.2. Orientações político-legais

2.2.1. Estratégia comunitária

Nos dias 23 e 24 de Março de 2000, o Conselho Europeu reuniu-se, excepcionalmente, em Lisboa para debater um nova estratégia comunitária no intuito de criar uma economia europeia mais competitiva, mais dinâmica e com mais formação (Conselho Europeu de Lisboa, 2000).

Inicialmente, era uma estratégia meramente económica, sem preocupações ambientais intrínsecas. No entanto, este documento foi revisto pela Comissão Europeia em Abril de 2005, criando-se o Programa Comunitário de Lisboa, ou Estratégia de Lisboa, que contempla, também, a problemática ambiental.

De facto, este documento conclui que “existe um significativo potencial económico, ambiental e de emprego tanto nas tecnologias ambientais como nas tecnologias eficientes em termos energéticos e baseadas em energias renováveis”, promovendo o seu desenvolvimento e financiamento através do Plano de Acção sobre Tecnologias Ambientais (ETAP).

Deste modo, o domínio ambiental passa a estar inserido nas opções gerais e estratégicas da Europa. Todavia, é excessivo e incorrecto afirmar que o Ambiente só passou a ser considerado uma prioridade europeia a partir de então.

Efectivamente, tal como foi referido no Enquadramento, tem havido uma evolução das políticas ambientais, reforçadas com a assinatura do Protocolo de Quioto. Este documento implicou a aprovação de um conjunto de planos de acção e de directivas comunitárias, de modo a que se cumprisse a meta europeia de redução de 8% dos GEE para 2008-2012.

Também como já foi enfatizado, é necessário um conjunto de medidas para se atingirem os objectivos comunitários, que não vise unicamente o sector imobiliário, mas também os restantes, dos quais é exemplo o sector dos transportes.

Porém, tendo em conta que esta dissertação se concentra na certificação energética do edificado, apresenta-se de seguida o Quadro 2-1, que resume as principais propostas europeias relativas à eficiência energética dos edifícios, indicando, também, quais os documentos onde estas se encontram patentes:

Quadro 2-1 – Documentos políticos europeus referentes à eficiência energética dos edifícios (1/2)

<p>Directiva 91/565/CEE (programa SAVE)</p>	<p>Objectivo: - Aprovação do primeiro programa SAVE (com duração de 5 anos) – programa com acções específicas destinadas à obtenção de um alto rendimento energético (tendo-se aprovado no seu seguimento o programa SAVE II).</p> <p>Medidas propostas: - Fixação futura de objectivos sectoriais de rendimento energético e acompanhamento da evolução nestes sectores.</p>
<p>Directiva 92/42/CEE</p>	<p>Objectivo: - Consequência do Programa SAVE para promover a eficiência das Caldeiras de aquecimento de águas quentes.</p> <p>Medidas propostas: - Exigências de rendimento a novas caldeiras abastecidas por combustíveis líquidos e gasosos com potência nominal entre 4 e 400 kW; - Certificação das caldeiras fabricadas.</p>
<p>Directiva 93/76/CEE</p>	<p>Objectivo: - Limitação das emissões de dióxido de carbono através do aumento da eficiência energética.</p> <p>Medidas propostas: - Certificação energética dos edifícios; - Isolamento térmico de edifícios novos; - Financiamento por terceiros dos investimentos em eficiência energética no sector público; - Inspeção periódica das caldeiras.</p>
<p>Plano de acção para melhorar a eficiência energética na Comunidade Europeia</p>	<p>Objectivos: - Melhorar a eficiência energética da UE, cujo potencial estimado de poupança era à data de 18% (publicado em 2000), isto é, de 1900 TWh ou 160 Mtep; - Obter uma melhoria adicional da intensidade energética de 1 ponto percentual por ano acima da base de referência anual estimada, atingindo-se com isto 2/3 do potencial anterior até 2010; - Com a melhoria da eficiência energética, diminui-se a emissão de GEE, indo-se ao encontro dos objectivos de Quioto, evitando-se a emissão de 64 Mt CO₂/ano até 2010;</p> <p>Medidas propostas: - Alterar a Directiva 93/76/CEE, definindo claramente as medidas propostas, aumentando o nível de exigência do isolamento térmico, propor um sistema de certificação energética e incentivar a remoção de caldeiras antigas não eficientes.</p>
<p>Directiva 2002/91/CE</p>	<p>Objectivo: - Promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios da comunidade, sendo resultado do plano de acção para melhorar a eficiência energética na Comunidade Europeia.</p> <p>Medidas propostas: - Serão discutidas posteriormente no subcapítulo 2.2.3.</p>

Quadro 2-1 – Documentos políticos europeus referentes à eficiência energética dos edifícios (2/2)

Directiva 2006/32/CE	Objectivos: - Revogar a Directiva 93/76/CEE; - Incrementar a relação custo-eficácia na melhoria da eficiência na utilização final de energia nos Estados-Membros; Medidas propostas: - Aquecimento e arrefecimento mais eficientes; - Aumentar o isolamento térmico e os sistemas de ventilação natural (sistemas passivos); - Instalação de dispositivos de aquecimento de águas quentes sanitárias mais eficientes; - Instalação de lâmpadas mais eficientes; - Utilização de sistemas de recuperação de calor e de electrodomésticos mais eficientes; - Introdução de aparelhos de microgeração nos edifícios.
Plano de Acção para a Eficiência Energética: Concretizar o Potencial	Objectivos: - Delinear um quadro de políticas e medidas de modo a concretizar o potencial de poupança energética até 2020 (calculado à data em 20%); - Tornar os sistemas energéticos da UE nos mais eficientes do mundo; - Sensibilizar os cidadãos para racionalizarem o uso da energia. Medidas propostas: - Tornar os edifícios energeticamente mais eficientes, baixando consideravelmente o consumo energético, recorrendo, essencialmente, a sistemas passivos; - Propor requisitos energéticos mínimos mais exigentes; - Propor a revisão da Directiva 2002/91/CE.

Para além destes documentos de acção, importa referir sucintamente que nos últimos anos foram publicados três livros verdes relativos às problemáticas ambientais, dos quais se destacam, seguidamente, os pontos relativos aos edifícios:

- Livro verde sobre a eficiência energética (2005) – salienta que a eficiência energética nos edifícios pode gerar grandes poupanças de energia, reforçando a importância da Directiva 2002/91/CE, alertando, simultaneamente, para a necessidade de se utilizar uma iluminação mais eficiente.
- Livro verde sobre a estratégia europeia para uma energia sustentável, competitiva e segura (2006) – alerta para o problema da dependência dos combustíveis fósseis e para a problemática do aumento da emissão dos GEE, enfatizando a necessidade de aumentar a eficiência energética nos edifícios, para que se atinja o potencial de poupança de 20% até 2020. Propõe, também, um maior recurso a energias renováveis (21% da energia até 2010 deverá provir de fontes renováveis).
- Livro verde de adaptação às alterações climáticas na Europa (2007) – discute as possibilidades de adaptação da União Europeia a esta problemática. Alerta, ainda, para a alteração consequente dos padrões de consumo energético e para a alteração estimada das temperaturas, facto que terá influência no cálculo das necessidades energéticas dos edifícios (deverão ser projectados para um clima mais quente).

2.2.2. Estratégia Nacional

Portugal, como membro da União Europeia, apresenta uma estratégia nacional em concordância com a Comunidade, cumprindo, assim, com a Estratégia de Lisboa.

Neste âmbito, em 2005 foi assinado o Plano Nacional de Acção para o Crescimento e Emprego (PNACE 2005/2008). Com o seu *terminus*, procedeu-se à sua renovação através do Plano Nacional de Reformas 2008/2010.

Em ambos os planos a problemática ambiental materializa-se como um dos desafios prioritários (Presidência do Conselho de Ministros, 2008). Contudo, à semelhança da estratégia europeia, é incorrecto afirmar que só a partir de então é que se tomaram medidas para combater conjuntura descrita no capítulo inicial. Assim, apresenta-se, de igual forma, o Quadro 2-2 que resume as principais medidas relativas à eficiência energética nos edifícios tomadas pelo governo português nos últimos anos:

Quadro 2-2 - Medidas nacionais do âmbito da eficiência energética dos edifícios (1/2)

Programa E4 (2001)	<p>Objectivo: - Diminuir a intensidade energética dos edifícios e recorrer com maior incidência às energias renováveis;</p> <p>Medidas propostas: - Promoção da microgeração; - Incentivos na aquisição de electrodomésticos de classes A e B; - Promoção de medidas de eficiência energética nos edifícios públicos; - Alteração do RCCTE e do RSECE; - Dinamização do SCE; - Benefícios fiscais na utilização das energias endógenas.</p>
PNAC 2006 (alteração do PNAC 2004 e revisto em alta em 2008)	<p>Objectivo: - Redução das emissões dos GEE, de modo a atingir as metas de Quioto (não ultrapassar em mais de 27% as emissões registadas por Portugal em 1990, para o período de 2008-2012).</p> <p>Medidas propostas: - Introdução do novo RCCTE (aumento da eficiência energética dos edifícios em 40%); - Instalação de 1 000 000 m² de colectores solares; - Aumento da carga fiscal sobre o gásóleo de aquecimento.</p>
PNACE (2005-2008) e PNR (2008-2010)	<p>Objectivo: - Obter uma maior eficiência energética, reduzindo-se a dependência externa, utilizando racionalmente os recursos naturais e aumentando a exploração de energias renováveis, de modo a diminuir a emissão dos GEE (descarbonização da economia portuguesa);</p> <p>Medidas propostas: - Criação do PNAEE (no PNACE); - Criação do programa Água Quente Solar (no PNACE); - Promover a microgeração e a instalação de água quente solar (no domínio 4.º do PNR); - Certificação Energética dos Edifícios (no PNR); - Incentivos fiscais para edifícios eficientes (“cheque eficiência” e linha de crédito bonificado para investimentos em medidas de eficiência energética);</p>
DL n.º 78/2006	<p>Objectivo: - Implementar o Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE).</p> <p>Medidas propostas: - Serão avaliadas no subcapítulo 2.2.4, conjuntamente com o RSECE (DL 79/2006) e RCCTE (DL 80/2006).</p>

Quadro 2-2 – Medidas nacionais do âmbito da eficiência energética dos edifícios (2/2)

PNAEE (2008) ou “Portugal Eficiência 2015”	Objectivo: - Reduzir a taxa de crescimento da factura energética em cerca de 1,1%/ano até 2015, permitindo uma economia de 1792 Mtep; Medidas propostas: - Reabilitação energética do parque habitacional degradado; - Aumento da penetração da microgeração (com incentivos à produção) e do solar térmico (Programa Renove – Solar Térmico); - Certificação energética dos edifícios do Estado; - Sensibilização da população para a necessidade da eficiência energética (Programa Mais); - Programa Renováveis na Hora; - Programa Renove Casa, com a utilização da janela eficiente, do isolamento térmico eficiente e de recuperadores de calor.
PPEC (2006, revisto em 2009)	Objectivo: - Promover a eficiência energética no consumo. Medidas propostas: - Continua na mesma linha de acção dos restantes planos, salientando a importância de uma iluminação eficiente e da utilização de painéis solares para AQS.

2.2.3. A Directiva 2002/91/CE

Considerando que uma “maior eficiência energética constitui uma parte importante do pacote de políticas e medidas necessárias ao cumprimento do Protocolo de Quioto” e que “os sectores residencial e terciário absorvem mais de 40% do consumo final da Energia da Comunidade” (Directiva 2002/91/CE), o Parlamento Europeu aprovou a Directiva 2002/91/CE.

Esta Directiva resultou, quer da Directiva 93/76/CEE, quer do Plano de Acção para a Eficiência Energética, tendo como principal objectivo a promoção da melhoria do desempenho energético dos edifícios na Comunidade. Assim, concentra-se em cinco diferentes tipos de requisitos:

a) *Enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado nos edifícios.*

A este nível, a directiva prevê que cada Estado-Membro estabeleça uma metodologia de cálculo (a nível nacional ou regional), que divida os edifícios em diferentes categorias e que integre as características térmicas do edifício, a instalação de aquecimento e o fornecimento de água quente, a instalação de ar condicionado, a instalação fixa de iluminação (em especial no sector não residencial), a posição e orientação dos edifícios, as condições climáticas exteriores e interiores, os sistemas solares passivos e a protecção solar e a ventilação natural. Pode, ainda, ter-se em conta outros factores como sistemas solares activos, outros sistemas de aquecimento e de microgeração, iluminação natural e sistemas urbanos ou colectivos de aquecimento e arrefecimento.

b) *Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios.*

Os requisitos mínimos de desempenho energético são estipulados por cada Estado-Membro (devendo ser revistos no máximo de cinco em cinco anos), considerando as condições climáticas externas e as internas, sem que daí advenha uma deficiente qualidade do ar interior.

c) *Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos grandes edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação.*

A presente directiva impõe uma distinção entre edifícios novos e existentes, sendo que os edifícios sujeitos a obras de reabilitação importantes com mais de 1000 m² de área útil deverão cumprir os requisitos mínimos das construções novas.

d) *Certificação energética dos edifícios.*

A certificação energética dos edifícios vem descrita no artigo 7.º, sendo obrigatória em todas as operações imobiliárias de venda e arrendamento. Para além destes edifícios, é obrigatória a afixação de um certificado em “posição de destaque” de edifícios públicos com mais de 1000m² e que prestem serviços públicos a um grande número de pessoas.

Este certificado é elaborado por *Peritos Independentes* acreditados por entidades nacionais, e nunca deverá ter uma validade superior a 10 anos. A directiva indica, ainda, que os certificados deverão conter medidas de melhoria do desempenho energético, avaliadas segundo a sua rentabilidade económica.

e) *Inspecção regular de caldeiras e de instalações de ar condicionado nos edifícios e, complementarmente, avaliação da instalação de aquecimento quando as caldeiras tenham mais de quinze anos.*

Nesta alínea estão previstas inspecções a caldeiras de combustíveis não renováveis com potência nominal útil entre 20 a 100 kW e instalações AVAC com potência nominal superior a 12 kW, realizadas por parte dos peritos descritos em d).

2.2.4. DL n.º 78/2006, RSECE e RCCTE

A Directiva 2002/91/CE foi transposta para a legislação nacional pelo DL n.º 78/2006, de 4 de Abril, pelo qual é criado o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), supervisionado pela DGGE e gerido pela ADENE.

Esta última entidade torna-se, também, responsável pela aprovação do modelo de certificado e pela acreditação dos peritos qualificados, facultando *on-line* toda a informação relativa aos processos de certificação (artigo 6.º do DL 78/2006).

Porém, a metodologia de cálculo definida de acordo com o artigo 3.º (e seu Anexo) da Directiva Comunitária 2002/91/CE, bem como os requisitos de desempenho energético descritos no seu artigo n.º 4, não vêm expressos no referido Decreto-Lei, sendo, sim, remetidos para o RSECE e para o RCCTE.

O primeiro destes dois documentos (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, DL n.º 79/2006) limita o consumo de energia nos grandes edifícios de serviços, majorando o consumo de energia para a climatização ao impor uma potência máxima, requerendo, também, limites mínimos para a Qualidade do Ar Interior.

Esta dissertação irá focar-se no segundo regulamento, que diz directamente respeito aos edifícios residenciais, classe na qual se inserem os casos de estudo, futuramente apresentados no capítulo 4.

Efectivamente, o RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios), aprovado pelo DL n.º 80/2006, abrange todos os edifícios de habitação com área inferior a 1000 m² e todos os edifícios de serviços com área inferior a 1000 m², ou 500 m², no caso de piscinas interiores aquecidas, centros comerciais, supermercados e hipermercados (Portaria n.º 461/2007, que remete para o artigo 27.º do RSECE).

No intuito de serem calculadas as necessidades energéticas dos edifícios abrangidos pelo RCCTE, este divide o país em diferentes zonas climáticas (que constam do seu Anexo III) e estipula quatro índices térmicos fundamentais a quantificar (Nic, Nvc, Nac e Ntc), limitados superiormente no artigo 15.º, em função da zona climática em que se insere o edifício.

Esta divisão climática vem de acordo com o previsto no artigo 1.º, da Directiva 2002/91/CE, que estipula que os requisitos energéticos devem ter em conta as condições climáticas externas e locais.

A metodologia de cálculo para os diferentes índices referidos não será aqui abordada em pormenor, para que se possam discutir os estudos científicos na segunda parte deste capítulo. No entanto, far-se-á alusão aos principais parâmetros abordados neste cálculo. Deste modo, o n.º 3 do artigo 4.º contempla quatro parâmetros complementares a quantificar:

- a) *Coeficientes de transmissão térmica, superficiais e lineares dos elementos da envolvente* – para que se possam contabilizar as transmissões de calor pelas paredes e também pelas pontes térmicas, quer para o exterior, quer para locais não aquecidos.
- b) *Classe de inércia térmica do edifício ou da fracção autónoma* – A inércia térmica é “a capacidade de um elemento absorver calor e só libertá-lo ao fim de um certo tempo” (Rodrigues *et al.*, 2009), materializada na massa (não tamponada) dos paramentos. Permite, pois, reduzir as necessidades de arrefecimento, já que durante o dia as paredes absorvem energia, libertando-a à noite (o que também reduz a carga de aquecimento).
- c) *Factor solar dos envidraçados* – por forma a contabilizar os ganhos solares destes vãos, que variam de acordo com o tipo de vidro, o tipo de caixilharia, o tipo de sombreamento e a sua própria orientação solar.
- d) *A taxa de renovação do ar* – que permite aumentar a salubridade do ar interior, transportando, também, consigo a capacidade de transferência de energia entre o interior do edifício e a sua envolvente.

Com as necessidades globais de energia primária calculadas (*Ntc*), é possível compará-las com os limites regulamentares e, assim, determinar a classe energética do edifício, tal como se pode verificar na Figura 2.1:

Classe energética	Comparação com consumo de referência
A+	Menos 25% consumo de referência
A	Entre 25% a 50%
B	50% a 75%
B-	75% a 100%
C	100% a 150%
D	150% a 200%
E	200% a 250%
F	Entre 250% a 300%
G	Mais de 300% consumo de referência

Figura 2.1 - Classes energéticas do SCE (fonte: ADENE, 2009a)

Um certificado energético para além de indicar a classe energética do edifício (ADENE, 2009a), contempla as suas emissões de CO₂, a desagregação das necessidades de energia nos três pontos já referidos (aquecimento – Nic, arrefecimento – Nvc – e águas quentes sanitárias – Nac), expressas em kWh/m², o valor de Ntc (kgep/m²) e algumas propostas de medidas a adoptar (que discriminam a redução estimada de energia, o investimento estimado e o *pay-back* simples), referindo qual a nova classe energética, caso fossem implementadas.

Por fim, seguem-se algumas páginas mais técnicas que descrevem sucintamente os elementos mais relevantes a nível regulamentar, já referidos anteriormente.

2.2.5. Divulgação e futuro do SCE

Sem uma divulgação eficiente das orientações da União Europeia, não é possível uma implementação eficaz do SCE. Deste modo, têm vindo a ser implementados vários programas de sensibilização, quer a nível comunitário, quer a nível nacional.

Assim, em termos da União Europeia, destacam-se os programas *Green Building* e *Enerbuilding*.

O primeiro diz respeito a um programa voluntário iniciado pela Comissão Europeia em 2005 para promover investimentos em eficiência energética e em energias renováveis entre os proprietários de edifícios não-residenciais, divulgando exemplos de sucesso, dos quais é exemplo o edifício da Câmara Municipal de Lisboa (Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2006).

O programa *Enerbuilding* é financiado pela Comissão Europeia e tem como objectivo sensibilizar os utilizadores dos edifícios para a eficiência energética, fornecendo-lhes informações e apoio (Projecto *Enerbuilding*, 2006). Como consequência, foram publicados os Manuais do Consumidor para edifícios públicos (Isolani *et al.*, 2008a) e para edifícios residenciais (Isolani *et al.*, 2008b). Em ambos se faz uma descrição da problemática energética e como esta pode ser resolvida, enumerando os vários parâmetros a considerar.

Em termos nacionais, o DL n.º 78/2006 prevê que a ADENE seja a responsável pela divulgação do SCE *on-line*, facto que se comprova acedendo à sua página (www.adene.pt), de onde se pode aceder à plataforma Casa Certificada (www.casacertificada.pt), na qual se divulga o SCE, enumerando, também, propostas de melhoria do desempenho energético.

Para além desta plataforma, existe, ainda, o simulador energético, de utilização expedita, que permite a qualquer cidadão conhecer em poucos minutos uma estimativa muito grosseira da classe energética da sua habitação (www.casamais.adene.pt).

Estes são só alguns exemplos de divulgação do SCE, aos quais se podem adicionar as várias conferências e acções de formação realizadas em território nacional, ou o próprio programa solar térmico 2009, no intuito de fomentar e financiar a aplicação de painéis solares nas habitações portuguesas (www.paineissolares.gov.pt).

Relativamente ao futuro do SCE, está disponível a prEN 15217:2005, que pretende uniformizar a forma dos certificados, definindo, também, parâmetros globais de desempenho energético e as formas de expressar as necessidades energéticas e os valores de referência.

Por outro lado, em Novembro de 2008, a Comissão Europeia propõe uma alteração à Directiva 2002/91/CE, corrigida pelo Comité das Regiões em Abril de 2009, reformulando-a completamente.

A principal alteração apresentada prende-se com a realização de planos nacionais para fomentar a construção de edifícios quase neutrais em energia e em carbono, interpretados como um objectivo fulcral a atingir até 2018.

Introduz ainda, outras modificações como a introdução de requisitos de desempenho energético com custos optimizados e de mínimos de inserção de sistemas renováveis; a passagem do limiar de 1000 m² para 250 m² de definição das grandes obras de reabilitação; e a inspecção a sistemas de aquecimento em vez de apenas a caldeiras (com relatório obrigatório). Por fim, faz-se alusão ao seu anexo que descreve o sistema independente a adoptar para o controlo dos certificados energéticos e dos relatórios de inspecção.

2.3. Aplicação na vertente residencial

No domínio técnico-científico, têm sido elaborados alguns estudos sobre o SCE e a sua aplicação no parque habitacional português. Assim, esta segunda parte do Estado da Arte resume alguns trabalhos já realizados sobre o sistema português, embora somente no tocante ao parque residencial, eliminando-se o RSECE, pelas razões já enunciadas.

2.3.1. O parque habitacional português

Antes de se entrar directamente no SCE, procede-se a uma descrição sumária do parque habitacional português, já que é sobre ele que se aplica a certificação energética.

Desse modo, com base no estudo de Luís Bragança *et al.* (2008) e nos dados do Instituto Nacional de Estatística (INE, 2009), o parque habitacional português pode descrever-se como contendo cerca de 5,1 milhões de habitações para cerca de 3,7 milhões de famílias. Destas habitações, 11% estão desocupadas e 18% correspondem a segundas residências.

Estes valores indicam que a construção de residências de férias ocupa já uma grande percentagem do mercado, tendo tido mesmo um aumento de 40% no período referente a 1991/2001, contra, apenas, um crescimento de 16% das demais (Nazaré Roca *et al.*, 2009).

A partir destes dados, pode concluir-se que o rácio de residências por família era, à data, de 1,34, o que aponta para uma grande potencialidade no mercado da reabilitação (61% dos edifícios existentes foram construídas entre 1946 e 1991).

Com o estudo de Nazaré Roca *et al.* em 2009, verifica-se que há um grande crescimento da actividade turística em Portugal, acompanhada por uma grande expansão de habitações desta índole. Conclui, também, que as segundas habitações em espaço rural despovoado são maioritariamente antigas, enquanto que nas estâncias de férias e áreas periurbanas é comum a construção de edifícios de vários andares.

2.3.2. O mercado e o SCE

Cepinha (2007), relaciona o parque habitacional com a certificação energética de edifícios, ao encará-la como estratégia empresarial do sector da construção.

Este trabalho elabora uma metodologia de cálculo que converte o consumo energético dos edifícios em CO₂, analisando as projecções das emissões de GEE com e sem a aplicação de medidas de eficiência energética.

Assim sendo, conclui que 34% da Energia do nosso país é consumida pelos edifícios e pela indústria da construção, o que corresponde a cerca de 31% das emissões de GEE. Como tal, este estudo apresenta a Certificação Energética como um ponto imperativo para se cumprirem as metas do PNAC.

Para além disto, Cepinha (2007) lista várias vantagens do SCE, quer para o sector da promoção imobiliária, quer para o desenvolvimento económico nacional.

No que concerne ao sector imobiliário, conclui que a curto prazo as empresas de construção ao investirem maioritariamente em edifícios de classe A, vêem os seus activos valorizados, conseguindo vendas de valor superior. A longo prazo, uma política desta índole induz nos cidadãos maiores preocupações ambientais, aumentando a procura futura de imóveis energeticamente mais eficientes.

Embora não referido neste documento, considera-se que este último ponto obrigará à reabilitação energética dos edifícios com uma *performance* energética mais baixa, no intuito de se tornarem competitivos. Isto originará, pois, um novo ciclo de construções mais eficientes, que trará consigo a diminuição progressiva das emissões de GEE.

Em termos nacionais, Cepinha conclui que as medidas de redução de consumos permitirão poupar até 2020 entre 5,97 a 6,98 Mt CO₂ e reduzir o défice energético português.

Para além desta redução ser muito significativa em termos ambientais, origina, uma poupança entre 119 e 140 milhões de euros, referente à não aquisição das licenças de emissão de CO₂ respectivas.

Conduzirá, também, a uma menor importação de energia, o que levará à diminuição da parcela do Orçamento de Estado estimada para o efeito, permitindo um maior investimento noutros sectores de actividade.

Um outro instrumento de mercado que pode fomentar a eficiência energética consiste nos Certificados Brancos (Gouveia, 2008), já existentes em vários países da Europa. Estes certificados são títulos de eficiência energética que podem ser adquiridos por uma empresa, que se compromete a cumprir uma meta de eficiência emitida no certificado (1 tep, por exemplo), num dado período temporal, mediante recompensas financeiras da parte do Estado. Para além deste ponto, os certificados poderão ser transaccionáveis no mercado.

Gouveia (2008) propõe, então, um esquema de Certificados Brancos em Portugal, que se julga poder ser aplicado ao mercado imobiliário como um incentivo à eficiência energética do sector, o que traria consigo uma redução significativa de GEE.

Termina-se este subcapítulo com a referência a título ilustrativo de dois outros trabalhos realizados por duas Universidades Portuguesas, que demonstram algumas das áreas actualmente em estudo no meio académico:

- Estratégia da Energia e Alterações Climáticas para o Município de Cascais (Segurado *et al.*, 2008) – desenvolvido no Instituto Superior Técnico, ilustra a preocupação dos Municípios em identificar as áreas de actuação no âmbito da promoção da sustentabilidade energética;
- Associação para o Desenvolvimento da Casa do Futuro (Labrincha *et al.*, 2006) – desenvolvido pela Universidade de Aveiro, demonstra como a eficiência energética é uma preocupação de futuro, ao ser considerada no sub-projecto de isolamento térmico.

2.3.3. Estudos de simulação sobre o RCCTE

Como já foi indicado, o RCCTE é o regulamento térmico em que se baseia o SCE aplicado aos edifícios residenciais. Como tal, têm vindo a ser realizados vários estudos que avaliam a sua qualidade e a sua real adequação ao território nacional.

Na primeira parte deste capítulo, referenciou-se que o RCCTE estima as necessidades de arrefecimento, aquecimento e de produção de AQS, comparando-as com um valor limite, definido de acordo com a zona climática em que se insere o edifício.

Para verificar se a metodologia de cálculo do RCCTE está, ou não, dotada de uma boa precisão, Silva *et al.* (2007) compararam os valores de N_{ic} e de N_{vc} calculados pelo regulamento com os valores obtidos através de um programa de simulação dinâmica (*VisualDOE*), referentes a duas casas-tipo, uma convencional e outra que procura aplicar princípios de sustentabilidade.

Desta comparação concluiu-se que existe uma grande convergência entre os resultados do RCCTE e os calculados pela simulação. Deste modo, o uso da metodologia de cálculo do RCCTE pode ser assumida como uma ferramenta simplificada para avaliar a eficiência energética dos edifícios.

Em 2009, foi realizada uma outra comparação destas estimativas em edifícios habitacionais, nas diferentes zonas climáticas do país, utilizando uma outra ferramenta de simulação dinâmica, o *eQuest* (Silva *et al.*, 2009a).

De novo se comprovou uma boa aproximação do RCCTE aos valores obtidos por simulação dinâmica para todas as zonas climáticas (I_1 a V_1), com a excepção da zona I_3 , em que o regulamento sobrestima em cerca 40% as necessidades de aquecimento.

Esta discrepância foi analisada em três concelhos diferentes (Bragança, Vila Real e Guarda) e foi também analisada no programa *Energyplus*, permitindo chegar às mesmas conclusões.

A justificação apresentada para este facto prende-se com as simplificações da metodologia expedita de cálculo do RCCTE, que não inclui as variações diárias e sazonais de temperatura, considerando cerca de 90 kWh/m².mês durante cerca de 7-8 meses, o que não é bem verdade, já que as necessidades de aquecimento de Janeiro são diferentes das de Abril.

Porém, apesar desta diferença, o RCCTE estima com bastante eficácia as necessidades energéticas na grande maioria do país, sendo apenas mais conservativo na zona I₃ (Silva *et al.*, 2009a).

Para resolver este problema, julga-se ser importante um estudo sobre a eventualidade de se introduzir um factor de redução de *Nic* nesta zona climática, para aproximar os resultados à realidade.

Ainda na mesma linha, pode referir-se o estudo de Silva (2006), que utilizando de novo o *VisualDOE*, aplicado a outros casos estudo verificou, também, que o “RCCTE obtém resultados muito semelhantes à simulação dinâmica na previsão das necessidades de aquecimento/arrefecimento”.

Termina-se este ponto com uma breve alusão ao RSECE, que embora não se insira directamente no âmbito deste trabalho, tem sido, igualmente, analisado. Para o demonstrar, refere-se, a título ilustrativo, o estudo de Roriz e de Silva (2008), que, através da simulação dinâmica de um edifício universitário, concluem que é necessária a reformulação da correcção climática imposta pelo RSECE (que converte as necessidades de aquecimento/arrefecimento do RCCTE em necessidades energéticas dos edifícios relativos ao RSECE).

Este estudo reflecte a importância da utilização de simulações dinâmicas nos cálculos das necessidades energéticas nos edifícios abrangidos pelo RSECE, facto que se verificou não ser necessário na generalidade dos casos do RCCTE, através dos estudos em cima apontados.

2.3.4. Soluções Construtivas e RCCTE

No que diz respeito a esta temática, existem alguns trabalhos que analisam as várias técnicas e materiais de construção utilizados no nosso país, à luz da nova regulamentação térmica.

O primeiro exemplo relata as implicações construtivas do novo RCCTE na concepção de paredes de alvenaria (Freitas, 2007).

Neste estudo destaca-se a importância do isolamento das pontes térmicas planas (heterogeneidade inserida em zona corrente da envolvente, por exemplo, um pilar) e das pontes térmicas lineares (aresta de ligação entre elementos construtivos).

Este isolamento é necessário para evitar perdas energéticas localizadas e para prevenir fenómenos de condensações superficiais, podendo resolver-se facilmente com a aplicação do isolamento térmico pelo exterior (ETIC).

Os ETICs aumentam, também, a inércia térmica da parede, ao contrário do isolamento pelo interior que a anula, ou da solução mais comum em Portugal, isolamento na caixa de ar, em que só metade do paramento contribui para esta grandeza (Rodrigues *et al.*, 2009).

Para além desta conclusão, Freitas (2007) sugere que a adopção da espessura de isolamento térmico seja realizada com base na estimativa do custo global em função do coeficiente U utilizado. Esta estimativa apresenta-se como a composição dos custos de aquisição e de aplicação do isolamento com os custos de exploração – consumo energético.

Este estudo permitiu, ainda, concluir quais as poupanças em termos financeiros, da utilização de diferentes espessuras de XPS nas três diferentes zonas climáticas de Inverno, em relação à não utilização de isolamento (N0) que se podem visualizar no Quadro 2-3:

Quadro 2-3 - Poupanças económicas do uso de isolamento térmico em XPS (fonte: Freitas, 2007)

Zona climática	Espessura (mm)	Período de retorno (anos)	Poupança relativa a N0 (€/m ²)		
			15 anos	20 anos	25 anos
I ₁	30	3	42	67	99
	50	4	49	80	119
	70	5	51	85	129
I ₂	30	2	60	94	138
	50	3	71	114	169
	70	4	76	124	184
	80	4	77	126	189
I ₃	40	2	127	199	289
	60	2	145	229	334
	80	2	155	246	359
	110	3	161	258	380

Daqui se constata que um bom isolamento térmico, para além do grande impacte ambiental positivo a ele associado (minora o consumo energético), é muito vantajoso economicamente.

Ainda no tocante aos paramentos da envolvente, Simões (2007) explora e sugere um estudo mais aprofundado de um novo material muito abundante e com boas propriedades de mitigação das pontes térmicas e de inércia térmica (com especiais vantagens na estação de arrefecimento) – a terra crua – no âmbito da aplicação em pequenos edifícios unifamiliares.

Este material apresenta, ainda, a vantagem de necessitar de muito pouca energia no seu processamento, o que o torna ambientalmente apelativo. Contudo, julga-se ser necessário um estudo mais aprofundado sobre esta solução construtiva, dada a sua rápida degradação sobre a acção da água e a sua fraca resistência mecânica (Lourenço, 2002).

Para resolver este problema, Ferreira e Freire (2004), estudaram o comportamento de tijolos prensados de terra crua com adições de cimento, de cal e de silicato de sódio, em solos siltosos e arenosos.

No entanto, não chegaram a conclusões satisfatórias, dada a resistência à compressão simples obtida (< 1 MPa), que se afasta dos intervalos definidos no Manual de Alvenaria de Tijolo – o tijolo com menor resistência à compressão é o 30x22x20 que resiste no mínimo a

1,9MPa (Sousa, 2000). Isto comprova a necessidade de mais estudos similares, para que no futuro seja viável a utilização deste material com grandes potencialidades de sustentabilidade.

Relativamente às pontes térmicas, Valério (2007) estudou as tipologias construídas em Portugal nas últimas três décadas, constatando que estas representam cerca de 20% dos gastos energéticos desses edifícios.

Para além destes resultados, através de uma comparação com um software de simulação (*BISCO*), Valério constatou que os valores de cálculo do RCCTE são mais gravosos do que os reais. Este facto não é problemático, já que segundo o número 2.3 do Anexo IV do regulamento pode recorrer-se à norma EN ISO 10211-1, para um cálculo mais rigoroso.

Seria, pois, interessante a adopção de uma lista de pontes térmicas lineares como a da Norma Alemã DIN 4108, que avalia exaustivamente vários pormenores construtivos.

A partir deste estudo compreende-se, também, que é imperativa uma adequada correcção das pontes térmicas, que deverá “ser efectuada em função do tipo de pormenor construtivo em causa” (Valério, 2007), reforçando-se, nesse local, o isolamento térmico, para que não haja zonas preferenciais de fluxo de calor.

A qualidade deste tratamento é reforçada com uma das conclusões de Valério (2007), quando afirma que quanto mais eficaz for o isolamento nas restantes zonas, maior é o impacto das pontes térmicas.

Para o seu tratamento, sugere a aplicação de ETICs, focando a necessidade de uma reabilitação do património edificado, para que se reduzam as perdas de calor, e com elas as necessidades energéticas.

Para além destes estudos, Rodrigues *et al.* (2009) analisam alguns exemplos de soluções construtivas correntes, à luz do RCCTE. Nesta avaliação, entra-se em linha de conta com os coeficientes U de referência previstos no regulamento e não com os máximos impostos, já que “são indicadores do que o RCCTE considera como qualidade térmica média ou aceitável”.

Consequentemente, comparam-se estes coeficientes com os de transmissão térmica de diferentes esquemas construtivos (de paredes de fachada, de correcções de pontes térmicas, de coberturas e de pavimentos), discutindo-se a qualidade de cada solução apresentada.

Encerrada a parte das paredes, passa-se à dos envidraçados, tratada com pormenor por Ramalheira (2005), ao elaborar um manual de boas práticas de escolha de vãos envidraçados.

Se bem que este estudo não se restrinja às propriedades térmicas, o autor, ao referir-se às propriedades térmicas e lumínicas, afirma que “senão as mais importantes (...), serão aquelas que, quando mal manuseadas em fase de projecto, têm repercussões desastrosas durante o funcionamento normal do edifício”.

Assim, introduz uma tabela com a classificação do desempenho térmico dos vãos envidraçados segundo a Certificação *Acotherm* (ver Quadro 2-4) – certificação francesa (CSTB, 2006), que tem como objectivo certificar o desempenho térmico e acústico dos envidraçados.

Quadro 2-4 - Certificação Acotherm (adaptado de CSTB, 2006)

Classe Th	U (W/m².°C)
Th 4	3,50 ≤ U < 2,90
Th 5	2,90 ≤ U < 2,50
Th 6	2,50 ≤ U < 2,20
Th 7	2,20 ≤ U < 2,00
Th 8	2,00 ≤ U < 1,80
Th 9	1,80 ≤ U < 1,60
Th 10	1,60 ≤ U < 1,40
Th 11	U ≤ 1,40

Desta forma, julga-se poder ser útil a definição em caderno de encargos de uma destas classes, enquanto não existir uma certificação nacional a este nível, o que originaria, quer uma construção com menor consumo energético, quer uma adaptação dos fornecedores às exigências energéticas, obrigando-os a produzir envidraçados com um melhor desempenho.

Para terminar a temática alusiva aos vãos envidraçados, Silva (2006) verifica que se melhora significativamente o desempenho térmico de um edifício, quando se reduzem as áreas de envidraçado na fachada Norte, associando-lhes um vidro duplo reforçado com um pano de policarbonato.

Passando, agora, para o edificado em geral, Silva e Almeida (2006), realizaram um estudo de conforto térmico, acústico e de iluminação natural de uma habitação típica portuguesa, através do *software Energyplus*.

Ao nível da térmica, concluíram que o nosso parque habitacional necessitava das seguintes intervenções no intuito de melhorar o seu desempenho:

- melhor orientação solar – a considerar em edifícios novos, de modo a aumentar os ganhos térmicos;
- correcta utilização da inércia térmica – utilizando construções com alguma massa, não tamponada com isolamento térmico pelo interior;
- permeabilidade adequada das janelas – de modo a minorar as perdas por renovações do ar, mas sem que o seu valor seja inferior a 0,6 RPH, para que se mantenham os níveis de qualidade do ar interior;
- utilização adequada de sombreamentos – que permitam controlar a entrada da radiação solar, aumentando os ganhos solares e evitando fenómenos de encadeamento dos utilizadores;
- área adequada de vãos envidraçados de acordo com a orientação solar – de modo a que não haja ganhos ou perdas exageradas de calor.

Por fim, o RCCTE transporta, igualmente, consigo novas tecnologias, obrigando, mesmo, à introdução de uma área mínima de colectores solares para AQS. Estas técnicas são desenvolvidas por Garrido (2008) na sua tese de mestrado sobre sistemas energéticos para o sector dos edifícios em Portugal.

Este trabalho reflecte a importância da utilização de uma arquitectura bioclimática e da possibilidade de utilização de sistemas activos complementares, tais como, painéis fotovoltaicos, colectores solares, micro-turbinas eólicas e bombas de calor geotérmicas.

Percebe-se, então, que a nova regulamentação térmica trouxe consigo novos equipamentos, que estão a ser considerados na concepção de novos edifícios, o que obriga a uma adaptação das empresas de construção a estas novas formas de construir, implicando uma alteração das soluções arquitectónicas clássicas.

2.3.5. Ajustes e melhoramentos do RCCTE

Pese embora o facto de vários estudos de simulação dinâmica comprovarem a qualidade da metodologia de cálculo do RCCTE, Freitas (2009) salienta, numa conferência em Barcelos, a necessidade de se realizar uma revisão deste regulamento, aquando da revisão da Directiva Comunitária.

Neste intuito, sugere que se faça uma análise mais rigorosa das pontes térmicas lineares, cujo cálculo regulamentar é muito conservativo, como já se evidenciou. Indica, ainda, a necessidade da realização de um estudo para avaliar os pesos dos equipamentos mecânicos em relação aos sistemas passivos, no que concerne ao sistema de certificação energética.

De facto, Leal *et al.* (2008) evidenciam a necessidade de se introduzirem factores de passividade, que se correlacionem directamente com o conforto térmico, em vez de se reflectirem apenas nas necessidades energéticas. Esta conclusão advém de duas deficiências do RCCTE apontadas nesse estudo.

Uma primeira, relativa às necessidades de arrefecimento, em que o regulamento considera a existência de aparelhos AVAC nas habitações portuguesas, o que não é verídico numa grande maioria das mesmas.

Em segundo lugar, considera que a temperatura interior no Inverno se encontra sempre acima dos 20°C e no Verão abaixo dos 25°C, o que mais uma vez não reflecte correctamente a realidade portuguesa, já que não é comum a existência de sistemas tão rigorosos de controlo da temperatura.

Assim, avaliaram a qualidade do RCCTE no Inverno, que verificaram ser muito eficaz. Já para o Verão, concluíram que o regulamento não considera o arrefecimento por ventilação conseguida com a abertura das janelas (essencialmente de noite), já que contempla, apenas, uma taxa constante de renovação do ar.

Demonstram, inclusive, que a necessidade de recorrer a sistemas de ar condicionado para arrefecimento no Verão no parque habitacional português só se justifica em casos de graves erros de projecto.

No entanto, o estudo não é conclusivo quanto aos valores a adoptar para estas correcções, pelo que se ressalva a importância da revisão do regulamento, no que contempla ao cálculo das necessidades de arrefecimento.

Para além destas correcções, Silva *et al.* (2009b) salientam a necessidade da determinação *in situ* do coeficiente U, da caracterização das pontes térmicas e da medição das infiltrações, por forma a que se obtenham resultados mais fiáveis.

Esta constatação justifica-se com o número 1 do Anexo VII do RCCTE. De facto, segundo a metodologia de cálculo do coeficiente U, este deve ser obtido a partir, ou das tabelas do LNEC ITE-50 (Santos e Matias, 2006), ou pelas normas EN ISO 6946 e EN ISO 13789, caso a solução construtiva não esteja tabelada.

Porém, em situações em que há falta de dados de projecto, este cálculo não é rigoroso, problema comum no caso de edifícios existentes, nos quais se pode aplicar a metodologia de cálculo simplificada, constante da nota técnica NT-SCE-01 da ADENE (2009b).

Esta nota técnica introduz algumas simplificações no cálculo das áreas, considera que todos os locais não aquecidos têm o mesmo coeficiente de redução de perdas, facilita o cálculo do coeficiente de transmissão térmica de soluções que foram alvo de um reforço de isolamento, facilita o cálculo dos ganhos solares dos envidraçados, da inércia térmica, das pontes térmicas e das necessidades de AQS, entre outras considerações.

No estudo de Silva *et al.* (2009b), estas simplificações são comparadas com a metodologia geral do RCCTE, através da análise de vários casos estudo, permitindo concluir que a primeira gera resultados bastante aceitáveis, que se afastam pouco da metodologia regulamentar.

No entanto, com medições *in situ*, os resultados apresentam uma qualidade muito superior, representando mais eficazmente o comportamento real. Assim, deve considerar-se a introdução da hipótese de medição *in situ* do coeficiente U, no número 1 do Anexo VII do RCCTE.

O mesmo se pode dizer para a caracterização das pontes térmicas, na qual a avaliação por termografia pode gerar resultados muito mais aceitáveis (Silva *et al.*, 2009b). Deste modo, a consideração de introdução da caracterização *in situ* das pontes térmicas deve ser tida em conta numa futura revisão do regulamento.

2.3.6. Programas de cálculo automático regulamentar

Com a aprovação da Directiva Europeia 2002/91/CE, têm sido desenvolvidos alguns trabalhos no âmbito da criação de *softwares* de cálculo da térmica dos edifícios. Com a aprovação do RCCTE, estes trabalhos concentraram-se na criação de ferramentas baseadas na sua metodologia.

Assim, Lobão (2004) concebeu um modelo em programação *Visual Basic 6.0*, designado por *mpcte*. Este permite ao utilizador a definição física e espacial do edifício e a caracterização da envolvente, através da importação de um ficheiro climático, que contenha as medições horárias da temperatura e da radiação solar. A partir destes dados é feita uma previsão horária das temperaturas interiores durante o período de simulação.

Relativamente ao RCCTE, Correia (2008) desenvolve um *software* que permite o cálculo automático das necessidades energéticas de um edifício, de acordo com a metodologia regulamentar.

Além deste ponto, o programa contém a vantagem intrínseca de caracterizar rigorosamente as pontes térmicas lineares, em vez de utilizar os valores propostos pelo regulamento, possibilitando um resultado mais de acordo com o desempenho real do edifício.

Porém, o desenvolvimento de algoritmos informáticos para aplicação do RCCTE não tem sido realizado somente nas Universidades. De facto, a nova regulamentação térmica tem sido encarada como uma oportunidade de mercado, com a consequente produção de várias aplicações para o efeito.

Desta mesma afirmação são exemplos os programas *Prececam RCCTE*, *ACEP*, *ICBTERM 2009* e *Cypeterm*.

2.4. Conclusão do capítulo

No primeiro capítulo referiu-se que esta dissertação procura verificar se o RCCTE fomenta a realização de projectos mais sustentáveis, de acordo com os princípios bioclimáticos (via passiva), ou se pelo contrário procura uma redução das necessidades energéticas pela introdução da via activa.

Procura-se, pois, perceber se uma aplicação do RCCTE induz um novo paradigma no sector da construção muito mais sustentável, aproveitando ao máximo todos os potenciais de poupança energética.

Como já se referiu neste capítulo, já foram realizados vários estudos de simulação dinâmica sobre a qualidade do RCCTE, tendo-se comprovado uma boa correlação com os dados obtidos por simulação.

Assim, a utilização desta metodologia encontra-se cientificamente viabilizada, podendo ser usada nesta dissertação, sem o problema de se estarem a utilizar dados diferentes dos reais, o que induziria possíveis erros nas conclusões a retirar.

Verificou-se, também, que o RCCTE induz novas alterações construtivas, alvo de análise dos vários estudos referidos neste capítulo.

Falta, sim, a realização de um estudo que verifique qual o desempenho energético que o RCCTE procura e de que forma é que este reflecte os objectivos da quase neutralidade em energia propostos na revisão da Directiva 2002/91/CE.

Falta, ainda, analisar quais as informações que a certificação energética dos edifícios fornece ao mercado, percebendo se esta procura uma construção sustentável, de acordo com as directrizes propostas no capítulo 3.

São estes estudos que vão ser realizados no decorrer desta dissertação, procurando-se verificar se a actual regulamentação é uma ferramenta eficaz na procura da construção sustentável, identificando potenciais alterações a introduzir que apontem nessa direcção.

3. Sustentabilidade e Energia

3.1. Introdução

Após o enquadramento, quer justificativo do tema (capítulo 1), quer ao nível da literatura (capítulo 2), torna-se necessário discutir com rigor a noção de sustentabilidade e a sua relação com a energia, para uma correcta resposta à pergunta que intitula a presente tese.

Assim, inicia-se este capítulo com uma revisão do conceito de sustentabilidade à luz das teorias da sustentabilidade fraca e forte, à qual se segue uma descrição da construção sustentável, como a filosofia construtiva a adoptar.

Posteriormente, avalia-se a temática da energia no âmbito dos edifícios, revendo qual a importância da eficiência energética para a sustentabilidade.

Por fim, conclui-se com a noção adoptada de edifício energeticamente sustentável.

3.2. O conceito de sustentabilidade

Tal como se analisou no primeiro capítulo, é em 1987 que surge a primeira definição de desenvolvimento sustentável, como sendo o desenvolvimento que vai ao encontro das necessidades do presente, sem comprometer as necessidades das futuras gerações (Brundtland, 1987).

No entanto, esta definição é pouco substantiva, pelo que nos últimos anos tem havido uma crescente discussão sobre como quantificar este mesmo conceito, de modo a aferir a sustentabilidade efectiva de cada Economia (Gutés, 1995; Dietz e Neumayer, 2006).

Neste intuito, têm sido estudadas duas diferentes aproximações económicas: a Sustentabilidade Fraca e a Sustentabilidade Forte. Ambas se baseiam no conceito de capital natural – conjunto de funções criadas pelo ambiente (Ekins *et al.*, 2003) – embora o abordem de maneira diferente.

A principal diferença entre os dois reside no facto de a primeira considerar que o capital natural pode ser substituído por outras formas de capital, enquanto a sustentabilidade forte o nega, afirmando, ainda, que este capital deve ser protegido de uma forma especial (Gutés, 1995; Dietz e Neumayer, 2006).

A Sustentabilidade Fraca surge com a introdução de um novo factor de produção nas teorias clássicas de crescimento macroeconómico – os recursos naturais (Dietz e Neumayer, 2006).

Embora esta nomenclatura se deva a Pearce e a Atkinson (1993), na qual os autores afirmam que uma economia será sustentável se a taxa de poupança for maior do que a taxa de depreciação conjunta do capital natural e do capital produzido pelo Homem, esta visão já estava contemplada no modelo de crescimento económico previsto por Solow em 1974.

De facto, Solow (1974) considera que a produção é função do esforço, do capital produzido pelo Homem e do capital natural. Com esta teoria procurava obter-se a extracção óptima dos

recursos naturais, estabelecendo regras para o consumo actual e como se deveria investir em capital, para aumentar o consumo no futuro.

Nesta função (Dietz e Neumayer, 2006), assume-se, portanto, que o capital natural é semelhante ao capital produzido, pelo que pode ser substituído por ele. Como consequência, a sustentabilidade fraca transporta consigo uma de três imposições:

- O capital natural é inesgotável;
- A elasticidade de substituição entre o capital natural pelo capital produzido é maior ou igual a um;
- O progresso tecnológico é capaz de aumentar o *stock* de capital natural com uma taxa superior à do seu consumo.

Por outro lado, existem vários autores que consideram que o capital natural não pode ser substituído, dos quais são exemplo Barbier *et al.* (1994), ao afirmarem que os sistemas básicos de suporte da vida não podem ser substituídos.

Assim, Pearce e Turner (1990), dividem o capital natural em quatro tipos de funções: a) matérias primas e bens essenciais de consumo directo como comida e combustíveis; b) resíduos de consumo e de produção; c) paisagem e território; d) sistemas de suporte básicos para a vida humana, que congregam em si as restantes categorias.

Segundo a teoria da Sustentabilidade Forte, o capital natural não pode ser substituído e deve ser especialmente protegido. A justificação desta visão vem descrita por Dietz e Neumayer (2006), em quatro pontos essenciais:

- Há uma grande incerteza e risco sobre a disponibilidade futura dos combustíveis fósseis, dos quais depende o actual modelo económico;
- A perda de certos recursos naturais é irreversível;
- A humanidade é muito afectada pelas perdas nos sistemas básicos que lhe suportam a vida;
- É eticamente incorrecto gastar os recursos no presente sem os deixar para o futuro.

Após analisadas estas duas visões de sustentabilidade, considera-se que o conceito de Sustentabilidade Forte se adapta melhor às necessidades do presente, atendendo aos pontos enunciados, já que permite reduzir o risco de perdas futuras, cuja quantificação é, ainda, difícil.

3.3. Construção Sustentável

Entre as várias actividades presentes no actual sistema económico, a indústria da construção e os edifícios resultantes são responsáveis por uma importante parcela dos impactes sobre o ambiente (Pinheiro, 2006).

Estes impactes são diferentes em cada fase da vida de um edifício, pelo que se torna imperativo realizar uma análise das mesmas, procurando minimizar a pressão ambiental do edificado (Análise de Ciclo de Vida).

Esta metodologia (Langdon, 2007) engloba todos os passos da vida de um edifício, desde a forma como é projectado e construído, operado, mantido e reparado, terminando com a sua demolição ou desconstrução.

A partir da definição anterior, é possível encontrar quatro diferentes fases do ciclo de vida de uma construção, cada qual com os seus diferentes impactes (Pinheiro, 2006):

- Concepção – consumo de papel e de energia para a realização completa do projecto;
- Construção – alterações do uso do solo, consumo de matérias-primas, energia e água, alterações na envolvente, produção de resíduos e produção de ruído;
- Operação – consumo de energia, de água e de materiais e produção de resíduos, de efluentes e de GEE;
- Desactivação – impactes semelhantes aos da construção, mas com maior ruído e vibrações, com menor consumo de materiais e com maior produção de resíduos.

Para diminuir esta pressão sobre o meio ambiente, surge a construção sustentável. Esta filosofia analisa todas as diferentes dimensões da construção – ambiental, económica, social e material – procurando satisfazer os seguintes objectivos (Bragança e Mateus, 2007):

- Optimização do potencial do local;
- Preservação da identidade regional e cultural;
- Minimização do consumo energético;
- Protecção e conservação dos recursos hídricos;
- Utilização de produtos de baixo impacte ambiental;
- Adequada qualidade do ambiente interior;
- Redução da produção de efluentes, resíduos e de GEE;
- Optimização das diferentes fases do ciclo de vida.

Ao analisar estes objectivos, pode concluir-se que a procura por um ambiente construído sustentável tem que se iniciar a montante do edifício, visto como unidade individual. De facto, o primeiro passo consiste em desenvolver um planeamento urbano sustentável.

Este planeamento é conseguido através das diferentes ferramentas de ordenamento do território, devendo garantir a gestão sustentada dos recursos naturais, não comprometendo as expectativas das gerações actuais e futuras (Amado, 2005).

Depois de definida a utilização sustentável do uso do solo, entra-se no domínio da construção do edificado, que deve respeitar os objectivos anteriores (dentro das condicionantes deste planeamento urbano), para uma integração positiva com o meio envolvente.

Assim, ao nível do edifício, as medidas da construção sustentável podem ser descritas a partir da divisão proposta por Tirone e Nunes (2007) em “medidas menos quantificáveis” e “medidas mais quantificáveis”. Analisem-se, então, as mesmas:

Medidas de construção sustentável menos quantificáveis

- Valorização ambiental – a valorização ambiental, quer do edifício, quer do espaço público envolvente, contribui para a qualidade de vida das populações. Assim, nesta óptica, é exigível que os edifícios sejam salubres e com um adequado conforto ambiental e que haja uma correcta exploração e valorização dos recursos naturais utilizados na construção do edifício, com uma optimização das superfícies já ocupadas pelo Homem;
- Valorização social – conseguida com uma correcta ligação entre o edifício construído e o planeamento urbano sustentável, o que gerará cidades compactas e multifuncionais, identidade e durabilidade do contexto urbano e diversidade dos espaços construídos. Para além disto, deve procurar-se uma concepção flexível dos edifícios, para que estes possam albergar diferentes funções durante o seu ciclo de vida;
- Valorização económica – a componente ambiental tem de ser integrada no custo real do edificado, com um investimento socialmente responsável, que deve ser devidamente incentivado pelos governos;
- Valorização espacial – Os projectos dos edifícios devem ser conseguidos de modo a que se obtenha a maior funcionalidade possível dos espaços construídos.

Medidas de construção sustentável mais quantificáveis

- Conforto ambiental – conseguido com um correcto conforto térmico, acústico e visual (utilização racional da iluminação natural) e com uma adequada qualidade do ar interior;
- Certificação energética e ambiental – Deve ser um objectivo imperativo das construções a obtenção da classe mais elevada de desempenho energético e ambiental, para que se reduzam os impactes negativos do edifício;
- Eficiência energética – Conseguida através de um uso correcto de medidas de Arquitectura Bioclimática e de meios activos complementares, que serão descritos posteriormente;
- Uso racional da água – utilizando sistemas de recolha da água das chuvas e sistemas de tratamento de águas cinzentas para lavagens, bem como aparelhos com redutores de caudal, o que diminui a pressão sobre os recursos hídricos.

3.4. A energia nos edifícios

Como se abordou no subcapítulo anterior, a energia está presente em todas as fases do ciclo de vida de um edifício. Segundo Cepinha (2007) “a energia é um pilar indispensável ao desenvolvimento económico”.

De facto (Cepinha, 2007), o actual sistema económico depende em larga escala dos recursos energéticos, que maioritariamente são constituídos por recursos não renováveis (90% da energia mundial provém de petróleo, gás natural, carvão e energia nuclear).

Para ilustrar esta mesma dependência (DGGE, 2010), a Figura 3.1 mostra a evolução do consumo de energia primária em Portugal desde 1990 até 2007. Verifica-se que tem aumentado substancialmente, embora haja já uma tendência de decréscimo, justificada pelas acções de eficiência energética desenvolvidas nos últimos anos.

Analisando a repartição do consumo energético em Portugal por sector em 2007 (Figura 3.2 – dados da DGGE), repara-se que o sector residencial (18%) e o de serviços (13%) representam em conjunto um consumo de 31% da energia.

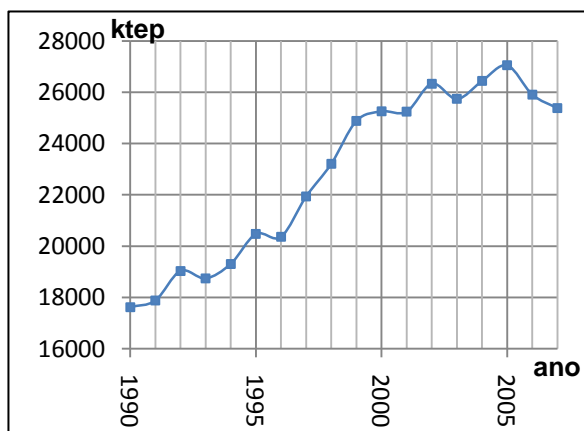


Figura 3.1 - Consumo de energia primária em Portugal de 1990 a 2007 (fonte: DGGE)

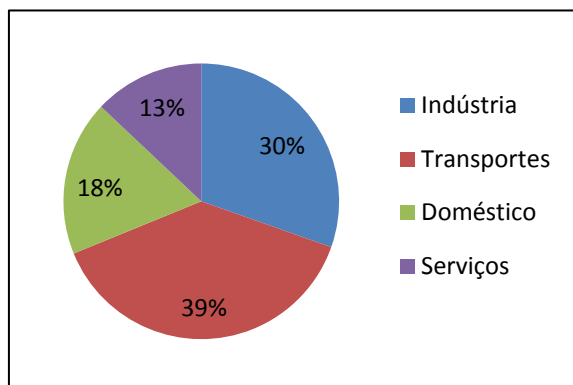


Figura 3.2 - Repartição do consumo energético por sectores em 2007 (fonte: DGGE)

A presente tese foca-se no sector residencial, que constitui 18% do consumo energético (face a 24% da UE-15 – dados do Eurostat). Este consumo, por seu turno, pode dividir-se internamente nos seguintes usos finais (Figura 3.3 – ADENE, 2004):

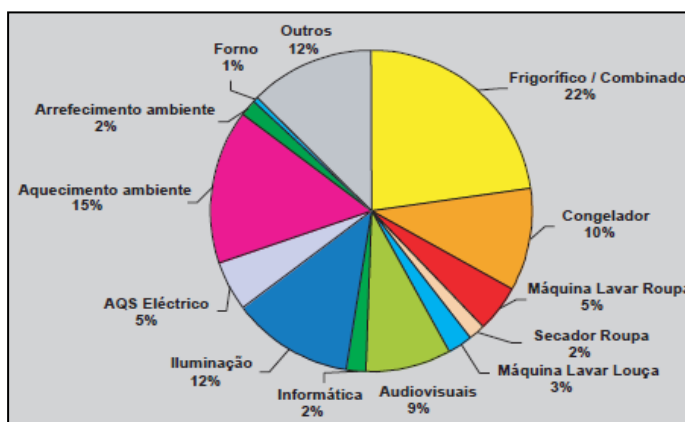


Figura 3.3 – Repartição do consumo em electricidade pelos usos finais (fonte: ADENE)

A Figura 3.3 apenas considera o aquecimento de AQS por termoacumuladores eléctricos, facto que em Portugal só se verifica em 15% das unidades de alojamento (ADENE, 2004). Nas restantes a produção de AQS é maioritariamente conseguida através da queima de gás natural, cujo consumo em 2007 se estimou ser de 221 ktep (DGGE, 2010).

Por outro lado, tem-se assistido a uma proliferação de equipamentos AVAC nos países mediterrânicos, dos quais Portugal faz parte (Pires, *et al.*, 2005). Este facto, leva a concluir que a parcela em arrefecimento ambiente tenderá a aumentar no futuro.

O actual SCE para edifícios residenciais contempla apenas a energia para aquecimento/arrefecimento ambiente e para produção de AQS. Ora, este tipo de consumos

depende de vários factores: arquitectura e construção do edifício, localização geográfica do mesmo (clima local) e capacidade económica dos ocupantes (Pérez-Lombard *et al.*, 2007)

Da arquitectura dependerá a maior ou menor necessidade de aquecimento, contemplada no RCCTE pelo factor de forma; da construção dependem as perdas/ganhos energéticos, contempladas nos diferentes coeficientes do regulamento; da localização geográfica dependem as necessidades energéticas, contempladas no RCCTE pelas diferentes zonas climáticas.

Já a capacidade económica dos ocupantes é de difícil contabilização. De facto, em função do seu nível, podem gerar-se situações de desconforto, que originam consumos menores.

No subcapítulo anterior referiu-se que se deve realizar uma análise de ciclo de vida do edifício, já que os impactes ambientais vão variando ao longo das suas fases. Tendo-se visto que a energia está presente em toda a sua vida, há pois que avaliá-la em cada situação.

Assim, têm sido desenvolvidos vários estudos sobre esta temática, dos quais se destaca a análise de uma residência individual na Nova Zelândia (Mithraratne e Vale, 2004). Nele se concluiu que a energia em fase de operação é a componente mais significativa (entre 57 a 74% da energia total do ciclo de vida), podendo ser largamente diminuída recorrendo a um isolamento térmico eficiente (redução de 63% dos impactes face a uma construção tradicional).

Por último, um outro tipo de energia que não deve ser desprezado é a energia incorporada nos materiais, isto é, a energia que foi necessário consumir desde a extracção das matérias-primas, passando pela fase de conformação, até ao início da fase de exploração do edifício.

Nesta área, também, têm sido desenvolvidas várias análises. Yohanis e Norton (2001) concluem que para um edifício de escritórios genérico no Reino Unido esta energia pode corresponder a 67% da energia de operação para um período de 25 anos.

Ao nível residencial, destaca-se a análise de Chen *et al.* (2000), ao concluir que para os edifícios de habitação de Hong-Kong a energia incorporada nos materiais pode ascender até 40% da energia total do ciclo de vida.

Em suma, para quantificar a energia total de um edifício, há que entrar, também, em linha de conta com a energia incorporada nos materiais, para além da energia da concepção e demolição e da sua operação (responsável por grande parte dos impactes).

Esta última pode ser dividida em várias componentes, tal como descrito pela ADENE (2004), das quais o RCCTE se concentra em cerca de 1/4 da energia total de operação de um edifício residencial.

3.5. A importância da eficiência energética para a sustentabilidade

Tal como se visualizou na Figura 3.1, o consumo de energia primária em 2007 é cerca de 44% superior do que em 1990 (DGGE, 2010). Este consumo tem sido conseguido através de uma dependência energética muito superior à da restante UE, tal como ilustrado na Figura 3.4.

Comparando este aumento de consumo com a intensidade energética (consumo de energia primária por unidade de PIB), verifica-se que há uma variação pouco acentuada e não convergente com a da UE (APA, 2009) – ver Figura 3.5.

De positivo, há apenas a salientar que a intensidade carbónica (emissões de GEE por unidade de PIB) têm decrescido, sendo convergente com a da UE (APA, 2009), muito devido à crescente utilização de energia renováveis – ver Figura 3.6.

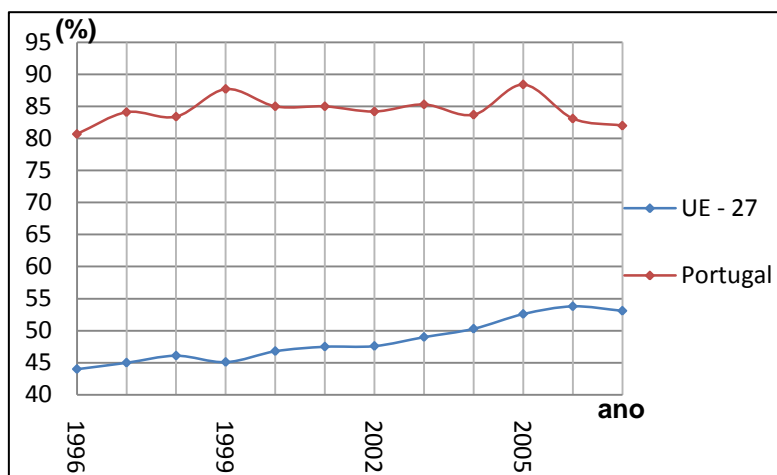


Figura 3.4 – Dependência energética (%) entre 1996 e 2007 (fonte: Eurostat)

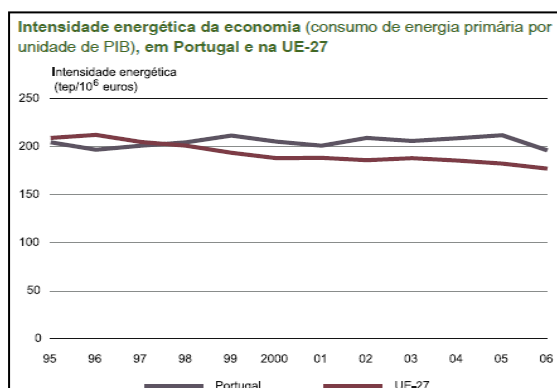


Figura 3.5 – Intensidade energética entre 1995 e 2006 (fontes: Eurostat e APA)

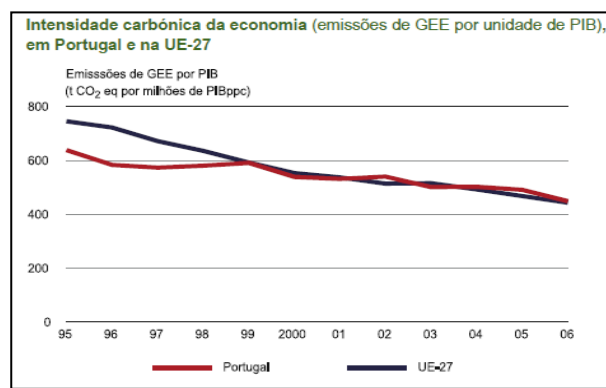


Figura 3.6 – Intensidade carbónica entre 1995 e 2006 (fontes: Eurostat e APA)

Deste modo, apesar de haver um aumento do peso das energias renováveis, o que tem feito diminuir a intensidade carbónica (APA, 2009), a eficiência energética da economia portuguesa não tem aumentado.

Esta conclusão é negativa, quer em termos económicos, quer em termos ambientais. Economicamente, devido à dependência energética muito elevada, que tem um peso muito significativo nas importações do país. Ambientalmente, porque se houvesse uma maior eficiência, haveria menores consumos, aumentava-se o peso das energias renováveis, e diminuía-se, assim, a intensidade em carbono e as necessidades de fontes não renováveis.

Deste modo, é imperativo o aumento da eficiência energética, para reduzir os impactes ambientais da economia, podendo os edifícios contribuir largamente para este objectivo. Segundo Silva (2008), há um potencial de poupança energética no parque residencial português de 35% para as habitações urbanas e de 37% para as rurais.

3.6. O que é um edifício energeticamente sustentável? (conclusão do capítulo)

Como foi analisado, os edifícios (serviços e residenciais) são responsáveis por cerca de 31% do consumo energético português (DGGE, 2010), dos quais 18% correspondem ao consumo dos edifícios residenciais.

Nestes últimos, foi feita, também, uma análise dos diferentes consumos em energia, (subcapítulo 3.4.), dos quais 14% correspondem a consumos de aquecimento/arrefecimento, que podem ser diminuídos recorrendo a uma construção adequada.

Segundo a *Passivhaus Norm* aplicada a Portugal (Gonçalves e Brotas, 2007), é possível construir casas confortáveis ambientalmente, com consumos reduzidos de energia, recorrendo essencialmente a sistemas passivos, complementados com sistemas activos adequados.

A Figura 3.7 mostra que em Portugal é possível reduzir cerca de 90% das necessidades energéticas totais referentes ao conforto ambiental, utilizando uma construção sustentável, baseada nos princípios passivos da Arquitectura Bioclimática.

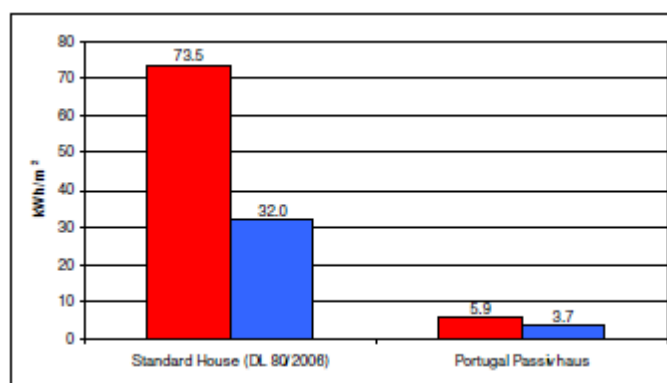


Figura 3.7 – Estimativa das necessidades energéticas anuais de aquecimento (a vermelho) e de arrefecimento (a azul) de uma casa típica portuguesa e de uma *Passivhaus* portuguesa (fonte: Norma *Passivhaus*)

Por outro lado, com a recente revisão da Directiva 2002/91/CE, há preocupações crescentes na UE em produzir casas quase neutras em energia e em dióxido de carbono, facto a que era alheia a directiva anterior, e que, por isso, não está previsto no direito interno.

Para reforçar estas preocupações, cita-se o exemplo de um estudo científico (Salazar e Meil, 2009), que analisa um modelo de uma casa de madeira que se verificou ser neutral em energia e em carbono num clima frio como o de Ottawa, Canadá.

Aplicando este modelo a climas temperados (tipo de clima registado em Portugal), os autores concluem que essa mesma casa se torna produtora de energia, sendo, ainda, capaz de reter dióxido de carbono.

Sendo possível a construção de casas neutras em energia e CO₂, sendo possível reduzir em 90% os valores de Nvc e de Nic nas habitações portuguesas e considerando o conceito adoptado de Sustentabilidade Forte, em que o capital natural não pode ser substituído por outras fontes de capital, um edifício sustentável só pode ser aquele que procura um consumo nulo, o que em termos construtivos se materializa nas directrizes da *Passivhaus Norm*.

4. Os casos de estudo

4.1. Introdução

Depois de adoptado o conceito de edifício sustentável, procede-se, então, à descrição dos casos de estudo que servirão de base para a análise das soluções construtivas sustentáveis, e da forma como são avaliadas pelo RCCTE.

Deste modo, optou-se por uma solução construtiva que cumprisse os mínimos regulamentares, para que fosse possível a introdução de várias modificações tendo em vista a construção de um edifício quase neutral em energia e em carbono.

As disposições regulamentares vão ser avaliadas recorrendo a uma arquitectura de base (edifício HEXA), aplicada a dois pisos distintos de um edifício multifamiliar (intermédio e último piso) e a uma vivenda, todos eles localizados em três regiões climáticas distintas (Lisboa, Évora e Bragança).

Neste capítulo resumem-se os passos da metodologia de trabalho utilizada para atingir os propósitos da presente dissertação, iniciando-se com a descrição da arquitectura de base, seguindo-se a descrição das três tipologias utilizadas, passando pela descrição das localizações, pela descrição das medidas passivas e activas a implementar e terminando com a metodologia de cálculo adoptada.

4.2. O edifício HEXA

4.2.1. Descrição geral do edifício

O edifício multifamiliar escolhido para servir de base de análise nesta dissertação foi o edifício HEXA, desenvolvido por um grupo de projectistas da equipa do Sistema Português de Avaliação da Sustentabilidade na Construção: Sistema LiderA.

Esta escolha prendeu-se essencialmente com o facto de o edifício estar, ainda, em fase de projecto pelo que qualquer melhoria de desempenho estudada na corrente dissertação é passível de ser introduzida no mesmo.

Pretendendo ser um modelo de um edifício sustentável, que possa ser replicado em qualquer ponto do país, procedeu-se a um estudo comparativo entre vários edifícios existentes no país.

Consequentemente, analisaram-se vários quarteirões de Faro, Lisboa e Porto, dos quais se retiraram as principais tipologias arquitectónicas praticadas no presente. Este estudo permitiu introduzir um dos principais objectivos do HEXA: um exemplo a adoptar, que não se demarcasse das características da construção actual.

No domínio da construção sustentável, o ponto de partida para a elaboração do projecto foram os 43 princípios do LiderA 2.0. Neste intuito, e uma vez que os seus seis primeiros critérios se prendem com a integração local, o quarteirão foi estudado como um todo, sendo o HEXA o modelo de cada um dos seus edifícios constituintes.

Outra das suas características gerais é o facto de não conter nenhuma localização fixa, sendo intenção de projecto a sua possível replicação e implantação nos vários Municípios do país.

Deste modo, está a ser acompanhado por várias Câmaras Municipais, nomeadamente, Santarém e Torres Vedras, de modo a torná-lo licenciável. Com isto, tornar-se-á viável a sua potencial construção, demonstrando que é possível construir edifícios sustentáveis, mesmo recorrendo às tipologias comuns.

Para além destas vantagens, optou-se por utilizar sempre a mesma arquitectura por forma a poderem ser comparáveis os resultados obtidos para os diferentes tipos de fogos (vivenda, piso intermédio e último piso) e para as diferentes localizações.

4.2.2. Arquitectura

Tornando-se impossível descrever extensivamente todas as opções de projecto e de que forma é que estas foram compatibilizadas com os princípios do LiderA 2.0, realiza-se neste subcapítulo um breve resumo da arquitectura do edifício.

Para uma análise com mais detalhe das peças desenhadas, reporta-se para o Anexo I. Em termos justificativos, refere-se a publicação de Pinheiro *et al.* (2010), que contempla todas as justificações do traçado arquitectónico que foram adoptadas.

Assim, o edifício foi implantado de forma a valorizar a sua envolvente, alinhando as cérceas com a prática comum, libertando o logradouro para espaço de utilização pública e diminuindo ao máximo a área impermeabilizada.

Consequentemente, é composto por seis pisos habitacionais (facto responsável pela sua denominação), um piso de comércio (no R/C) e duas caves de estacionamento. Para tornar público o logradouro, não se prevê a construção em quatro lotes, abrindo-o para a população.

A cobertura do edifício é em terraço, na qual se propõe a introdução de uma cobertura ajardinada e a implantação de colectores solares e de painéis fotovoltaicos, de modo a diminuir as emissões de GEE e a dependência energética do edifício.

Porém, embora a solução prevista no projecto de Arquitectura contenha já várias medidas passivas, optou-se por eliminá-las numa fase inicial para partir de um edifício com os mínimos regulamentares, pelo que estes *itens* não são totalmente contemplados numa primeira abordagem, sendo devidamente discutida a sua implantação durante o capítulo 5.

Relativamente ao número de fogos por piso, a análise comparativa referida anteriormente permitiu concluir que o mais comum é a introdução de dois fogos (Esquerdo e Direito). Destes, a tipologia mais comum é o T3, pelo que se optou por utilizar dois fogos exactamente iguais com uma tipologia T3.

A orientação solar é variável, já que depende da localização e, mesmo, dentro do quarteirão existem edifícios com diferentes orientações.

Para terminar esta breve descrição da sua Arquitectura apresenta-se de seguida o Quadro 4-1, no qual se resumem as diferentes áreas das diferentes divisões de cada apartamento:

Quadro 4-1 – Área das diferentes divisões de cada apartamento do edifício HEXA

Divisão	Área (m²)
Sala	38,44
Cozinha	12,30
Hall de entrada	8,68
Corredor	4,14
Quarto 1	14,99
Quarto 2	16,83
Quarto 3 (Suite)	20,75
IS Suite	5,75
IS Geral	5,07
Total	126,95

Em termos estruturais, o projecto de Arquitectura contempla uma solução de lajes fungiformes, que assentam numa malha de pilares quadrangulares de 7,0 x 7,0 m e nas paredes resistentes das caixas de elevadores e de escadas.

Além desta malha estrutural, optou-se nesta tese por introduzir uma viga de bordadura em toda a envolvente do edifício, para aumentar o número de pórticos e com isso aumentar a resistência ao sismo.

Deste modo, foram criados dois tipos de ponte térmica plana, uma relativa aos pilares da envolvente e outra que diz respeito a esta viga de bordadura.

4.2.3. Tipologias analisadas

Tal como já foi referido, partindo sempre da mesma arquitectura, analisam-se três situações distintas: último piso de um edifício multifamiliar, piso intermédio de um edifício multifamiliar e uma vivenda.

Relativamente à vivenda, esta foi obtida a partir de um T3 do edifício HEXA em que todas as paredes em contacto com outros apartamentos e/ou com locais não aquecidos passaram a estar em contacto directo com o exterior e a laje inferior passou a estar directamente em contacto com o solo.

Estas três situações permitem avaliar as principais tipologias construtivas existentes no parque residencial, sendo as duas primeiras mais comuns no interior do tecido urbano, sendo a última mais característica de uma zona rural.

Como tal, os fogos relativos a um edifício multifamiliar são tratados como localizados em zona urbana e a vivenda em zona rural, facto que toma particular importância no cálculo dos sombreamentos provocados pelo horizonte.

Quanto a implicações de cálculo e de comportamento térmico, a vivenda permite analisar uma situação em que há perdas pelo solo e também pela cobertura, tendo a maior área em contacto com o exterior.

O piso intermédio permite analisar a situação mais abundante em malha urbana, no qual se considera que o fogo se encontra confinado por um edifício adjacente, pelo que há menores perdas pela envolvente.

O último piso pretende avaliar a pior situação em zona urbana, já que contém uma grande área em contacto directo com o exterior (cobertura). Para agravar esta situação, considera-se que neste último piso não existe nenhum edifício confinante, situação algo frequente.

4.2.4. Localizações avaliadas

Conforme foi expresso na introdução deste capítulo, são avaliadas três localizações climáticas diferentes: Lisboa (I₁-V₂S), Évora (I₁-V₃S) e Bragança (I₃-V₂N).

A primeira pretende analisar uma das zonas com maior densidade habitacional do país, na qual se localiza uma grande parte do parque residencial português.

Com efeito, através de estatísticas do INE (2009), conclui-se que a densidade habitacional da Grande Lisboa é de 731,9 fogos/km², muito superior à média do país – 62,0 fogos/km². Para além disto, só a Grande Lisboa é responsável por 1 006 975 fogos (estatísticas referentes a 2008), isto é, 17,6% do parque habitacional português.

As restantes localizações pretendem analisar duas das piores situações regulamentares, o Inverno mais rigoroso (Bragança – I₃) e o Verão mais quente (Évora – V₃S).

4.3. Medidas com influência no desempenho energético do edifício

4.3.1. Medidas passivas

Dada a limitação de extensão desta tese, é impossível estudar com pormenor todas as medidas passivas que podem ser introduzidas num edifício, tendo-se, por isso, decidido escolher aquelas que são de mais fácil aplicação, dentro do ambiente da construção nacional.

Assim, tal como analisado em parágrafos anteriores, este trabalho baseia-se na Norma *Passivhaus* e também nas medidas de construção sustentável descritas por Tirone e Nunes (2007), enunciadas no capítulo 3. São algumas dessas medidas que serão aqui analisadas.

Orientação Solar

Tirone e Nunes (2007) afirmam que um edifício que aproveite ao máximo a energia solar pode representar uma diminuição de consumo de energia em 20%. Ora, num clima como o de Portugal deve dar-se prioridade à orientação a Sul, por permitir maiores ganhos solares no Inverno (diminuindo as necessidades de aquecimento).

No Verão, deverão ser previstos sombreamentos eficazes para que essa radiação não contribua para o aumento da temperatura interior, facto esse indesejável numa estação de arrefecimento.

Todavia, existindo vãos orientados a Sul, terão sempre de existir vãos orientados a Norte (com ganhos solares quase desprezáveis). Por conseguinte, a Arquitectura do edifício deve ser

condicionada por este parâmetro, de modo a que todas as tipologias possam usufruir de ambas as orientações.

Neste caso, é desejável que se crie uma proporção adequada de vãos envidraçados, consoante a orientação solar. Assim, segundo Tirone e Nunes (2007), deverão ser tidas em conta as seguintes recomendações:

- Orientação Sul – a área de envidraçado deverá ser de 35% da área da fachada orientada a Sul, e deverão conter sistemas de sombreamento exterior muito eficazes para a estação de arrefecimento (a Norma *Passivhaus* propõe uma orientação ideal de 60% da área de envidraçados a Sul).
- Orientação Nascente e Poente – os raios solares provenientes destas orientações são mais intensos, facto muito desfavorável no Verão, o que obriga à instalação de sombreamentos muito eficazes.
- Orientação Norte – Estes envidraçados têm essencialmente perdas e muito poucos ganhos. Assim, devem conter uma área menor do que os envidraçados a Sul. Porém, são essenciais para a realização de uma ventilação natural adequada e para fornecer iluminação natural difusa, pelo que devem ser devidamente equacionados.

Ora, em zonas urbanas ainda em fase de projecto, o seu planeamento deve ser feito de acordo com este princípio, de modo a que todos os edifícios possam aproveitar ao máximo esta orientação. Este é o caso do quarteirão do HEXA, pelo que se procurará idealizar uma solução que maximize o aproveitamento solar.

Segundo Ferreira e Pinheiro (2010), que estudaram qual a alteração de classe energética de um edifício aquando da introdução de certas medidas passivas, quando o valor do quociente N_{tc}/N_t se encontra muito próximo de uma mudança de classe energética, o simples facto de mudar a orientação solar do edifício, pode traduzir-se numa mudança de classe.

Nesse mesmo estudo, uma fracção avaliada com um quociente N_{tc}/N_t muito próximo de 0,75, só origina um edifício de classe B na orientação Norte-Sul, sendo que todas as restantes orientações correspondem a uma classe B-.

Daqui se conclui que uma boa orientação solar pode conduzir a uma classe energética mais alta, para além de reduzir o impacto ambiental do edificado. Por estes motivos, nesta tese só vai estudar-se a orientação Norte-Sul, por ser a mais favorável do ponto de vista energético.

Paredes adequadas

É pelas paredes da envolvente do edifício que se dá uma grande fracção de perdas de calor na situação de Inverno. Como tal, é fundamental que haja um adequado isolamento térmico, de modo a reduzi-las o máximo possível.

Estas perdas podem ser avaliadas pelo coeficiente de transmissão térmica (U), que reflecte a perda de calor num elemento com uma área unitária, que se processa em cada segundo, quando as suas duas faces se encontram sujeitas a uma diferença de temperaturas unitária.

Por conseguinte, quanto menor for o valor de U, menores serão as perdas associadas ao elemento, e melhor será o desempenho térmico da fracção autónoma.

É por isso que o RCCTE propõe valores máximos regulamentares para o coeficiente de transmissão térmica, indicando, também alguns valores de referência, entendidos como sendo o mínimo de qualidade aceitável segundo o regulamento (Rodrigues *et al.*, 2009).

A *Passivhaus* propõe para Portugal a utilização de paredes com um coeficiente de transmissão térmica de $0,32 \text{ W/m}^2\text{C}$.

Para além disto, as paredes são também responsáveis por uma das características da construção sustentável que deve ser tida em conta num Projecto Passivo: a inércia térmica.

Esta grandeza, definida por Rodrigues *et al.* (2009) como sendo a capacidade de um elemento armazenar calor e de só o libertar ao fim de certo tempo, é muito desejável em climas sujeitos a grandes amplitudes térmicas diárias, uma das características do clima em Portugal (Tirone e Nunes, 2007).

Esta grandeza depende da massa do paramento, e permite amortecer uma onda de calor, isto é, permite que durante o dia a parede seja aquecida e que liberte esse calor à noite. Por conseguinte, haverá uma maior estabilização das temperaturas interiores relativamente às oscilações térmicas exteriores (Rodrigues *et al.*, 2009).

Assim, em situação de Inverno, como durante o dia as habitações estão, de um modo geral, desocupadas, o calor proveniente dos ganhos solares é armazenado nos paramentos e libertado à noite, quando é necessário para o conforto interior.

No Verão, durante o dia não é desejável que haja um aumento da temperatura interior, facto que é anulado pela inércia térmica. À noite, com uma ventilação adequada dos espaços permite-se que o calor acumulado seja removido sendo muito menos prejudicial.

Deste modo, a inércia térmica permite uma utilização mais racional da Energia, pelo que deve ser muito bem contemplada na construção em Portugal. Por isso, na Norma *Passivhaus* aplicada a Portugal vem considerada como um ponto fundamental para a regularização da temperatura interior.

Assim sendo, e como esta grandeza depende da massa dos elementos, é necessário que os paramentos utilizados sejam pesados e que para além disso não estejam tamponados com isolamento térmico interior.

Este último ponto é fulcral, porque isolar um paramento com um material com uma baixa condutibilidade térmica é anular a capacidade que essa parede tem de absorver energia. Deste modo a solução ideal de isolamento térmico passa pelo isolamento exterior de paredes com inércia térmica forte.

Para terminar este ponto, refira-se que o edifício em estudo é residencial e como tal prevê uma ocupação permanente. Se tal não se verificasse (Rodrigues *et al.*, 2009), uma inércia térmica forte não seria a melhor solução, já que quando se ligasse o aparelho de aquecimento

a primeira parcela de energia seria usada para aquecer os paramentos e só depois é que começaria a aquecer o interior.

Em termos de linhas gerais sobre paramentos, resta salientar que uma das medidas da construção sustentável é a flexibilização do espaço. Para isso, recorreu-se a algumas paredes interiores em gesso cartonado na solução base.

Neste caso, a sua massa é muito reduzida, contribuindo de uma forma muito reduzida para a inércia térmica. No entanto, como existem muitas outras paredes de alvenaria e como as lajes são em betão armado, verifica-se que este ponto mantém a classe de inércia térmica como sendo forte.

Cobertura adequada

Para além das paredes da envolvente, é, também, pela cobertura que se processa uma grande parte das perdas energéticas existentes. Por isso, é de igual forma que o regulamento limita o valor máximo do seu coeficiente de transmissão térmica (ainda mais exigente do que para as paredes).

A *Passivhaus* propõe para Portugal a utilização de coberturas com um coeficiente de transmissão térmica de $0,23 \text{ W/m}^2\text{C}$.

Assim, torna-se necessário recorrer a um isolamento térmico eficaz para reduzir estas perdas. Para além disso, e como a solução estrutural do HEXA é em betão armado (com um peso volúmico considerável), a laje do último piso funciona, também, como um elemento com grande inércia térmica.

No entanto, se para além disto se recorrer a soluções de coberturas ajardinadas estas transformam-se em espaços de atenuação climática, funcionando como barreira de protecção da radiação solar (Tirone e Nunes, 2007).

Para além disto, estas coberturas ainda trazem consigo a vantagem de diminuir a área impermeabilizada, o que aumenta o tempo de concentração das bacias hidrográficas urbanas, diminuindo a probabilidade de fenómenos de cheias.

Em termos de CO_2 como as plantas são capazes de o reter para a realização da fotossíntese, esta solução pode ser útil para diminuir a pegada carbónica do edificado (Pinheiro *et al.*, 2010).

No entanto, esta solução vai implicar uma impermeabilização do terraço muito mais eficaz para que não ocorram infiltrações, nem perfurações pelas raízes das plantas (Tirone e Nunes, 2007). Adicionalmente, deve ter-se em conta no dimensionamento estrutural a sobrecarga introduzida pela camada de terra vegetal.

Isolamento do pavimento em contacto com o solo

Quando o pavimento térreo contacta directamente com o solo, há transferências de calor com o terreno, que podem ser consideradas em duas parcelas: uma perimetral para a superfície exterior e uma para o interior do solo (Rodrigues *et al.*, 2009).

A primeira parcela é a mais relevante, já que se pode concluir que as trocas de calor para o interior do solo não são muito significativas.

Por conseguinte, no RCCTE só se contemplam as perdas perimetrais, conseguidas através da utilização do parâmetro Ψ , patente no Anexo IV – Método de cálculo das necessidades de aquecimento.

Neste capítulo, comprova-se que o menor valor para estas perdas é de $1,20 \text{ W/m}^2\text{C}$, conseguido com a utilização de isolamento térmico com uma resistência térmica de pelo menos $0,5 \text{ m}^2\text{C/W}$, aplicado no exterior e na periferia do pavimento (largura entre 1,00 e 1,50 m).

A Norma *Passivhauss*, recomenda, também, a utilização de um isolamento térmico periférico, minorando as perdas perimetrais, mas permitindo que durante o Verão haja alguma transferência de calor para o interior do solo na zona central, facto que minora as necessidades de arrefecimento.

Cores do edifício

Um outro aspecto de particular relevância no cálculo térmico de um edifício é a cor da sua envolvente opaca. Com efeito, cores mais escuras absorvem muito mais calor do que cores mais claras.

Este aspecto é de particular relevância na estação de arrefecimento, na qual a temperatura superficial da envolvente induz um fluxo de calor do exterior para o interior, aumentando as necessidades de arrefecimento (Rodrigues *et al.*, 2009).

No Inverno, pelo facto de estes ganhos serem favoráveis, são desprezados na metodologia de cálculo regulamentar.

Para contemplar este efeito no Verão, o RCCTE propõe a introdução do conceito de temperatura ar-sol (temperatura fictícia que induz igual fluxo de calor que o efeito combinado da radiação e da temperatura do ar exterior), que permite um cálculo simples do fluxo de calor através destes elementos, recorrendo à expressão das trocas de calor por condução.

Para o cálculo desta temperatura ar-sol é necessário conhecer o coeficiente de absorção solar dos elementos, que varia entre 0,4 (cores claras) e 0,8 (cores escuras).

Nas condições de referência do regulamento, apenas se propõe a utilização de coberturas de cor clara, já que é nas coberturas que o efeito da radiação solar é mais intenso, devido à horizontalidade das mesmas, o que implica uma maior exposição à radiação solar.

Vãos envidraçados

Um vão envidraçado é um dos elementos com maior contacto entre o interior da habitação e o exterior. De facto, são eles que permitem a entrada de radiação solar no interior da habitação, promovendo a iluminação natural.

Como consequência, são eles uma das principais fontes de ganhos de calor numa habitação, facto favorável no Inverno e desfavorável no Verão (Tirone e Nunes, 2007).

Por outro lado, atendendo à sua reduzida espessura, tratam-se de elementos com um coeficiente de transmissão térmica mais elevado do que o dos restantes elementos da envolvente, sendo responsáveis por uma grande parte das perdas de calor do fogo.

Neste ponto considera-se que um vão envidraçado é composto pela parte envidraçada, pelo seu caixilho e pelos seus sombreamentos, quer sejam eles sombreamentos passíveis de serem activados (estores, persianas, portadas, etc.) ou sombreamentos passivos (palas).

No que respeita à parte envidraçada, é ela a responsável pela principal propriedade dos vãos envidraçados já enunciada. Analisando o comportamento de um vidro quando sujeito à incidência da radiação solar, conclui-se que uma parte é reflectida, outra é transmitida instantaneamente para o interior e outra é absorvida, passando posteriormente para o interior (Rodrigues *et al.*, 2009).

Para efeitos de cálculo é comum avaliar-se o factor solar de cada envidraçado, que corresponde ao quociente entre o ganho de calor solar através do vidro e a radiação total incidente.

O factor solar depende, também, do ângulo de incidência da radiação solar, sendo tanto maior, quanto menor for este ângulo (menor será a quantidade de radiação reflectida).

Em termos regulamentares, utiliza-se o factor solar obtido para um ângulo de incidência de 90° , que é afectado de um factor de redução (F_w), que contempla esta mesma variação das propriedades com o ângulo de incidência solar.

Assim, para a situação de Inverno é desejável um factor solar elevado, para permitir maiores ganhos solares, já no Verão deseja-se precisamente o contrário.

Por conseguinte, é necessária a introdução de protecções solares, passíveis de serem activadas no Verão, reduzindo substancialmente o factor solar do vão envidraçado, e que, ao estarem desactivadas no Inverno, não introduzem nenhuma redução destes mesmos ganhos.

Pela análise do quadro V.4 do RCCTE, conclui-se que estas protecções são muito mais eficazes quando colocadas pelo exterior do que pelo interior, já que no segundo caso, como o vidro não permite a transmissão da radiação infra-vermelha (efeito de estufa), a radiação solar que entra, ao modificar o seu comprimento de onda, não volta a sair.

No Inverno estas protecções solares permitem uma redução substancial das perdas de calor, já que ao serem activadas durante a noite, permitem uma redução do coeficiente de transmissão térmica.

Este facto está exemplificado na compilação técnica ITE-50 do LNEC, no qual se documentam os valores do coeficiente de transmissão térmica dia e noite (U_{wdn}), que são tanto mais baixos, quanto menor for a permeabilidade ao ar da protecção solar.

Para além destas protecções solares, podem existir palas de sombreamento, verticais e/ou horizontais, que ao projectarem sombra sobre o envidraçado, diminuem a quantidade de energia solar que incide no mesmo.

Como o ângulo de incidência é muito reduzido no Inverno (28° no Solstício de Inverno), a sombra projectada é muito reduzida, pelo que não há uma redução muito substancial da área efectiva de envidraçado. No Verão, o ângulo de incidência é muito mais alto (75° no Solstício de Verão), logo haverá uma sombra maior, havendo menos ganhos solares (Tirone e Nunes, 2007).

Relativamente à caixilharia, esta é responsável por uma grande parte das trocas de calor por condução, havendo uma redução substancial de trocas quando se utiliza uma caixilharia plástica em prol de uma caixilharia metálica (mesmo com corte térmico).

Por forma a aumentar o desempenho energético dos envidraçados, tem-se disseminado a utilização dos vidros duplos. Estes vidros permitem aumentar a resistência térmica da solução, devido à existência da caixa-de-ar, diminuindo, também o efeito de parede fria durante o Inverno, evitando-se, assim, condensações superficiais (Marques, s.d.).

Quando na caixa-de-ar do vidro duplo se inserem gases com uma resistência térmica superior à do ar (como é o caso do Argon), o desempenho do envidraçado ainda sofre mais um melhoramento.

Podem, também, utilizar-se vidros laminados, nos quais se insere uma película de baixa emissividade, o que minora as perdas energéticas durante o Inverno (Santos e Matias, 2006).

Posto isto, o RCCTE impõe valores limite do factor solar dos envidraçados que ocupem mais de 5% da área útil do espaço que servem, em função da zona climática de Verão, quando estes possuem a protecção solar 100% activa, propondo, ainda, valores de referência mais exigentes.

Relativamente ao coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados, não existe nenhuma imposição regulamentar, havendo apenas uma recomendação patente nos valores de referência do quadro IX.3 do Anexo IX.

A Norma *Passivhaus*, por sua vez, propõe a utilização de vidros duplos incolores tradicionais, por serem aqueles que são economicamente mais viáveis, embora admita que o melhor vão envidraçado a utilizar é o vidro duplo com baixa emissividade.

Ventilação natural

Uma habitação é um local onde decorrem várias actividades das quais resultam várias substâncias poluentes, que devem ser removidas por forma a manter a salubridade do local. São disto exemplo o dióxido de carbono, o monóxido de carbono, o vapor de água e os odores (Viegas, 2002).

Para promover esta exaustão, recorre-se à ventilação, que no caso dos edifícios residenciais é comumente promovida de uma forma natural através de diferenças de pressão geradas pelo vento entre as fachadas do edifício e pela alteração da densidade do ar por acção da temperatura.

Na estação de arrefecimento, este tipo de ventilação é muito favorável já que permite a eliminação das cargas de arrefecimento. Para além disso, o ar ao percorrer a habitação com alguma velocidade (2 a 3 m/s) permite uma sensação de arrefecimento na pele na ordem de 3 a 4°C (Rodrigues, *et al.*, 2009).

Porém, na estação de aquecimento, um caudal excessivo de ventilação faz aumentar as necessidades energéticas de climatização, já que o ar exterior se encontra a uma temperatura muito mais reduzida do que a temperatura interior de conforto.

Como tal, há necessidade de minimizar o número de renovações horárias de ar, sem comprometer as exigências de ventilação decorrentes das actividades internas da habitação, permitindo ao utilizador poder abrir as janelas no Verão, por forma a promover um maior caudal (Viegas, 2002).

É por isso que o RCCTE impõe um número mínimo de renovações por hora de $0,6 \text{ h}^{-1}$, valor este que mantém a higiene e o conforto dos ocupantes, e não induz perdas térmicas exageradas.

Na Norma *Passivhaus*, recomenda-se um valor máximo de renovações horárias de $1,0 \text{ h}^{-1}$, em localizações em que a temperatura exterior de projecto é superior a 0°C, facto que é comum no território nacional.

Para além da ventilação natural efectuada pela forma mais comum, existe ainda uma outra medida passiva que pode ser implementada, e que reduz substancialmente as cargas de arrefecimento: tubos de ar enterrados (Roriz *et al.*, 2010).

Como a temperatura interior do solo pouco varia ao longo do ano, consegue ter-se uma entrada de ar fresco no interior da habitação. Embora este tipo de ventilação possa ser efectuado por via natural, Roriz *et al.* (2010) sugerem que se recorra a ventiladores mecânicos, aumentando-se, assim, o caudal de ar insuflado, e com isso a eficiência da solução.

Parede de Trombe

Uma parede de Trombe (não ventilada) é um dispositivo passivo de aproveitamento da energia solar térmica através de ganhos indirectos, que são armazenados no interior de uma grande massa de betão durante o dia e libertados durante a noite para o interior da habitação, aproveitando o princípio da inércia térmica (Roriz *et al.*, 2010; Tirone e Nunes, 2007).

Para que seja eficaz, a Parede de Trombe tem que situar-se em fachadas orientadas a Sul, já que é nesta orientação que existe a maior intensidade da radiação solar durante o Inverno.

No Verão devem ser fortemente sombreadas para que não haja ganhos solares excessivos, o que aumentaria as necessidades de arrefecimento.

Deste modo, segundo a nomenclatura de Roriz *et al.* (2010), uma parede de Trombe é composta pelos seguintes elementos (Tirone e Nunes, 2007):

- Abertura para a passagem da radiação solar – vidro duplo, que funciona como “colector solar” e que impede a saída do calor devido ao efeito de estufa;

- Absorção – tinta preta que reveste uma parede de betão, proporcionando a maior absorção solar possível (o preto é a cor com maior coeficiente de absorção solar);
- Elemento de Inércia – é uma parede de betão, que por ter uma massa volúmica elevada (considerou-se 2100 kg/m³), consegue acumular muito calor durante o dia, passando a libertá-lo durante a noite;
- Distribuição de calor – é a própria parede de betão, que liberta o calor durante a noite.

O RCCTE não prevê directamente a inclusão destes dispositivos, sugerindo a utilização da metodologia SLR_P do INETI, ou outra devidamente justificada. Uma outra hipótese mais simples consiste em ignorar as perdas nessa área durante o Inverno e considerar a parede de Trombe como uma parede orientada a Norte no Verão (ADENE, 2009c).

Na Norma *Passivhaus* não é sugerida a utilização destes dispositivos em climas como o de Portugal.

4.3.2. Medidas activas

Para além de um adequado projecto passivo, responsável pela redução substancial das necessidades de climatização, pode ser necessário complementar o edifício com alguns meios activos por forma a manter as condições interiores de conforto em condições climáticas extremas.

Por outro lado, o consumo energético de um edifício não se restringe à climatização. No próprio RCCTE também se contemplam as necessidades energéticas para preparação de águas quentes sanitárias.

Além delas, há que considerar, também, todo o consumo operacional do edifício, referente aos aparelhos diariamente utilizados para as diversas actividades que decorrem no interior de uma habitação, facto não considerado no SCE.

Atendendo, ainda, ao desenvolvimento das tecnologias de microgeração a partir das energias renováveis observado nas últimas décadas, é possível dotar o edifício de algumas fontes de produção de energia, o que se traduz numa redução, quer do impacte ambiental do mesmo, quer da sua dependência energética.

Assim, este subcapítulo divide-se em quatro pontos distintos, cada qual correspondente a um destes diferentes tipos de sistemas activos, passíveis de serem implementados num edifício.

Climatização ambiente

Portugal é um país com um clima maioritariamente mediterrânico, e que por isso, quando se recorre a um projecto passivo adequado, não é necessário recorrer a sistemas activos de apoio na estação de arrefecimento (Tirone e Nunes, 2007).

Porém, na situação de Inverno é necessário suprir algumas necessidades de climatização. É neste ponto que se introduzem os sistemas activos de climatização ambiente, que se

recorrerem a energias renováveis, contribuem, também, para a redução do impacte ambiental do edificado.

Se se atentar na energia solar radiativa existente no solo do nosso país (PVGIS, 2009a e PVGIS, 2009b), repara-se que há uma enorme potencialidade decorrente do seu uso, que pode ser comprovada pela análise das Figuras 4.1 e 4.2, que representam a disponibilidade da radiação solar anual sobre superfície horizontal e sobre uma superfície com ângulo óptimo.

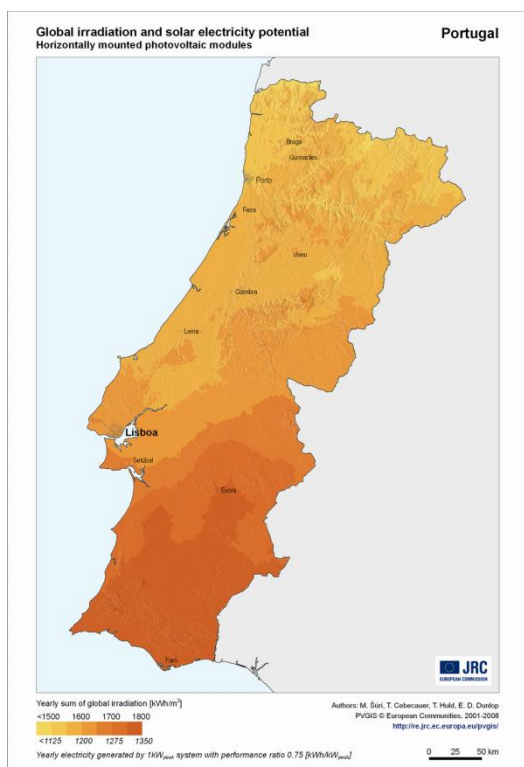


Figura 4.1 – Radiação solar incidente sob plano horizontal em Portugal (fonte: PVGIS)

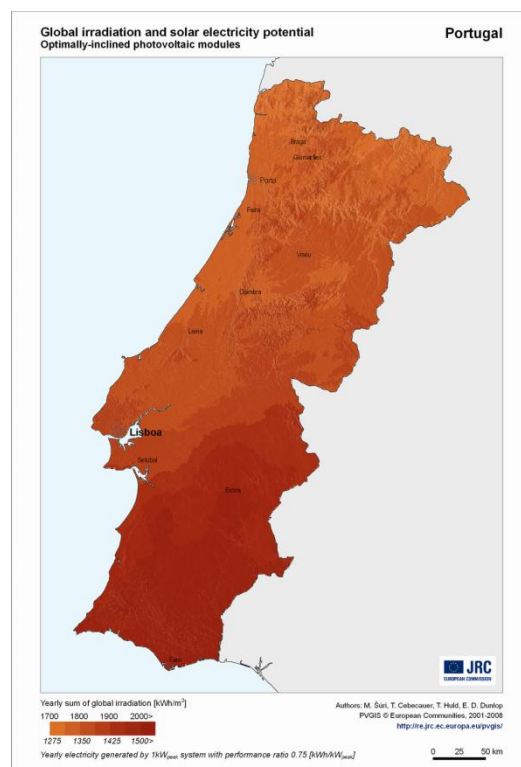


Figura 4.2 – Radiação solar incidente segundo a orientação óptima (fonte: PVGIS)

É por isso que a Norma *Passivhauss* recomenda a implementação de piso radiante (com uma potência limitada a 10 W/m^2), alimentado a energia solar, facto que suprime grande parte das necessidades energéticas das habitações portuguesas.

Este tipo de sistemas recorre ao aquecimento de um fluido com uma grande capacidade de armazenar energia (água) que depois é feito passar por várias serpentinas no pavimento da fracção autónoma, em toda a área útil a aquecer (Bessa, 2010).

A sua principal vantagem reside no facto de a temperatura de aquecimento do fluido ser bastante reduzida (inferior a 40°C), pelo que pode ser facilmente atingível recorrendo apenas a colectores solares, sem necessidade de introdução sistemas de apoio (Roriz *et al.*, 2010).

Reduzindo-se substancialmente as necessidades energéticas de energia primária, a fracção residual pode ser suprida recorrendo a sistemas convencionais de aquecimento ambiente, das quais a forma mais antiga se traduz na queima da biomassa (tradicional lareira).

Embora produza emissões de CO_2 para a atmosfera (Tirone e Nunes, 2007), se se recorrer a recuperadores de calor, pode obter-se um rendimento do sistema de 88% (face aos 10%

convencionais), o que, aliado à eliminação dos resíduos florestais indesejáveis, minorando, assim, o risco de incêndios no Verão, pode traduzir-se numa medida globalmente positiva.

Colectores solares

Como foi possível observar através das Figuras 4.1 e 4.2, a energia solar tem uma grande potencialidade de ser utilizada nos edifícios em Portugal. Entre as várias utilizações possíveis, o RCCTE obriga à instalação mínima de 1 m² de colectores solares por ocupante para produção de AQS, sempre que a cobertura se encontra orientada no quadrante Sul, podendo esta área ser diminuída por forma a não ocupar mais de 50% da área total da cobertura.

Para além desta imposição regulamentar, esta tese propõe a utilização de colectores solares para um outro uso: aquecimento ambiente por via do piso radiante.

Ao analisar a elevação de temperatura a obter por via da radiação solar, verifica-se que para a obtenção de AQS se necessita de elevar a água até 60°C (valor proposto no RCCTE), já para o piso radiante, no máximo aquece-se o fluido circulante até 40°C (Roriz *et al.*, 2010).

Por conseguinte, é natural que para estas diferenças de elevação de temperatura se utilizem tecnologias diferentes. Para uma percepção das soluções a implementar passam a descrever-se sucintamente os diferentes tipos de colectores solares existentes no mercado.

Um colector solar é geralmente composto pelos seguintes componentes (Roriz *et al.*, 2010), que se encontram ilustrados na Figura 4.3:

- absorvador – absorve a radiação solar, devendo ter a maior absorção possível e a menor emissividade possível;
- cobertura transparente (muito comum, mas não obrigatória) – devendo ter uma grande transmitância e uma baixa reflectividade (por forma a manter o calor no interior do colector pelo efeito de estufa);
- isolamento térmico na base – já que quando o colector não está a funcionar pode atingir facilmente temperaturas de 150°C;
- tubos de transferência de calor – nos quais circula o fluido a aquecer.

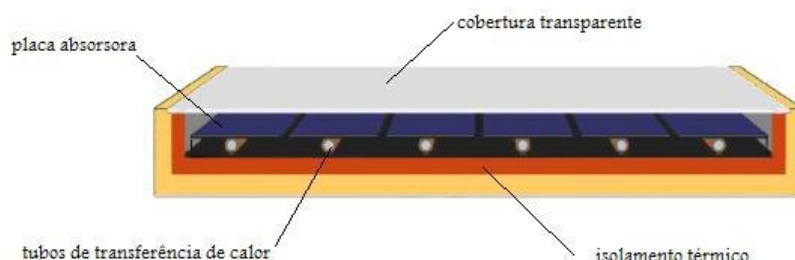


Figura 4.3 – Esquema de um colector solar tipo (adaptado de Roriz *et. al.*, 2010)

Não existindo uma classificação de painéis universalmente aceite, estes podem ser divididos em quatro tipos distintos (Roriz e Rosendo, 2010):

- colectores simples – não contêm protecção de vidro, sendo compostos apenas por vários tubos ligados entre si;

- colectores planos – são os colectores mais comuns, sendo caracterizados por conterem os tubos colectores paralelos entre si;
- colectores evacuados e de tubos de calor – podem existir tubos colectores com inclinações distintas;
- concentradores solares – contêm uma superfície parabólica que concentra os raios solares no foco óptico, no qual se localiza o tubo colector, absorvendo a máxima radiação solar.

Para caracterizar um colector é comum utilizarem-se os seguintes parâmetros (Roriz *et al.*, 2010; Roriz e Rosendo, 2010):

- Eficiência do colector (η) – razão entre a energia convertida em calor e a radiação incidente;
- Eficiência óptica (η_0) – representa a quantidade de radiação incidente que pode ser convertida em calor, dependendo da transmitância da cobertura e da absorção do absorsor, correspondendo a uma situação em que não há perdas por condução-convecção;
- Factor de perda de calor (η_k) – perda de calor devida ao desenho do colector e ao isolamento térmico, dependendo, também, da diferença de temperaturas entre o exterior e o absorsor;
- Temperatura de estagnação – temperatura máxima que o absorsor pode atingir, correspondente ao ponto em que as perdas de calor para a atmosfera são iguais ao calor absorvido pelo absorsor;
- Coeficientes de perdas (a ou a_1 e a_2) – representam as constantes de cálculo das perdas térmicas por unidade de área do colector, consoante o fabricante adopte uma equação de aproximação das perdas de primeiro grau (a), ou de segundo grau (a_1 e a_2).

Para além destes elementos, é comum a utilização de outros sistemas de apoio aos circuitos dos sistemas solares térmicos (Roriz e Rosendo, 2010):

- Reservatório – como a energia absorvida pelos colectores não pode ser controlada e nem sempre coincide com as necessidades de calor durante o dia, é necessário armazenar o calor em depósitos servidos pelo colector solar;
- Dissipador de energia – no Verão é comum existir um sobreaquecimento do colector solar, pelo que se torna necessário recorrer a estes equipamentos, geralmente compostos por uma ventoinha de refrigeração;
- Bombas hidráulicas – devido às perdas de carga no sistema, pode tornar-se necessária a implementação de bombas hidráulicas;
- Válvulas de seccionamento – por forma a possibilitar o isolamento de trechos do sistema;
- Sistema de apoio – pode ser eléctrico ou a gás, e permite suprir as necessidades energéticas não satisfeitas pelo sistema solar.

Para terminar esta breve descrição dos colectores solares, falta referir os diferentes tipos de circuitos existentes, que podem ser directos ou indirectos. Nos primeiros, o fluido a aquecer é a

própria água potável de consumo; nos segundos utiliza-se um outro fluido que contacta indirectamente com a água de consumo através de serpentinas introduzidas no depósito de armazenamento.

Refira-se que, segundo Roriz *et al.* (2010), a segunda hipótese é a solução mais recomendável, já que permite a introdução de substâncias anticongelantes, prevenindo-se possíveis danos nos tubos colectores durante uma noite fria de Inverno.

Posto isto, atendendo às utilizações propostas nesta tese, vai utilizar-se um sistema de colectores planos para a produção de AQS, recorrendo a um sistema de apoio a electricidade com uma eficiência igual a 0,9 (termoacumulador eléctrico).

Para o sistema do piso radiante, deve recorrer-se a um colector simples, já que, segundo Roriz e Rosendo (2010), são os colectores mais adequados para aquecimento de água a baixa temperatura.

Electrodomésticos eficientes

Para além do consumo energético associado à climatização e à produção de AQS, existe todo o restante consumo relativo à operação de uma fracção autónoma.

Em 2004 a ADENE publicou o documento *Eficiência energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial*, que analisa o consumo de vários electrodomésticos numa habitação portuguesa, do qual se retira o Quadro 4-2, que compara o consumo de uma família *standard* com electrodomésticos pouco eficientes, com o consumo de uma família “ecológica”, que usa electrodomésticos de classe A:

Quadro 4-2 – Consumo anual de alguns equipamentos (fonte: ADENE, 2004)

Equipamentos	Consumo anual de uma “Família Standard”		Consumo anual de uma “Família Ecológica”	
	Electricidade (kWh)	Água (m ³)	Electricidade (kWh)	Água (m ³)
Frigorífico	380	—	140	—
Congelador	625	—	225	—
Máquina de lavar louça	396	5,7	264	3,3
Máquina de lavar roupa	240	14,0	180	10,0
Forno eléctrico	306	—	250	—
Computador	200	—	95	—
Audiovisual	335	—	220	—
Iluminação	500	—	160	—
Total	2.982	19,7	1.534	13,3
Diferença entre as duas situações			-1.448	-6,4

Daqui se conclui que um uso racional da energia reduz substancialmente as necessidades energéticas globais de uma habitação portuguesa. Este estudo ainda conclui que se todas as famílias em Portugal adoptassem o comportamento “ecológico” haveria uma redução de 30% do consumo energético do sector residencial.

Deste modo, também nesta tese se vai avaliar o consumo energético de uma família, separando nesta análise os consumos com climatização e com AQS. Para tal, seleccionou-se um conjunto exaustivo de aparelhos de utilização comum nas habitações portuguesas, que contêm primeiramente uma potência média. Numa segunda análise avalia-se o consumo de aparelhos mais eficientes.

Após essa escolha, construiu-se um padrão de consumo considerando a prática comum. Contudo, não se recorreu a nenhuma análise estatística, pelo que este consumo não pode ser considerado como o consumo típico de uma família portuguesa, devendo, antes, ser tomado como um padrão de comparação entre um caso médio e um caso muito eficiente.

Este padrão de consumo pode ser visualizado no Quadro 4-3, no qual se descrevem os aparelhos utilizados (e seu o número), bem como o número de horas de operação semanal e a percentagem de utilização durante o tempo de uso:

Quadro 4-3 – Padrão base de funcionamento dos aparelhos a analisar

Aparelho	número	Horas/semana	% operação
Aspirador	1	2	80 ⁽¹⁾
Computador	2	20 ⁽²⁾	100
Ferro de engomar	1	2	90 ⁽³⁾
Fogão ⁽⁴⁾	1	10,5 ⁽⁴⁾	60 ⁽⁴⁾
Forno	1	2 ⁽⁵⁾	100
Microondas	1	3,5 ⁽⁶⁾	100
Máquina lava-loiças	1	10,5	100
Máquina lava-roupa	1	3,5	100
Máquina secar-roupa	1	3,5	100
Leitor de DVD	1	4	100
Rádio relógio	3 ⁽⁷⁾	168 ⁽⁷⁾	10 ⁽⁷⁾
Secador de cabelo	1	1	100
Torradeira	1	1	100
TV	3	10,5 ⁽⁸⁾	100
Frigorífico ⁽⁹⁾	1	168	100
Arca congeladora ⁽⁹⁾	1	168	100
Lâmpadas	10 ⁽¹⁰⁾	28 ⁽¹⁰⁾	100
Outros ⁽¹¹⁾	-	-	-

⁽¹⁾ – considerou-se que durante a aspiração há algumas paragens para movimentação do aparelho.

⁽²⁾ – considerou-se que os ocupantes trabalham no computador maioritariamente no emprego, sendo que em casa o utilizam para fins de lazer e como complemento ao uso no local de trabalho.

⁽³⁾ – consideraram-se algumas paragens do aparelho durante o processo de engomagem.

⁽⁴⁾ – optou-se por introduzir uma placa de vitrocerâmica, que tem um grande consumo eléctrico, por ser já uma prática comum e por não produzir localmente emissões de gases de combustão.

⁽⁵⁾ – este valor foi obtido considerando que o forno não trabalha todas as semanas e que no Inverno tem um uso muito superior do que no Verão.

⁽⁶⁾ – obtido considerando um uso de 30 minutos diários.

⁽⁷⁾ – introduziu-se um rádio relógio por quarto, que funciona todas as horas do dia, mas com uma percentagem de operação de 10%, já que na maioria do tempo o seu consumo é para o relógio digital e não para efeitos audiovisuais.

⁽⁸⁾ – Dados da Markttest (2006) afirmam que cada português visualiza em média 3,5 horas de televisão por dia, distribuindo por 3 televisões na habitação e considerando que pode haver pelo menos duas pessoas a ver o mesmo programa de televisão, optou-se por introduzir uma operação de 10,5 horas por televisão, o que faz com que cada aparelho esteja a funcionar durante 1,5 horas diárias.

⁽⁹⁾ – tanto o frigorífico, como a arca congeladora estão a funcionar durante todas as horas da semana.

⁽¹⁰⁾ – considerando os 9 compartimentos da fracção autónoma, e que nem todas as luzes estão a trabalhar em simultâneo, optou-se por um consumo de 40 lâmpadas/hora por dia.

⁽¹¹⁾ – Uma habitação contém outros aparelhos de pequeno consumo, pelo que para que sejam contemplados, adicionou-se 1% do consumo registado.

Microgeração

Conhecendo as necessidades energéticas de climatização, de AQS e da restante operação, pode estimar-se o consumo energético total do edifício a partir do qual se retira a sua produção equivalente de CO₂.

Atendendo ao *mix* energético nacional do ano de 2009, divulgado *on-line* na página da EDP – *Serviço Mundial*, pode concluir-se que 40,2% da energia é produzida através de energias renováveis, e que por cada kWh de electricidade produzido foram emitidos em média 354,36 g de CO₂.

Esta informação pode ser visualizada através da Figura 4.4, que ilustra a percentagem de cada fonte de energia na electricidade final produzida:

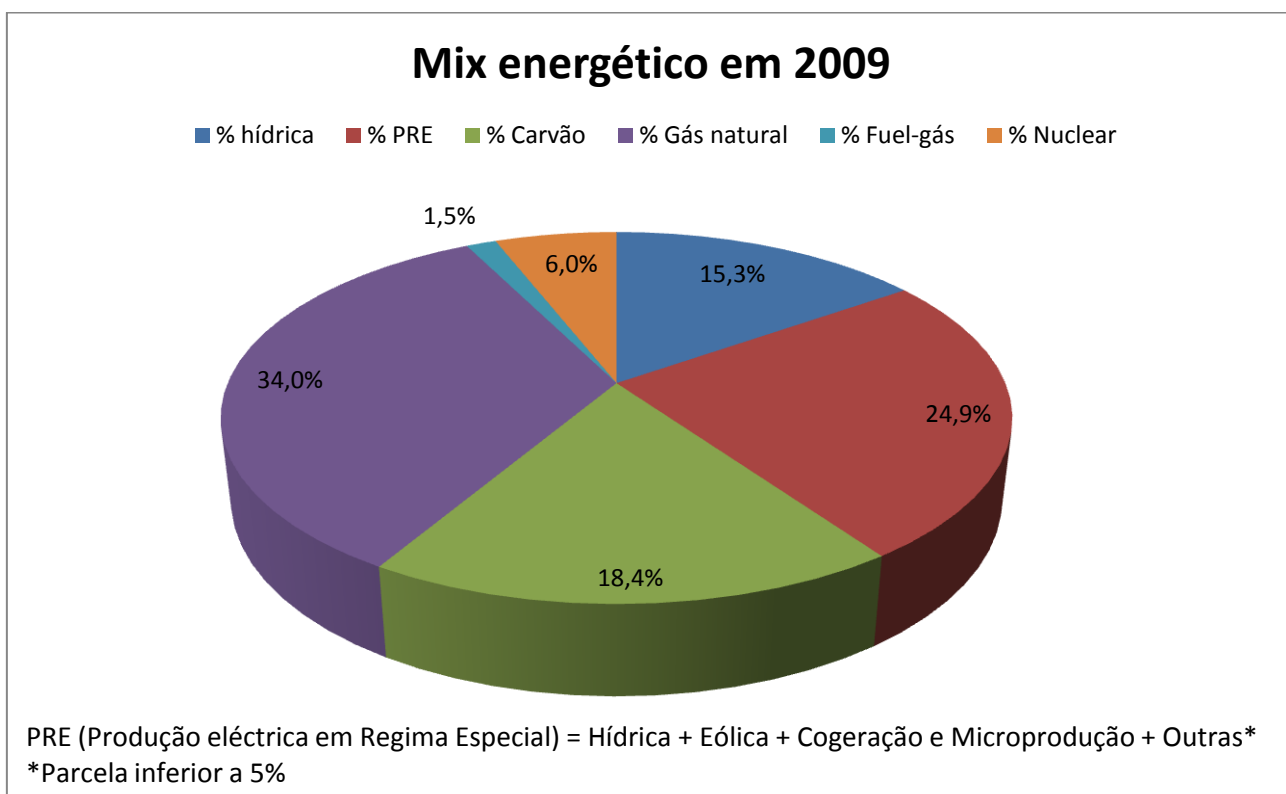


Figura 4.4 – Mix energético nacional em 2009 (fonte: EDP – Serviço Mundial)

Assim sendo, e aceitando que o *mix* energético em 2010 será semelhante ao de 2009, para se obter um edifício com um impacte ambiental quase nulo em termos de emissões de CO₂ (proposta da revisão da Directiva 2002/91/CE) não será necessário produzir toda a energia no local, mas sim, aquela que corresponde à parcela não renovável.

Aceitando, também, a simplificação de que as fontes de energia se distribuem equitativamente pelo território nacional, então, se se produzir em cada edifício 59,8% da sua energia recorrendo a energias renováveis, pode aceitar-se que o edifício não produz CO₂ decorrente do uso da energia eléctrica durante a sua fase de exploração.

Assim, no fim de se conhecerem as estimativas dos consumos energéticos totais da fracção autónoma, propõe-se a instalação de painéis fotovoltaicos para a produção da percentagem de energia referida.

Mais uma vez, a escolha desta fonte renovável prende-se com a grande disponibilidade de radiação solar incidente no território nacional, facto que compensa a reduzida eficiência teórica máxima de 31% – limite teórico de Shockley-Queisser (Roriz e Rosendo, 2010).

Esta tecnologia baseia-se no efeito fotoeléctrico, ou seja, a emissão de electrões de um dado material a partir da incidência de radiação electromagnética. Para que ocorra, é necessário que se vença o potencial de extracção, isto é, a energia correspondente à orbital onde o electrão se encontra (Rego *et al.*, 2003).

Essa energia incidente encontra-se incorporada nos fotões da radiação electromagnética sendo igual ao produto entre a constante de Planck e a frequência da radiação. Deste modo, acima de uma dada frequência (frequência crítica), começam a libertar-se electrões com uma dada energia cinética (diferença entre a energia do fotão incidente e a da orbital).

Para além deste conceito, uma célula fotovoltaica também recorre à definição de hiato energético, isto é, à energia que é necessária para que um electrão passe da banda de valência (menor energia) para uma banda de condução (maior energia, estando desocupada).

Em materiais isolantes, este hiato é muito elevado, pelo que os electrões dificilmente saem da sua banda de valência; num metal, estas bandas sobrepõem-se; num material semiconductor, embora haja um hiato bem definido como nos materiais isolantes, a energia a ele correspondente é inferior.

Quando num material semiconductor se faz incidir uma radiação electromagnética com uma energia igual à do hiato energético (transmitida através do efeito fotoeléctrico), os electrões deslocam-se para a camada de condução, deixando uma lacuna na camada de valência (buraco). Cria-se o par electrão-buraco – Pe-b (Roriz *et al.*, 2010).

Assim sendo, há a possibilidade de um outro electrão ocupar essa posição do buraco, o que gera uma deslocação da posição do buraco. Deste modo, à semelhança do electrão que se move, também o buraco se pode mover, contendo a mesma carga eléctrica do electrão, mas com sinal positivo.

Assim, na junção de dois semicondutores, ao ser fornecida a energia do hiato energético, gera-se um movimento orientado de cargas negativas e outro de cargas positivas, ambos em sentido contrário. É este fenómeno que cria uma diferença de potencial e que pode fornecer corrente eléctrica a um circuito externo – efeito fotovoltaico.

O facto de se usar um semiconductor em vez de um metal, justifica-se com a sobreposição das várias camadas do segundo, o que leva a que não se gerem buracos, mas antes um único movimento de cargas negativas, que é facilmente orientável, o que os torna bons condutores eléctricos, mas não gera nenhuma diferença de potencial (Roriz e Rosendo, 2010).

O semicondutor mais abundante na crosta terrestre é o silício, daí que seja o mais comum nas células fotovoltaicas.

À semelhança do que se passava com os colectores solares, também os painéis fotovoltaicos têm alguns parâmetros característicos, dos quais se destacam:

- Eficiência (η) – percentagem da energia incidente que é convertida em energia eléctrica;
- Potência nominal (W_p) – potência extraída da célula fotovoltaica quando sujeita a um ensaio padrão;
- Potência de pico (P_{mp}) – valor máximo da potência, obtido para um dado valor de tensão (tensão correspondente à potência máxima – V_{mp});
- Corrente correspondente à potência máxima (I_{mp}) – intensidade de corrente correspondente à potência de pico;
- Tensão de circuito aberto (V_{oc}) – máxima tensão possível, obtida quando a intensidade de corrente é nula, sendo a potência, também, nula;
- Corrente de curto-circuito (I_{sc}) – máxima intensidade de corrente possível, obtida quando a tensão é nula, sendo a potência, também, nula.

Para avaliar os valores de P_{mp} , V_{mp} e I_{mp} , V_{oc} e I_{sc} , é comum recorrer-se às curvas características, obtidas para dadas condições de radiação e temperatura, das quais é exemplo a Figura 4.5, extraída de Roriz e Rosendo (2010):

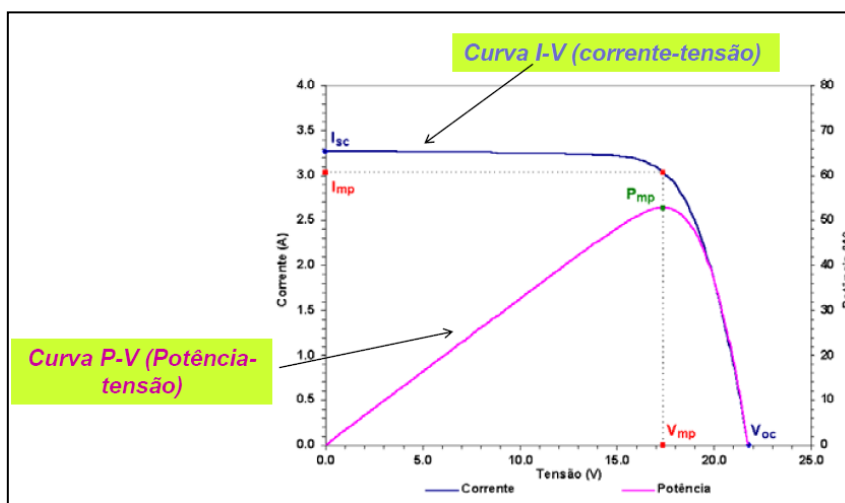


Figura 4.5 – Exemplo de uma curva característica de uma célula fotovoltaica (fonte: Roriz e Rosendo, 2010)

Para terminar esta breve descrição de um painel fotovoltaico, refira-se que à semelhança do que se passa num colector solar, também, nem sempre a energia é produzida no momento em que é necessária, pelo que também aqui se recorre a sistemas de armazenamento de energia, que se traduzem em baterias (Bos).

Estas baterias armazenam a energia eléctrica na forma de corrente contínua. Como a energia utilizada nas habitações é em corrente alterna, estas têm que estar acopladas a um inversor de corrente.

4.4. Linhas estratégicas

4.4.1. Objectivos a atingir

O terceiro capítulo culminou com a conclusão de que um edifício energeticamente sustentável será aquele que procura um consumo neutro em energia e em carbono. Para tal, referiu-se que seria imprescindível a adopção da Norma *Passivhaus*, que em Portugal permitia uma redução de 90% das necessidades energéticas de climatização face a uma construção comum.

Por conseguinte, esta tese centra-se na forma como estes objectivos estão previstos no RCCTE, verificando se este contribui para a sua implementação no país, pelo que este subcapítulo se inicia com uma breve descrição das directrizes da Norma *Passivhaus*.

A *Passivhaus* aplicada a Portugal tem como intuito o desenvolvimento e a implementação de um método de projecto de uma habitação energeticamente eficiente e confortável ao longo do ano, com um custo de construção aceitável (Gonçalves e Brotas, 2007).

Estes propósitos são conseguidos através de um adequado projecto passivo, que procura maximizar o desempenho do edifício. Para tal, minoram-se as necessidades energéticas, através do aproveitamento óptimo das componentes do edifício e da envolvente natural.

Apesar de num projecto passivo puro não serem considerados quaisquer tipos de equipamentos mecânicos e/ou eléctricos (sistemas activos), a norma prevê que estes sejam devidamente considerados, já que nem sempre é possível manter o limiar de conforto recorrendo simplesmente a sistemas passivos.

Contudo, os sistemas activos deverão ser entendidos como um complemento dos sistemas passivos e não como um meio único de manutenção do conforto interior.

Esta complementaridade é conseguida em situações de picos de desconforto e, também, para uma produção eficiente de AQS. Para além disto, é de prever sistemas de microgeração de modo a diminuir a dependência energética do próprio edifício.

Assim, para o clima de Portugal, a Norma *Passivhaus* enumera seis pontos que devem ser cumpridos no intuito de se criar um projecto desta índole:

- Critério de aquecimento: $N_{ic} \leq 15 \text{ kWh/m}^2$;
- Critério de arrefecimento: $N_{vc} \leq 15 \text{ kWh/m}^2$;
- Critério de energia primária: o consumo total de energia, que inclui todos os consumos do edifício (aquecimento/arrefecimento ambiente, AQS, iluminação e restantes equipamentos eléctricos – electrodomésticos, audiovisuais, etc.), não pode ultrapassar os 120 kWh/m^2 ;
- Critério de estanquidade ao ar: Considerando que a temperatura do ar é superior a 0°C , há que cumprir uma renovação por hora;
- Temperatura interior de conforto no Inverno: 20°C ;
- Temperatura interior de conforto no Verão: de acordo com a EN 15251, mas se existir um sistema de arrefecimento activo, deverá ser inferior a 26°C .

Como se viu, para a temperatura interior de conforto no Verão, a norma recomenda a utilização da EN 15251.

Esta norma foi resultado da Directiva 2002/91/CE e, entre outros objectivos, estipula quais os limites máximos de temperatura de projecto a considerar no Verão (Boerstra, 2006), com base num método de conforto adaptativo, que se baseia em correlações entre a temperatura exterior e a temperatura interior do edifício (Gonçalves e Brotas, 2007).

Efectivamente (Boerstra, 2006), quando num edifício não estão previstos quaisquer meios activos de arrefecimento, a temperatura interior de conforto sentida pelos utilizadores é superior, devido à adaptação dos mesmos e às próprias expectativas, que não são tão elevadas.

Assim, a partir de um estudo realizado em cinco países da Europa (Portugal, Grécia, Suécia e Reino Unido) – estudo de SCATs (*Smart Controls and Thermal Comfort*), foi possível obter a equação (1) para a temperatura interior de conforto, que para Portugal se conclui ser a seguinte (Chvatal, 2007):

$$T_c = 0,381 \cdot T_{Rm} + 18,12 \quad (1)$$

Na equação anterior, a variável T_c corresponde à temperatura interior de conforto, que depende de T_{Rm} – temperatura média diária exterior exponencialmente ponderada, que por sua vez depende do valor de T_{Rm} do dia anterior e da temperatura média exterior do dia anterior – T_{Dm} (equação 2), em que no primeiro dia se considera $T_{Rm}=T_{Dm}$ (Chvatal, 2007).

$$T_{Rm}^{dia\ n} = 0,80 \cdot T_{Rm}^{dia\ n-1} + 0,20 \cdot T_{Dm}^{dia\ n-1} \quad (2)$$

Deste modo, a Norma EN 15251 introduz 3+1 classes de conforto adaptativo, nas quais 95% da área útil do edifício deverá estar numa dada gama de temperaturas em pelo menos 97% do tempo (Nicol e Pagliano, 2007 e Boerstra, 2006).

Dependendo da expectativa de conforto dos utilizadores do edifício, a exigência de cada classe vai-se alterando, tal como se pode visualizar no Quadro 4-4.

Quadro 4-4 – Classes de conforto da Norma EN 15251 (adaptado de Nicol e Pagliano, 2007)

Classe	Descrição	Banda de conforto
I	Expectativas de conforto elevadas , apenas usada em edifícios utilizados por pessoas muito sensíveis e frágeis	$T_c \pm 2^\circ\text{C}$
II	Expectativas de conforto normais , usada em edifícios novos ou reabilitados	$T_c \pm 3^\circ\text{C}$
III	Expectativas de conforto moderadas , usada em edifícios existentes	$T_c \pm 4^\circ\text{C}$
IV	Valores que se situam fora das classes anteriores	-

Para que se possa aplicar esta gama de temperaturas interiores de conforto, os edifícios devem ter as seguintes características (Boerstra, 2006):

- A actividade interior deve estar entre 1,2 e 1,6 met;
- O isolamento térmico da roupa deve situar-se entre 0,5 e 1,0 clo;

- Os ocupantes devem poder abrir livremente as janelas;
- Cada compartimento deve ter no máximo 4 pessoas (facto que acontece na generalidade dos edifícios residenciais).

Existe, ainda, uma outra norma de conforto adaptativo, que vigora nos Estados Unidos da América – ASHRAE 55-2004.

Neste documento, a metodologia de cálculo da banda de conforto adaptativa é muito mais expedita, já que considera a temperatura média mensal (θ_{me}) para o cálculo da temperatura neutral de conforto, tal como se ilustra na equação (3) (Rodrigues *et al.*, 2009):

$$\theta_n = 17,8 + 0,31\theta_{me} \quad (3)$$

Ora, para a classe similar de conforto adaptativo (classe B da Norma ASHRAE 55-2004), na qual há 80% de aceitação do conforto interior por parte dos utilizadores, a banda de conforto tem uma largura de 7°C, ou seja, o limite máximo aceitável é de $\theta_n + 3,5$ (°C).

Um outro aspecto a salientar na Norma *Passivhaus* prende-se com a exemplificação da sua implementação em cinco países europeus: Reino Unido, França, Itália, Espanha e Portugal. Para cada um deles são estudadas as soluções mais adequadas a aplicar, no intuito de se obter um adequado projecto passivo.

Relativamente a Portugal, são levados em conta três importantes parâmetros: relação solar, ventilação para arrefecimento e uma forte inércia térmica, tal como justificados em pontos anteriores.

Para além desta norma, existe, ainda, uma outra publicação nacional publicada pelo INETI, em que para cada diferente zona climática do RCCTE indica quais as principais medidas a serem levadas em consideração (Gonçalves e Graça, 2004).

Este documento será avaliado localizações a localizações no decorrer do capítulo 5, no qual se discutem as opções de projecto a adoptar em cada caso.

Posto isto, a presente dissertação prende-se com a avaliação de uma solução base que cumpre apenas com os mínimos regulamentares. Posteriormente, adicionam-se todas as condições de referência propostas pelo RCCTE, verificando-se o desempenho do edifício.

Esta solução será, ainda, melhorada ponto por ponto com medidas passivas da construção sustentável e então analisada, de modo a que cumpra os objectivos da *Passivhaus*.

Tendo uma solução com baixas necessidades energéticas, adoptam-se, caso a caso, os sistemas activos mais eficientes que sejam capazes de as suprir, que recorram preferencialmente a energias renováveis. Com isto, pretende-se criar um edifício com consumos quase neutrais, que vai ao encontro das directrizes da revisão da Directiva 2002/91/CE.

No tocante às AQS, recorre-se ao *software Solterm 5.1.3* do INETI, por forma a obter uma solução muito eficiente que recorra essencialmente à energia solar, complementada com sistemas de apoio muito eficientes.

Posteriormente, pretendendo avaliar o peso que têm as medidas activas no SCE em detrimento das passivas (que devem ser as primeiras a implementar, já que podem reduzir grandemente as necessidades energéticas do edifício), analisam-se as diferenças de classe energética que existem em quatro soluções de cada tipologia analisada (solução base, primeira solução regulamentar, solução intermédia, solução *Passivhauss*), aquando da introdução de sistemas activos muito eficientes e de sistemas activos menos eficientes.

Por último, faz-se, ainda, uma análise dos restantes consumos de operação do edifício e do impacto da microprodução, recorrendo, quer à publicação *Eficiência energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial* da ADENE (2004), quer a um *software* desenvolvido pelo governo do Canadá – *RETScreen*, futuramente apresentado.

4.4.2. Metodologia de cálculo

Como já foi discutido em capítulos anteriores, a metodologia de cálculo das necessidades energéticas do RCCTE está cientificamente comprovada como sendo um método eficaz. Como é aquele que é usado no actual SCE, será utilizado, sempre que possível, para prever o desempenho do edifício.

No entanto, como há soluções da arquitectura bioclimática que não estão previstas nesta metodologia de cálculo, recorreu-se o *software EnergyPlus 4.0*, para estimar as melhorias obtidas com essas novas medidas.

A descrição do procedimento utilizado neste programa de cálculo automático encontra-se devidamente justificada no Anexo II, por forma a não tornar tão extensa esta dissertação.

Assim, é um *software* de licença gratuita que foi desenvolvido pelo *U.S. Department of Energy*, sendo baseado em dois programas mais antigos o *BLAST* e o *DOE-2*. Actualmente é uma das ferramentas mais utilizadas para a realização de simulações energéticas, fornecendo as necessidades energéticas e os consumos dos diferentes aparelhos mecânicos (Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009a).

Estes valores são sempre comparados com os valores da *Passivhauss*, tal como já foi justificado em capítulos anteriores, verificando-se a sua posição perante os limiares já apresentados.

O uso deste programa, permite, ainda, utilizar as bandas de conforto do método adaptativo na situação de Verão, que são calculadas para cada localização a partir da temperatura média mensal dos meses de Verão (obtida através dos dados do ficheiro climático do programa *RETScreen*, que se baseia em dados recolhidos em estações meteorológicas locais).

Conforme é perceptível pela leitura do Anexo II, para se calcularem as necessidades energéticas é necessário criar um calendário horário com as temperaturas a partir das quais o sistema de climatização entra em funcionamento.

Se se utilizar a Norma Europeia EN 15251, como a banda de conforto é calculada diariamente, seria necessária a realização de um calendário distinto para cada dia da estação de arrefecimento.

Atendendo a que o programa não tem memória para tantos calendários (permite 26 semanas distintas num ano), isto levaria à realização de inúmeras simulações só para cada solução analisada, facto que tornava excessivamente moroso o processo de cálculo.

Desta forma, optou-se por utilizar a Norma Americana ASHRAE 55-2004 que, por recorrer à temperatura média mensal no cálculo da banda de conforto, só necessita de um calendário por mês, o que torna o cálculo mais expedito, sem comprometer o rigor, já que é uma norma que é fruto de vários estudos científicos, tal como exposto por Rodrigues *et al.*, 2009.

Para além disso, por forma a validar os resultados deste mesmo programa, também se calculam as necessidades energéticas segundo as condições regulamentares de conforto, verificando o desvio face à metodologia do RCCTE, que se espera não ser muito grande, atendendo aos estudos científicos elaborados neste sentido.

No que respeita à análise de sistemas de microgeração, recorreu-se a um outro software distribuído pelo governo do Canadá – *RETScreen* (Natural Resources of Canada, 2010). Esta ferramenta de apoio à decisão permite avaliar vários sistemas activos de eficiência energética de um edifício, bem como diferentes sistemas de microprodução. Para tal, baseia-se numa base de dados climáticos fornecidos pela NASA para os vários pontos do globo.

Para além desta potencialidade, este mesmo programa permite estimar o consumo de operação do edifício, numa outra das suas ferramentas.

Para o cálculo da produção de AQS recorreu-se ao *software* regulamentar – *Solterm 5.1.3* do INETI. Este utilitário utiliza uma simplificação, já que os dados climáticos são considerados iguais em todas as localizações do concelho, facto que não é verdadeiro, e que é tido em conta em outros utilitários (Roriz e Rosendo, 2010). No entanto, como se trata de um programa normativo, foi esta a opção tomada.

Por último, analisam-se, também, as classes energéticas das várias soluções, para perceber de que forma é que as várias medidas são interpretadas pelo SCE no resultado final do certificado energético. Avalia-se, também, o impacto das várias parcelas de consumo energético no consumo global de cada fracção autónoma.

4.4.3. Metodologia de análise

Neste subcapítulo, são enumeradas estrategicamente as várias opções analisadas nesta tese, cuja justificação teórica foi já enunciada em pontos transactos.

Sob o ponto de vista regulamentar refira-se que foi realizado um estudo por Ferreira e Pinheiro (2010) em que se comparam várias orientações solares, tendo-se concluído que em situações de limiares de classe energética é possível obter uma classe superior quando se orienta devidamente o edifício.

Como o HEXA se trata de um edifício ainda em fase de projecto, escolheu-se a orientação solar mais favorável – Norte-Sul, que gera soluções energeticamente mais eficientes.

Passando para os elementos construtivos, ao analisar o RCCTE, verifica-se que existem dois tipos de imposições regulamentares:

- a fixação de um coeficiente U máximo (quadro IX.1), que para Lisboa e Évora é de $1,8\text{W/m}^{20}\text{C}$ no caso de paredes e de $1,25\text{W/m}^{20}\text{C}$ no caso de elementos horizontais, e para Bragança é de $1,45\text{W/m}^{20}\text{C}$ e de $0,90\text{W/m}^{20}\text{C}$, respectivamente;
- a fixação de um factor solar máximo admissível para vãos envidraçados – de 0,56, no caso de Lisboa e Bragança, e de 0,50 no caso de Évora – para uma inércia térmica média ou forte (com a protecção solar 100% activa, desde que ocupem pelo menos 5% da área do espaço que servem e que não estejam no quadrante Norte).

Assim sendo, a primeira análise prende-se com uma solução que cumpra, apenas, estes máximos regulamentares (Solução A), verificando qual o seu desempenho pela metodologia de cálculo do RCCTE, verificando se cumpre os máximos impostos em termos de Ni e de Nv.

Após esta análise, passa-se a um passo seguinte: avaliar o desempenho do edifício quando se usam os valores de referência do RCCTE (Solução B). Estas condições de referência são muito particulares, estando definidas no ponto 4 do Anexo IX do regulamento. Mas, segundo Rodrigues *et al.* (2009) são indicadoras do que o RCCTE considera como sendo de qualidade média ou aceitável. São elas (exemplificadas para as localizações em estudo):

- Coeficiente U máximo para as paredes de $0,70\text{W/m}^{20}\text{C}$, em Lisboa e Évora, e de $0,50\text{W/m}^{20}\text{C}$, em Bragança;
- Coeficiente U máximo para elementos horizontais de $0,50\text{W/m}^{20}\text{C}$, em Lisboa e Évora, e de $0,40\text{W/m}^{20}\text{C}$, em Bragança;
- Coeficiente U máximo para os envidraçados de $4,30\text{W/m}^{20}\text{C}$, em Lisboa e Évora, e de $3,30\text{W/m}^{20}\text{C}$, em Bragança;
- Factor solar máximo de vãos envidraçados de 0,20, em Lisboa e Bragança, e de 0,15, em Évora, nas mesmas condições do valor máximo regulamentar;
- A cobertura deve ser de cor clara;
- A área total dos vãos envidraçados não pode exceder 15% da área útil de pavimento (facto que já é constante do projecto de Arquitectura do HEXA – 14,7%);
- A inércia térmica do edifício tem que ser média ou forte.

Aproveita-se, também para colocar o isolamento térmico necessário, quer pelo exterior (Solução B1), quer pelo interior (Solução B2), medindo-se pelo RCCTE, quer a diferença no efeito real das pontes térmicas lineares, quer o efeito em termos de inércia térmica (uma das soluções passivas a adoptar é a colocação do isolamento térmico pelo exterior).

Neste momento, ter-se-á uma habitação de referência segundo o RCCTE, que será analisada em termos de necessidades energéticas e comparada com a *Passivhauss*.

Para diminuir as perdas através da ventilação natural, recorre-se a janelas de classe de permeabilidade ao ar A3 (mais estanques) e a aberturas auto-reguláveis que cumpram as

disposições do RCCTE (Solução C). Esta solução será adicionada à melhor situação entre B1 e B2, que se constatou ser B1.

Neste momento, passa-se a ter uma habitação com todos os parâmetros recomendados regulamentarmente.

Como foi referido, a cor inicial do edifício é escura, já que é a situação mais gravosa na situação de Verão. Para contemplar a melhoria em termos de desempenho dos ganhos adquiridos com a introdução de um revestimento claro, passa-se à Solução D – cor clara.

Para um aumento da eficiência do edifício, estuda-se de seguida uma solução com vidro duplo e com uma caixilharia com um bom desempenho térmico, de modo a avaliar quais as melhorias verificadas com este procedimento (Solução E1).

A Solução E1 pretende ser uma tipologia de envidraçado comum, e por isso recorre a valores da ITE-50 e das tabelas do RCCTE. Para introduzir soluções mais eficientes, recorreu-se aos valores dos fabricantes, sendo que o cálculo dos vários factores dos envidraçados foi realizado a partir do *software Window 5*.

Este software foi produzido pelo *US Department of Energy*, sendo uma ferramenta de apoio ao *Energyplus*, já referenciado no subcapítulo anterior.

Nesta análise recorre-se a dois tipos de janelas distintos: vidro termorreflector (melhor desempenho no Verão, mas com menores ganhos solares no Inverno) e vidro de isolamento térmico reforçado (com menores perdas no Inverno, mas sem grande impacte no Verão), sendo respectivamente denominados de E2 Ver e E2 Inv.

A próxima solução recorre à introdução de uma pala na fachada Sul, com a profundidade da varanda já existente, o que melhora o sombreamento na estação de arrefecimento (Solução F).

Esta solução (F), divide-se em duas soluções, uma que recorre ao melhoramento da Solução E1 (prática comum – F-E1), a outra será aplicada à Solução E2-i mais favorável (F-E2 i), que será ponderada caso a caso. Torna-se, de novo, a avaliar o desempenho térmico, verificando o desfazamento face aos máximos previstos na Norma *Passivhaus*.

O passo seguinte prende-se com a utilização do dobro do isolamento térmico, aplicado no exterior da parede e da cobertura, para que se tenha um coeficiente U substancialmente mais reduzido, aproveitando-se, também toda a massa térmica dos paramentos da envolvente (Solução G).

Neste ponto, é expectável que os consumos sejam substancialmente mais reduzidos. Posteriormente, avalia-se a utilização real de uma Parede de Trombe (não ventilada) de grandes dimensões situada na fachada Sul (Solução H).

Mesmo que, comparativamente com o documento de referência, não seja necessária a sua adopção, vão ser estudados quais os seus impactos na estação de aquecimento. Nesta abordagem, usar-se-á a simplificação descrita no RCCTE (já abordada), comparando-a com os dados da simulação energética utilizada no *software Energyplus*.

Por último, nos casos referentes ao último piso e à vivenda, foi hipótese inicial a introdução de uma cobertura ajardinada (Solução I), também simulada no *Energyplus*, para verificar qual o impacto desta solução passiva em termos energéticos. No entanto, devido ao exposto posteriormente, teve de se abdicar desta hipótese.

No final desta análise, adicionam-se outras medidas estudadas caso a caso, que se ajustam melhor a cada tipologia construtiva e a cada localização climática, e que são, por isso, apenas descritas nos capítulos seguintes.

Em termos de medidas activas, será analisada a potencial redução dos consumos de AQS recorrendo a sistemas solares, o impacte no consumo global do restante consumo de operação e uma utilização racional das energias renováveis, quer para climatização, quer para microgeração.

No que respeita à climatização, estuda-se caso a caso a necessidade de recurso ao pavimento radiante na situação de Inverno, sistema adequado ao clima nacional e cujo uso é também proposto pela própria Norma *Passivhauss*.

Notas:

- Na Norma *Passivhauss* sugere-se a utilização de coeficientes de transmissão térmica para as paredes e para a cobertura de 0,32 e 0,23 W/m²C, baseados num caso de estudo, mas não sugere a implementação de uma Parede de Trombe. Por isso, neste trabalho não se dá tanto ênfase a estes dois valores, avaliando-se sim os valores propostos pelo RCCTE e outros mais exigentes, cujos valores poderão ou não cumprir as recomendações da *Passivhauss*.

5. Resultados

5.1. Introdução

Estando descrita a metodologia a cumprir em termos estratégicos, neste capítulo são expostas as soluções adoptadas caso a caso, quantificando-se, os seus parâmetros.

Os resultados pormenorizados, por serem muito numerosos encontram-se documentados nos Anexos III a VI, tal como se explicará no decorrer deste capítulo.

Nota: No Anexo VII encontra-se um exemplo das fichas de cálculo do RCCTE, referentes à Solução A do último piso do edifício multifamiliar. Todas as restantes fichas só se encontram no cd anexo a esta dissertação, dada a sua grande extensão em número de páginas.

5.2. Lisboa

Determinada a zona climática em que se encontra o edifício, I₁-V₂S, ficam determinadas as exigências a respeitar. Segundo Gonçalves e Graça (2004), numa localização deste tipo devem ser adoptadas as medidas bioclimáticas constantes do Quadro 5-1.

Quadro 5-1 – Estratégias Bioclimáticas para a zona I₁V₂ (adaptado de Gonçalves e Graça, 2004)

Zona climática	Estratégias Bioclimáticas	Sistemas Passivos
Inverno	Promover ganhos solares	Paredes de Trombe Vãos envidraçados adequados
	Restringir perdas por condução	Isolamento Térmico
	Promover a inércia térmica forte	Paredes com grande massa
Verão	Restringir ganhos solares	Sombreamentos eficazes
	Restringir ganhos por condução	Isolamento térmico
	Ventilação	Natural e cruzada (nocturna) Tubos enterrados (diurna)
	Promover a inércia térmica forte	Paredes com grande massa

Posto isto, passa-se de seguida a descrever as diferentes soluções utilizadas, nas quais se procuraram introduzir estas medidas, e cuja nomenclatura base se encontra enunciada no capítulo 4.

Excluiu-se a ventilação com a circulação do ar através de “tubos enterrados” pelo facto de serem uma solução tecnicamente pouco viável em edifícios multifamiliares.

Solução A

A primeira solução procura reproduzir a construção menos exigente possível, pelo que se utilizaram as seguintes soluções construtivas, resumidas no Quadro 5-2.

Quadro 5-2 - Descrição dos parâmetros utilizados na Solução A de Lisboa

Solução	Valor quantitativo	Máximos regulamentares
Parede exterior	$U = 0,96 \text{ W/m}^{20}\text{C}$ $\alpha = 0,8$ (cor escura) $M_{si} = 140 \text{ kg/m}^2$	$U < 1,80 \text{ W/m}^{20}\text{C}$
Cobertura corrente	$U_{Inv} = 0,83 \text{ W/m}^{20}\text{C}$ $U_{Ver} = 0,78 \text{ W/m}^{20}\text{C}$ $M_{si} = 150 \text{ kg/m}^2$ ($m_i=883,75 \text{ kg/m}^2$) $\alpha = 0,8$ (cor escura)	$U_{Inv} < 1,25 \text{ W/m}^{20}\text{C}$
Cobertura I.S.	$U_{Inv} = 0,69 \text{ W/m}^{20}\text{C}$ $U_{Ver} = 0,63 \text{ W/m}^{20}\text{C}$ $M_{si} = 150 \text{ kg/m}^2$ ($m_i=902,5 \text{ kg/m}^2$) $r=0,5$ (gesso cartonado) $\alpha = 0,8$ (cor escura)	$U_{Inv} < 1,25 \text{ W/m}^{20}\text{C}$
Parede para LNA de Betão	$U = 0,75 \text{ W/m}^{20}\text{C}$	$U < 2,00 \text{ W/m}^{20}\text{C}$
Parede para LNA de Alvenaria	$U = 0,88 \text{ W/m}^{20}\text{C}$	$U < 2,00 \text{ W/m}^{20}\text{C}$
PTP em betão	$U = 0,79 \text{ W/m}^{20}\text{C}$	$U < 1,80$ ($1,80 < 2 \times 0,96$)
Porta de entrada	$U = 2,07 \text{ W/m}^{20}\text{C}$	-
Inércia térmica	Forte	-
Envidraçados	$g_{\perp v} = 0,85$ $g'_{\perp} = 0,54$ $U = 5,2 \text{ W/m}^{20}\text{C}$	$g'_{\perp} < 0,56$
Sombreamento pela varanda ⁽¹⁾	$F_{o,Inv} = 0,632$ ($\alpha=40^\circ$) $F_{o,Ver} = 0,577$ ($\beta=40^\circ$) $F_{f,Inv} = 0,9$ ($\alpha=40^\circ$) $F_{f,Ver} = 0,89$ ($\beta=40^\circ$)	-
Orientação Solar	N(Cozinha) – S(Sala)	-

⁽¹⁾ – Na vivenda não foi considerada a existência desta pala.

Resumidamente, estes valores foram obtidos recorrendo a paredes exteriores duplas de alvenaria de tijolo 11+15, os elementos em betão armado são todos eles isolados com 3 cm de XPS (lajes, pontes térmicas planas e paredes de betão). Os envidraçados são simples, de correr com caixilharia em alumínio sem corte térmico e com uma cortina interior opaca de cor escura.

A cobertura da instalação sanitária tem um coeficiente de transmissão térmica bastante inferior, já que contém uma caixa-de-ar de 27 cm, conseguida por intermédio de um tecto falso em gesso cartonado hidrofugado.

Em termos de sombreamentos provocados pelo horizonte, considerou-se que o último piso contém um edifício da mesma altura a uma distância igual à sua altura (regra dos 45° - RGEU); o piso intermédio tem um ângulo de sombreamento do horizonte de 45° – pior situação regulamentar; na vivenda utilizaram-se os 20° propostos pelo regulamento para localizações em ambiente rural.

Quanto à ventilação natural, como o último piso se localizava na região A, com rugosidade do tipo I e a uma cota superior a 18 m, tem uma classe de exposição ao vento 2, logo pela NP EN 1037-1, a mínima classe de permeabilidade da caixilharia é a classe 2, logo $RPH=0,80 \text{ h}^{-1}$.

No caso do piso intermédio, como a cota é inferior a 18 m, a classe de exposição é 1, logo a mínima classe de caixilharia é a classe 1, pelo que RPH se mantém igual a $0,80 \text{ h}^{-1}$.

Na vivenda a classe de exposição ao vento é a classe 2, devido à rugosidade do terreno que é do tipo II, o que implica que RPH seja de $0,80 \text{ h}^{-1}$.

No caso da vivenda, há, ainda, a considerar a parcela das perdas de calor pelo pavimento em contacto com o solo. Como não há imposições regulamentares a este nível, optou-se por não o isolar perimetralmente, facto que gera um coeficiente Ψ de $1,40 \text{ W/m}^2\text{C}$.

Solução B

Nesta solução utilizaram-se os valores de referência propostos pelo RCCTE para Lisboa, estando dividida em duas soluções, consoante o isolamento térmico se encontre no exterior (B1) ou no interior (B2), pelo que se recorreu às seguintes alterações da solução anterior (Quadro 5-3):

Quadro 5-3 - Descrição dos parâmetros utilizados na Solução B de Lisboa

Solução	Valor quantitativo	Valor de referência
Parede exterior (B1)	$U = 0,67 \text{ W/m}^2\text{C}$	$U < 0,70 \text{ W/m}^2\text{C}$
Parede exterior (B2)	$U = 0,64 \text{ W/m}^2\text{C}$	$U < 0,70 \text{ W/m}^2\text{C}$
Cobertura corrente (B1 e B2)	$U_{\text{Inv}} = 0,50 \text{ W/m}^2\text{C}$ $U_{\text{Ver}} = 0,48 \text{ W/m}^2\text{C}$ $\alpha = 0,4$ (cor clara)	$U_{\text{Inv}} < 0,50 \text{ W/m}^2\text{C}$ $\alpha = 0,4$ (cor clara)
Cobertura I.S. (B1 e B2)	$U_{\text{Inv}} = 0,44 \text{ W/m}^2\text{C}$ $U_{\text{Ver}} = 0,42 \text{ W/m}^2\text{C}$ $\alpha = 0,4$ (cor clara)	$U_{\text{Inv}} < 0,50 \text{ W/m}^2\text{C}$ $\alpha = 0,4$ (cor clara)
Parede para LNA de Betão (B1)	$U = 0,84 \text{ W/m}^2\text{C}$	$U < 1,40 \text{ W/m}^2\text{C}$
Parede para LNA de Betão (B2)	$U = 0,78 \text{ W/m}^2\text{C}$	$U < 1,40 \text{ W/m}^2\text{C}$
Parede para LNA de Alv. (B1)	$U = 0,63 \text{ W/m}^2\text{C}$	$U < 1,40 \text{ W/m}^2\text{C}$
Parede para LNA de Alv. (B2)	$U = 0,60 \text{ W/m}^2\text{C}$	$U < 1,40 \text{ W/m}^2\text{C}$
PTP em betão (B1)	$U = 0,91 \text{ W/m}^2\text{C}$	$U < 1,34 \text{ W/m}^2\text{C}$ (=2x0,67)
PTP em betão (B2)	$U = 0,83 \text{ W/m}^2\text{C}$	$U < 1,28 \text{ W/m}^2\text{C}$ (=2x0,64)
PTP caixa de estore (B1)	$U = 0,95 \text{ W/m}^2\text{C}$	$U < 1,34 \text{ W/m}^2\text{C}$ (=2x0,67)
PTP caixa de estore (B2)	$U = 0,88 \text{ W/m}^2\text{C}$	$U < 1,28 \text{ W/m}^2\text{C}$ (=2x0,64)
Envidraçados (B1 e B2)	$g'_{\perp} = 0,19$	$g'_{\perp} < 0,20$
Inércia térmica (B1 e B2)	Forte	Média ou Forte

Como nota adicional, verifica-se que a inércia térmica se manteve forte em ambos os casos (B1 e B2), sendo que todos os elementos aqui não referidos se mantiveram iguais à solução base.

Para se obterem estes valores, recorreu-se a 3 cm de isolamento térmico em EPS (ETIC mais comum) nas paredes, sendo que as paredes em alvenaria foram substituídas por um tijolo de 22 cm, em vez de 11+15.

Repara-se, também, que os valores dos coeficientes U das paredes da Solução B2 são ligeiramente inferiores aos da Solução B1, porque, como o isolamento térmico é realizado pelo interior, recorreu-se a um forro cerâmico de 4 cm.

Na cobertura o isolamento térmico passou a ser de 6 cm em XPS.

Relativamente aos vãos envidraçados, recorreu-se a um vidro com um coeficiente U de $4,3\text{W/m}^{20}\text{C}$, correspondente ao valor de referência do RCCTE, mantendo-se a janela de correr em alumínio sem corte térmico e recorrendo a uma lona exterior pouco transparente de cor escura.

A introdução da lona exterior introduz uma caixa de estore, pelo que existe um agravamento do valor de RPH em $0,10\text{ h}^{-1}$ em cada uma das tipologias analisadas.

Relativamente ao valor do coeficiente de transmissão térmica, para o vão envidraçado descrito, o valor deveria ser de $4,8\text{ W/m}^{20}\text{C}$. Porém, estipulou-se que o vidro utilizado teria uma resistência térmica ligeiramente superior ao vidro comum, para avaliar a solução de referência.

Quanto às perdas de calor pelo pavimento em contacto com o solo no caso da vivenda, optou-se por introduzir um isolamento térmico com uma resistência térmica superior a $0,5\text{m}^{20}\text{C/W}$, por forma a obter o menor valor de Ψ indicado no regulamento – $1,20\text{ W/m}^{0}\text{C}$.

Solução C

Esta terceira solução pretende analisar quais as consequências de aplicação das recomendações do RCCTE para as aberturas auto-reguláveis. Ao mesmo tempo, recorre-se a uma caixilharia de classe de permeabilidade ao ar A3 (segundo a EN 12207), aumentando-se a estanquidade da fracção autónoma.

Porém, tal como também se passou no ponto anterior, ao introduzir as caixas de estore, houve um acréscimo de $0,10$ renovações horárias. Mesmo assim, com as melhorias introduzidas, conseguiu-se uma ligeira melhoria no valor de RPH, que passou a ser de $0,75\text{ h}^{-1}$, para o último piso e para a vivenda, e de $0,60\text{ h}^{-1}$ para o piso intermédio.

Note-se que, embora, não sendo o valor mínimo proposto pelo RCCTE, é inferior ao valor proposto pela Norma *Passivhaus*, o que gera, neste aspecto, uma solução mais exigente do que a proposta por este documento de referência.

Solução D

Para minorar a absorção solar no Verão, as paredes exteriores foram pintadas de branco, pelo que o seu coeficiente de absorção solar passou a ser de $0,4$.

Solução E

Tal como foi referido no capítulo 4, a primeira solução de vãos envidraçados a testar (E1) recorre a uma solução comum de vidro duplo: vidro duplo com sombreamento exterior em estore veneziano. Deste modo adoptaram-se os valores presentes nos quadros do RCCTE e no documento ITE-50.

Nesse mesmo capítulo reportaram-se mais dois envidraçados duplos a testar, um termorreflector e um envidraçado com isolamento térmico reforçado, E2 Inv e E2 Ver, cujos valores foram calculados recorrendo à base de dados do programa *Window 5*, segundo as tipologias comerciais mais comuns.

Relativamente aos caixilhos, foi adoptada a solução que é termicamente mais favorável, correspondente a uma caixilharia plástica em PVC.

Assim sendo, resumem-se no Quadro 5-4 as propriedades relevantes dos envidraçados em análise:

Quadro 5-4 - Envidraçados utilizados na Solução E

Solução ⁽¹⁾	Factor solar	U (W/m ² C)
E-1	0,75 ⁽¹⁾	2,70 ⁽¹⁾
E-2-Inv	0,56 ⁽²⁾	1,56 ⁽²⁾
E-2-Ver	0,35 ⁽²⁾	1,76 ⁽²⁾

⁽¹⁾ – Segundo o RCCTE e a publicação ITE-50

⁽²⁾ - Média ponderada das janelas, que são calculadas individualmente pelo programa *Window 5*

Solução F

Após analisados os resultados das soluções anteriores (constantes do Anexo III), verificou-se que a solução que recorre a um envidraçado termorreflector não é vantajosa para o clima em causa, pelo que se eliminou o seu estudo nesta solução e nas futuras.

Posto isto, a Solução F avalia, para o envidraçado E1 e para o envidraçado E2 Inv, o impacte da aplicação de uma pala de sombreamento a Sul em toda a fachada com a profundidade da pala da varanda.

Solução G

Tendo-se verificado que os resultados da Solução F não são vantajosos, por diminuir substancialmente os ganhos solares pelos envidraçados no Inverno (Anexo III), nesta solução e nas futuras não se aplica qualquer pala de sombreamento, com excepção da já existente na varanda.

Assim, quer para o envidraçado E1, quer para o envidraçado E2 Inv aplicou-se o dobro do isolamento térmico, quer na cobertura, quer nas paredes, tendo-se obtido os seguintes coeficientes de transmissão térmica: $U_{\text{parede exterior}} = 0,45 \text{ W/m}^2\text{C}$; $U_{\text{parede LNA, betão}} = 0,52 \text{ W/m}^2\text{C}$; $U_{\text{parede LNA, alvenaria}} = 0,43 \text{ W/m}^2\text{C}$; $U_{\text{PTP, caixa estore}} = 0,77 \text{ W/m}^2\text{C}$; $U_{\text{PTP, viga e pilar, exterior}} = 0,54 \text{ W/m}^2\text{C}$; $U_{\text{PTP, viga e pilar, interior}} = 0,52 \text{ W/m}^2\text{C}$; $U_{\text{cobertura geral, Inv}} = 0,275 \text{ W/m}^2\text{C}$; $U_{\text{cobertura geral, Ver}} = 0,270 \text{ W/m}^2\text{C}$; $U_{\text{cobertura IS, Inv}} = 0,260 \text{ W/m}^2\text{C}$; $U_{\text{cobertura IS, Ver}} = 0,250 \text{ W/m}^2\text{C}$.

Solução H

No projecto de Arquitectura está prevista uma grande área de parede de Trombe (não ventilada) na fachada Sul, que será testada recorrendo à simplificação regulamentar e ao programa de simulação *Energyplus 4.0*.

Esta parede de Trombe é composta por um vidro duplo com caixilharia em PVC, uma caixa-de-ar de 2 cm, 20 cm de betão pintados de preto e com uma massa volúmica de 2100 kg/m^3 . É estucada interiormente para promover a continuidade estética com a parede confinante.

No Verão, esta parede é sombreada a 100% por um estore veneziano igual ao proposto para os restantes envidraçados, promovendo uma integração arquitectónica deste dispositivo.

Variantes da Solução H

Os resultados da Solução H apontam para um grande melhoramento das necessidades energéticas no Inverno, acompanhado de um agravamento substancial das necessidades de arrefecimento (ver Anexo III).

Como tal, introduziram-se algumas variantes a esta mesma solução para tentar minorar os efeitos negativos na situação de Verão, mantendo os efeitos positivos decorrentes da utilização da Parede de Trombe no Inverno. São elas:

- H-Ei+P – Introdução de uma pala superior horizontal de sombreamento com uma profundidade de 1,5 m.
- H-Ei SJ – Solução teórica, em que se retira a janela da Parede de Trombe em situação de Verão. Não se trata de uma impossibilidade, já que segundo Tirone e Nunes (2007) tem de se permitir retirar a janela para situações de limpeza. No caso da vivenda, esta situação apenas requer um local para guardar a janela durante o Verão. No caso do edifício multifamiliar, esta solução parece ser mais complexa, já que o edifício necessitaria de um dispositivo para o efeito e seria necessário um espaço muito superior para o armazenamento deste grande número de janelas.
- H-Ei II – Substituição da Parede de Trombe existente por uma com metade da sua área, acompanhada de um reforço de 3 cm do isolamento térmico das paredes da envolvente.

Dados os resultados muito gravosos obtidos para o Verão na Solução H do piso intermédio, não foram sequer testadas estas variantes.

Águas quentes sanitárias

Por forma a estudar a influência da introdução de 1 m² de colectores solares por utilizador, estudaram-se as seguintes soluções:

- AQS-1 – Produção de AQS sem recorrer a sistemas solares;
- AQS-2 – Produção de AQS recorrendo a 0,5 m² de sistemas solares por utilizador;
- AQS-3 – Produção de AQS recorrendo a 1 m² de sistemas solares por utilizador;
- AQS-4 - Produção de AQS recorrendo a 1,5 m² de sistemas solares por utilizador;
- AQS-5 – Produção de AQS recorrendo a 2 m² de sistemas solares por utilizador.

Foram também estudados dois sistemas diferentes, consoante se trata do edifício unifamiliar (vivenda) ou do edifício multifamiliar.

De facto, segundo Aguiar *et al.* (2010), no caso das vivendas, é comum a utilização de um sistema do tipo “kit” (Figura 5.1), em que os componentes colector, permutador de calor e depósito estão todos integrados, e por isso são ensaiados em conjunto. Nos restantes edifícios, é mais favorável usar sistemas com depósito (Figura 5.2).

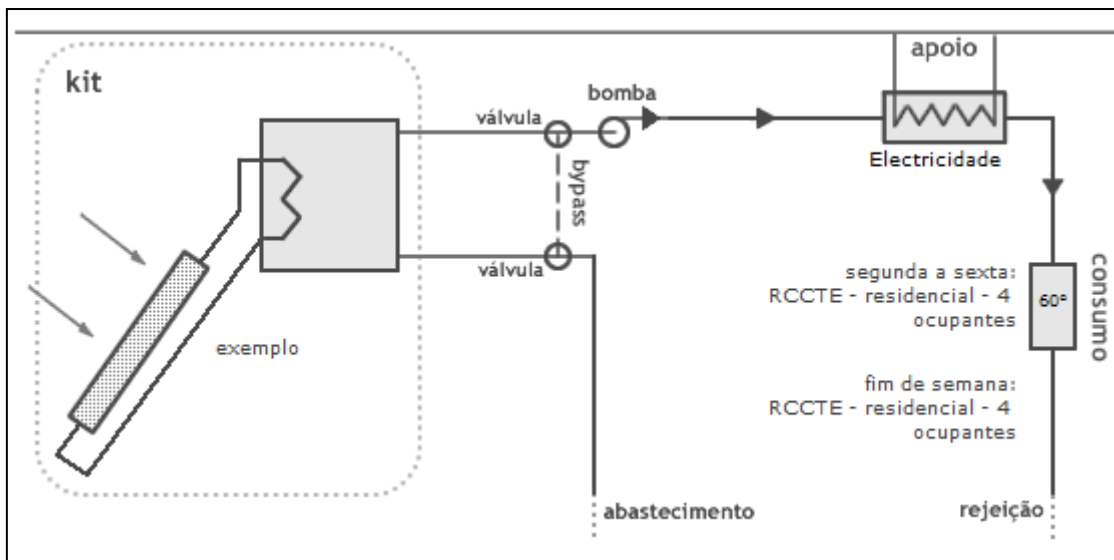


Figura 5.1 – Exemplo de um sistema tipo “kit” (fonte: Solterm 5.1.3)

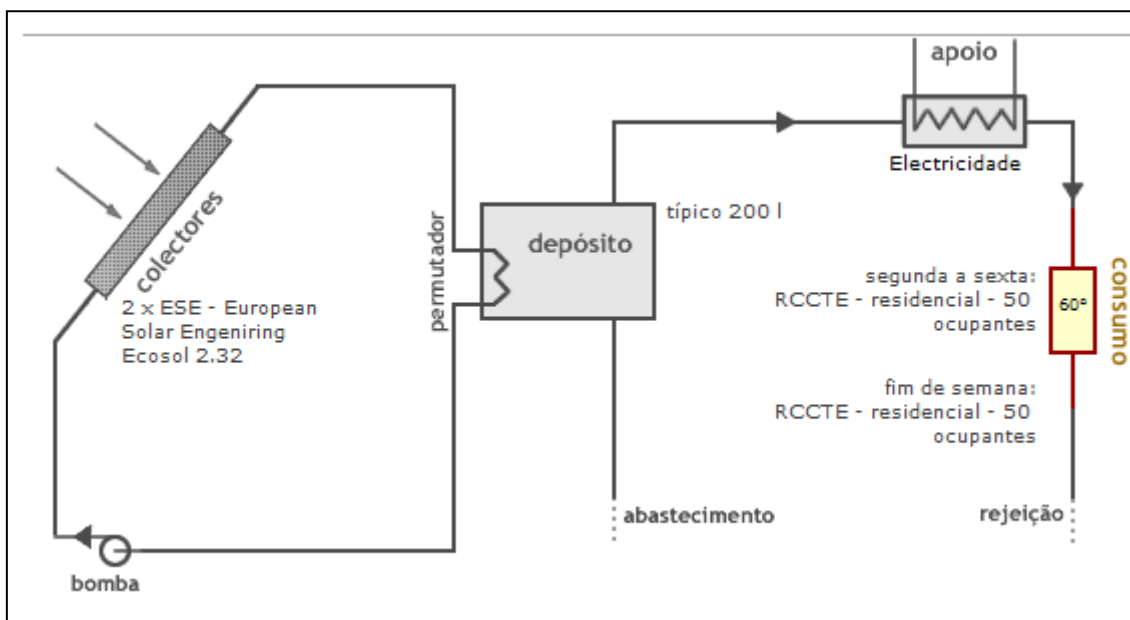


Figura 5.2 - Exemplo de um sistema com depósito (fonte: Solterm 5.1.3)

Todos os componentes utilizados foram retirados da base de dados do *software Solterm 5.1.3*. Não sendo intuito desta tese comparar modelos de vários fabricantes, optou-se por utilizar “kits” do tipo “exemplo”, em que cada um é caracterizado por ter 2 m² de área colectora solar, uma potência nominal de 1,4 kW e um depósito com 200 L.

Da mesma forma, no sistema com depósito utilizaram-se colectores solares padrão com 2m² de área de absorção solar, uma eficiência óptica de 0,69, 1,4 kW de potência nominal e constantes a_1 e a_2 respectivamente iguais a 7,5 W/m².K e 0,0140 W/m².K².

Por se ter que abastecer 12 T3 e uma loja, optou-se por utilizar um depósito/permutador de 3000 L, com perdas térmicas de 16,7 W/K, com permutador interno do tipo serpentina e uma eficácia de 55%.

O sistema de apoio considerado foi sempre a electricidade (termoacumulador eléctrico com uma eficiência de 0,90), por forma a que seja possível alimentá-lo através de energias renováveis, de acordo com a simplificação proposta relativa ao *mix* energético nacional.

Para todos os restantes valores, utilizaram-se as sugestões do programa, tendo-se recorrido a uma optimização da inclinação de cada um dos sistemas, por forma a maximizar a fracção solar de cada sistema.

Como consumos, adoptaram-se as considerações do programa *Solterm* para as condições do RCCTE. Não sendo possível contemplar a loja e as restantes fracções autónomas residenciais em simultâneo (a opção está bloqueada pelo programa), substituiu-se a loja por um T2, facto que leva a um consumo superior em 20 L do que o de projecto (um T2 consome 120 L/dia e a loja consome 100L/dia) – opção conservativa.

Salienta-se, também, que para efeitos regulamentares, o *Solterm* estipula que o consumo de AQS é considerado globalmente concentrado entre as 17-18h, para que seja possível obter o maior uso possível da energia solar.

No entanto, e como esta opção pode não representar o padrão de consumo da população, foram adoptados três padrões de consumo distintos: o do RCCTE previsto pelo *Solterm* (I); um segundo em que 50% da AQS é consumida entre as 7-8h e a restante entre as 17-18h (II); e um terceiro em que a totalidade das AQS é consumida entre as 7-8h.

Restante consumo de operação

No cálculo desta parcela do consumo energético global da fracção autónoma, recorreu-se ao padrão de consumo estipulado no capítulo 4, que como foi enunciado, não se baseou em nenhum estudo estatístico, devendo ser entendido como uma análise exemplificativa, pese embora o facto de ter sido realizado com base numa prática expectável de consumo.

Para a realização deste cálculo é, também, necessário o conhecimento da potência dos equipamentos a instalar. Neste intuito, utilizou-se a banda de potência dos diversos equipamentos proposta no programa *RETSscreen*, actualizada com os valores existentes no mercado nacional.

Esta actualização foi realizada recorrendo à base de dados do Programa P3E (disponível em equipamentos.p3e-portugal.com) e a uma consulta nos próprios locais de venda directa ao público.

A partir desta análise, elaboraram-se dois tipos de consumo, um que recorre à potência mais comum dos aparelhos existentes no mercado (base) e um segundo que procura simular uma habitação equipada com aparelhos muito eficientes (eficiente).

Deste modo, apresenta-se de seguida o Quadro 5-5, que resume as potências de cálculo dos vários aparelhos para as duas situações descritas:

Quadro 5-5 - Potências dos aparelhos utilizados para o cálculo do restante consumo de operação

Aparelho	Potência base (W)	Potência eficiente (W)
Aspirador	2000	1200
Computador ⁽¹⁾	200	50
Ferro de engomar	2400	1600
Fogão ⁽²⁾	7000	6500
Forno	3000	2300
Microondas	900	750
Máquina lava-loiças ⁽³⁾	700	600
Máquina lava-roupa ⁽³⁾	2600	1700
Máquina de secar-roupa ⁽⁴⁾	2300	-
Leitor de DVD	14	14
Rádio relógio	10	5
Secador de cabelo	2000	1600
Torradeira	1000	750
TV	100	60
Frigorífico ⁽⁵⁾	46,7	16,3
Arca congeladora ⁽⁵⁾	60	32,4
Lâmpadas ⁽⁶⁾	12	2
Outros	-	-

⁽¹⁾ – Foi avaliada a passagem de computador de torre para computador portátil.

⁽²⁾ – Para além da redução da potência, estipulou-se que o utilizador passa a ter uma utilização mais racional do fogão (não utiliza sempre a potência máxima), passando-se para uma percentagem de utilização 50%, em vez de 60%.

⁽³⁾ – O consumo dos aparelhos é dado pela energia consumida pelo ciclo de lavagem, logo a potência de cálculo foi obtida dividindo o consumo por ciclo pelo tempo de ciclo estipulado – 0,5 h na máquina de lavar a roupa e 1,5 h na máquina de lavar a loiça.

⁽⁴⁾ – Eliminou-se a máquina de secar roupa, considerando-se que a roupa seca ao Sol, num local próprio do edifício.

⁽⁵⁾ – As potências foram obtidas dividindo o consumo anual referido na etiqueta energética pelo número de horas anuais, para que na metodologia de cálculo se possa introduzir a potência efectiva que gera o consumo previsto (a potência real do aparelho é superior, mas como se considerou que este se encontra sempre a funcionar, o que é não é verdade, teve que se adoptar esta simplificação).

⁽⁶⁾ – Foi avaliada a passagem de lâmpadas de baixo consumo fluorescentes de 12 W para lâmpadas do tipo LED com uma potência de 2 W.

Classes energéticas

Para avaliar o impacto das várias medidas, passivas e activas, na classe energética final do edifício, avaliaram-se quatro soluções em cada tipologia, a solução inicial (Solução A), que não recorre a uma construção sustentável, a primeira solução regulamentar a seguir à Solução A, uma solução intermédia (Solução G mais eficiente) e a solução *Passivhaus*.

Em cada uma destas situações, analisou-se uma solução eficiente – que recorre a um termoacumulador eléctrico com $\eta_a=0,90$ e a uma bomba de calor com $\eta_i=4,00$ e $\eta_v=3,00$, e outra solução ineficiente – em que o termoacumulador eléctrico é caracterizado por ter $\eta_a=0,90$, tendo-se recorrido a uma solução teórica em que para aquecimento se utiliza uma resistência eléctrica ($\eta_i=1,00$) e para arrefecimento se recorre à pior solução regulamentar – máquina frigorífica de ciclo de absorção ($\eta_v=0,80$).

Como a Solução A pode reflectir um paradigma construtivo passado, na situação ineficiente não foi considerada a existência de qualquer colectador solar para produção de AQS.

Para este cálculo, utilizaram-se os resultados do RCCTE sempre que possível, por forma a que as classes obtidas fossem exactamente as que constam do SCE.

5.3. Bragança

As estratégias bioclimáticas para a zona I₃-V₂ só se diferenciam das utilizadas em Lisboa, pelo facto de se dar um ênfase maior à parcela dos ganhos de calor pela envolvente em situação de Inverno (Gonçalves e Graça, 2004).

Dadas as semelhanças estratégicas em relação à zona climática anterior, neste capítulo apenas se apresentam as diferenças de cada solução, quando comparadas com o descrito no subcapítulo anterior.

Solução A

Relativamente a Lisboa, as limitações impostas pelo RCCTE só diferem nos coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis. No entanto, como os valores adoptados, quer para as paredes, quer para as coberturas, ainda se situavam abaixo destes limites, foram utilizadas as mesmas soluções construtivas.

Solução B

As condições de referência para uma zona climática I₃-V₂N impõem coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente mais exigentes. No entanto, verificou-se que os valores adoptados para as soluções construtivas em contacto com locais não aquecidos já respeitavam estes mesmos limites, pelo que se mantiveram iguais às da Solução B de Lisboa.

Foram efectuadas alterações nas paredes exteriores, que passaram a ter um coeficiente U de 0,45W/m²°C (B1) e de 0,43 W/m²°C (B2), o que obrigou a uma correcção diferente das pontes térmicas planas (pilar e viga em B1: U=0,54 W/m²°C; pilar e viga em B2: U=0,51W/m²°C; caixa de estore em B1: U=0,77 W/m²°C; caixa de estore em B2: U=0,72W/m²°C).

Também se alteraram os valores dos coeficientes de transmissão térmica das coberturas, passando-se a ter o seguinte: U_{cobertura geral, Inverno} = 0,39 W/m²°C; U_{cobertura geral, Verão}=0,38 W/m²°C; U_{cobertura IS, Inverno} = 0,36 W/m²°C; U_{cobertura IS, Verão} = 0,34 W/m²°C.

Estes valores foram obtidos recorrendo a 6 cm de ETIC em EPS nas paredes referidas e recorrendo a 8 cm de XPS na cobertura.

Quanto aos envidraçados, o RCCTE recomenda a utilização de um coeficiente de transmissão térmica máximo de 3,30 W/m²°C. Este facto obrigou a introdução de um vidro duplo de correr com uma caixa-de-ar de 16 mm, o que para a protecção solar utilizada (lona exterior) origina um U de 3,30 W/m²°C (segundo a publicação ITE-50 do LNEC).

Este facto introduziu uma alteração do factor solar, quer no Inverno, que passou a ser de 0,63 (com cortina interior muito transparente), quer no Verão, passando a ser de 0,365.

Soluções C, D, E e F

Nestas soluções não houve qualquer alteração face ao descrito na situação de Lisboa.

Solução G

Esta solução é caracterizada por se dobrar o isolamento térmico. No entanto, dado que os valores de Nic ainda se encontravam bastante longe do proposto na Norma *Passivhauss* (ver Anexo III), foram introduzidas outras variantes, tal como descrito no Quadro 5-6:

Quadro 5-6 - Variantes à Solução G em Bragança

Solução	Descrição	Coefficientes de transmissão térmica (W/m ² °C)
G-Ei	Dobro do isolamento térmico da Solução B	Parede exterior: 0,27 Parede Betão LNA: 0,52 Parede Alvenaria LNA: 0,43 PTP viga/pilar (ext): 0,30 PTP caixa estore (ext): 0,49 Cobertura geral (Inv): 0,21 Cobertura geral (Ver): 0,21 Cobertura IS (Inv): 0,20 Cobertura IS (Ver): 0,20
G-Ei II	Isolamento térmico das paredes para LNA da mesma espessura do que o utilizado nas paredes exteriores	Parede Betão LNA: 0,29 Parede Alvenaria LNA: 0,26 Restantes elementos: iguais a G-Ei
G-Ei III ⁽¹⁾	Isolamento térmico de 30 cm para todos os elementos da envolvente	Parede exterior: 0,12 Parede Betão LNA: 0,13 Parede Alvenaria LNA: 0,12 PTP viga/pilar (ext): 0,13 PTP caixa estore (ext): 0,13 Cobertura geral (Inv): 0,12 Cobertura geral (Ver): 0,12 Cobertura IS (Inv): 0,11 Cobertura IS (Ver): 0,11
G-Ei IV ⁽²⁾	Renovação horária teórica de 0,60 h ⁻¹	Iguais a G-Ei III

⁽¹⁾ – Solução comumente utilizada nos países com climas frios (Castro, 2010).

⁽²⁾ – Conseguida regulamentarmente ao cumprir-se a NP EN 1037-1 e ao não se introduzir um exaustor na cozinha.

No caso do piso intermédio, como já se cumpre o critério de 0,6 h⁻¹, a Solução G-E1 IV não existe. Para a vivenda, como não há locais não aquecidos, a Solução G-Ei II deixa de fazer sentido.

Por outro lado, dado o rigor do Inverno de Bragança, foi estudada a hipótese de introdução de paredes escuras na vivenda, que aumentam os ganhos solares pela envolvente opaca (só possível através do *software Energyplus*), passando-se a ter a Solução G-Ei V.

Solução H

A parede de Trombe (não ventilada) utilizada é em tudo idêntica à de Lisboa. A única diferença registada prende-se com a vivenda, que como os resultados da Solução G-E1 V se encontravam muito distantes dos objectivos da *Passivhauss* (ver Anexo III), só foi testada a Solução H-E2 Inv, não se avaliando a Solução H-E1.

Refira-se que as Paredes de Trombe (não ventiladas) são adicionadas à última Solução G-Ei analisada até então (por exemplo, no piso intermédio adicionam-se à Solução G-Ei III).

Águas quentes sanitárias, restante consumo de operação e classes energéticas

Atendendo a que a ocupação prevista dos fogos em análise é a mesma, também estes pontos são idênticos ao descrito para a situação de Lisboa.

5.4. Évora

Évora apenas se diferencia de Lisboa pelo facto do seu Verão ser o mais rigoroso das várias regiões climáticas do país, sendo pois, uma zona climática I₁-V₃S. Posto isto, face a Lisboa, Gonçalves e Graça (2004) dão maior importância à parcela de redução dos ganhos solares no Verão, do que ao aumento dos mesmos em situação de Inverno.

Como regulamentarmente, existem grandes semelhanças com Lisboa (trata-se do mesmo “tipo” de Inverno), só se registaram alterações no factor solar dos envidraçados com a protecção solar 100% activada nas soluções A e B (e consequentemente C e D).

Nas restantes soluções (E a H), como os vãos envidraçados já respeitam com alguma folga os valores de referência máximos admissíveis, tudo se manteve igual ao efectuado em Lisboa.

Assim, na Solução A utilizou-se uma cortina transparente de cor média, o que origina um factor solar com a protecção solar 100% activada de 0,48, sendo que para cálculo na estação de arrefecimento se utiliza o valor de 0,591 (segundo os dados do RCCTE).

Na Solução B, a protecção solar usada foi uma lona exterior pouco transparente de cor clara, facto que gera um factor solar com a protecção 100% activada de 0,14 e um valor de cálculo para a estação de Verão de 0,353 (segundo os dados do RCCTE).

Refira-se que, como não se cumpriram os 15 kWh/m².ano na situação de Inverno para as soluções H da vivenda, não foram testadas as variantes analisadas em Lisboa.

No tocante às AQS, ao consumo de operação e às classes energéticas, tudo se manteve igual às restantes soluções, por se tratarem das mesmas tipologias construtivas, mudando apenas a localização climática.

5.5. Resultados

Dada a extensão dos resultados obtidos e ao grande número de soluções estudadas, estes encontram-se nos Anexos III a VI, seguidamente listados, facto que também facilita a comparação entre os resultados das diferentes tipologias estudadas:

- Anexo III – Necessidades energéticas de climatização;
- Anexo IV – Necessidades energéticas de produção de AQS;
- Anexo V – Classes energéticas;
- Anexo VI – Restante consumo de operação.

Nota: Alguns dos resultados não se encontram descritos neste capítulo, pois são fruto da reflexão realizada na discussão de resultados, sendo, pois, devidamente apresentados nesse mesmo capítulo, no qual a introdução da sua justificação se torna mais perceptível do que se apresentada neste momento.

6. Discussão de resultados

6.1. Introdução

Uma vez obtidos os resultados das várias soluções, procede-se, neste capítulo, a uma análise detalhada dos mesmos por forma a discutir se o SCE, na vertente residencial, procura a quase neutralidade em energia, já anteriormente discutida.

Desta forma, inicia-se com um debate sobre a qualidade dos resultados obtidos para os valores de Nic e Nvc, por forma a validar os valores resultantes da simulação dinâmica.

De seguida, procede-se a uma análise em separado dos dados obtidos para as três diferentes zonas climáticas, comentando-se a sua adequabilidade face aos objectivos propostos.

Posteriormente, discutem-se as imposições regulamentares relativas à produção de AQS, o que conclui a análise das diferentes necessidades energéticas contempladas no RCCTE.

Posto isto, passa-se à análise das restantes componentes do SCE, sob o ponto de vista das classes energéticas obtidas para algumas das soluções em estudo.

Por último, o capítulo termina com os restantes consumos de operação e microgeração, não contemplados regulamentarmente, mas com um peso importante no ciclo de vida do edifício, avaliando-se o seu impacte no balanço energético total.

6.2. Necessidades energéticas de climatização

6.2.1. Validação dos resultados

Fazendo a análise da qualidade dos resultados obtidos, depreende-se que, de uma maneira geral, os valores de Nic calculados pela metodologia de cálculo regulamentar se encontram próximos dos valores determinados através da simulação que recorreu ao *software Energyplus 4.0*, ressalvando-se, contudo, algumas excepções.

O maior dos desvios obtidos verificou-se nas necessidades energéticas nominais de aquecimento em Bragança. No entanto, esta conclusão era já expectável, atendendo aos resultados de Silva *et al.* (2009a), que concluíram que, para as zonas climáticas I₃, o RCCTE induz resultados muito conservativos, tal como discutido no capítulo 2 desta tese.

Relativamente às duas restantes zonas climáticas, os resultados encontram-se muito próximos dos regulamentares, particularmente na região de Évora, na qual os desvios são quase sempre inferiores a 1 kWh/m².ano.

Refira-se, ainda, que existe uma diferença nas duas metodologias de cálculo no que concerne aos ganhos solares pela envolvente opaca. Enquanto que o RCCTE despreza conservativamente este efeito, o *Energyplus 4.0* considera-o.

Este efeito pode ser contemplado nos valores de Nic das soluções C1 (cor escura) e D1 (cor clara), que são iguais no RCCTE e diferentes no *Energyplus 4.0*. Como essa diferença é bastante substancial (sempre superior a 5 kWh/m².ano), verifica-se que esta medida tem um

impacto relevante nas necessidades energéticas de aquecimento, sendo o regulamento excessivamente conservativo quanto a este aspecto.

Este facto pode justificar os pequenos desvios face aos resultados regulamentares, mais perceptíveis na vivenda, já que tem uma superfície exterior muito superior à das restantes soluções construtivas. Deste modo, também tem mais ganhos de calor pela envolvente opaca, o que pode justificar o maior desvio, quando se compara com os desvios do edifício multifamiliar.

Para reforçar esta ideia, constata-se que a fracção autónoma com maior área de exposição a seguir à vivenda é o último piso do edifício multifamiliar, que tem desvios superiores aos registados no piso intermédio para o cálculo de Nic.

Neste último, dada a pequena área de envolvente opaca que possui, quase que não manifesta nenhuma diferença face aos valores regulamentares (em Lisboa e em Évora).

Quanto às necessidades energéticas nominais de arrefecimento, notam-se alguns desvios significativos, quando comparados com os cálculos efectuados segundo o regulamento, tendo-se encontrado várias possíveis razões para este mesmo fenómeno.

Em primeiro lugar, o próprio RCCTE, no início do seu Anexo V, refere que os valores de Nvc obtidos têm como principal objectivo poder comparar edifícios e não o cálculo preciso das necessidades de arrefecimento, facto que obriga ao uso de uma simulação dinâmica. Logo, é natural que os valores obtidos pelas duas formas de cálculo sejam diferentes.

Posteriormente, a metodologia de cálculo regulamentar considera que, para todo o país, o Verão é constituído por 122 dias (de 1 de Junho a 30 de Setembro). Ora, analisando as reais necessidades de arrefecimento dos vários edifícios, pode constatar-se que, tanto em Maio como em Outubro é comum a existência de dias com necessidades de arrefecimento, facto não contemplado regulamentarmente.

Por outro lado, quando se realiza uma simulação dinâmica detalhada, há um cálculo das trocas de calor por condução hora a hora, facto que é muito mais rigoroso do que adaptar um valor médio de temperatura média exterior, que depende apenas da zona climática em questão.

Ainda assim, para o último piso de Évora e de Lisboa os valores não se encontram muito distantes dos regulamentares, sendo sim de realçar a grande diferença observada em Bragança.

Neste último caso, nota-se um desvio não conservativo, facto que seria expectável, dados os baixos valores obtidos pelo RCCTE, que apontariam para um Verão muito pouco rigoroso, o que se verifica não ser verdadeiro atendendo aos resultados do Instituto Nacional de Meteorologia, no tocante à temperatura média do ar, temperatura máxima do ar e insolação (disponível na página da Internet <http://www.meteo.pt/pt/oclima>).

Para além disto, há também uma outra diferença na metodologia de cálculo utilizada nestes mesmos valores. Enquanto que no RCCTE se considera que as protecções solares estão 70 %

activadas, no *Energyplus 4.0* não é possível fazer esta adopção. Deste modo, teve que se adoptar um novo critério, no qual sempre que a temperatura exterior é igual ou superior a 27°C as protecções solares ficam activas a 100%.

Para avaliar a sensibilidade do modelo a este mesmo parâmetro, foram feitas, a título ilustrativo, novas simulações para a Solução E2 Inv do último piso do edifício multifamiliar, adoptando 28°C e 26°C, tendo-se obtido os valores constantes do Quadro 6-1:

Quadro 6-1 – Análise de sensibilidade no cálculo de Nvc para a Solução E2 Inv do último piso do edifício multifamiliar

Solução	Lisboa (kWh/m²)	Bragança (kWh/m²)	Évora (kWh/m²)
26°C ($\theta_i=25^\circ\text{C}$)	10,26	6,07	12,78
26°C (ASHRAE 55-2004)	0,40	0,79	1,27
28°C ($\theta_i=25^\circ\text{C}$)	12,01	6,84	14,32
28°C (ASHRAE 55-2004)	0,76	1,11	1,88
27°C ($\theta_i=25^\circ\text{C}$)	11,15	6,42	13,54
27°C (ASHRAE 55-2004)	0,54	0,92	1,54

A partir desta análise depreende-se que, apesar das diferenças de consumos, uma variação de 1°C não provoca uma grande diferença das necessidades energéticas, de onde se induz que os resultados não se encontram afectados de um erro decorrente desta mesma adopção.

Para além disso, o Quadro 6-1 permite concluir que dependendo do funcionamento das protecções solares realizado pelos utilizadores, assim dependem as necessidades energéticas de arrefecimento.

Este facto realça a importância de uma adequada motivação dos utentes para um uso correcto dos dispositivos passivos ao seu dispor, por forma a obterem as melhores condições interiores de conforto, motivo de que foi alvo o estudo de Mello (2008).

Verificou-se, também, uma diferença significativa nos valores das necessidades de arrefecimento referentes ao piso intermédio, que pode ser justificada pelas opções de cálculo adoptadas para o edifício adjacente.

Com efeito, no RCCTE os elementos em contacto com edifícios adjacentes são afectados de um coeficiente de redução de perdas (τ) de 0,6. Não se podendo realizar esta hipótese, considerou-se a existência de um outro fogo em contacto com esta fracção autónoma, com a mesma profundidade e com uma largura de 5 m (perfazendo uma área total de 73,25 m²).

Esta segunda fracção autónoma tem uma janela igual à da varanda da Solução B, sem qualquer tipo de protecções solares. Além disso, continua com os ganhos internos de 4W/m², não estando equipada com qualquer equipamento mecânico que baixe a sua temperatura.

Estas opções foram tomadas por forma a obter uma fracção confinante na pior situação possível, na qual os utilizadores fariam um uso incorrecto da mesma, tornando o cálculo mais conservativo.

Deste modo, as temperaturas interiores deste segundo fogo são relativamente elevadas (até superiores às da caixa de escadas), havendo mesmo situações nocturnas em que se

encontram acima da temperatura exterior. Deste modo, este fogo adjacente torna-se numa fonte de calor o que aumenta as necessidades de arrefecimento da fracção autónoma.

Na vivenda, passa-se o contrário, as necessidades de arrefecimento são menores do que as calculadas pelo regulamento. Como em situação de Inverno os resultados são muito semelhantes aos do RCCTE, não se trata de nenhum erro inerente à introdução da vivenda no *software*.

Assim, a justificação mais provável prende-se com as perdas pelo solo, que no Verão, ao serem superiores às regulamentares, geram menores necessidades de arrefecimento. Este facto encontra-se em consonância com o descrito na Norma *Passivhauss*, na qual se afirma que em situação de Verão se liberta calor para o solo na zona central do pavimento, minorando as cargas de arrefecimento.

Relativamente aos valores do método adaptativo relativos à banda de conforto da classe B da Norma ASHRAE 55-2004, pode constatar-se que, como era de esperar, são substancialmente inferiores aos calculados sem recorrer ao método adaptativo ($\theta_i=25^\circ\text{C}$).

Contudo, os valores substancialmente afastados de zero devem ser avaliados com algum cuidado, já que este método se aplica a espaços não climatizados mecanicamente. De facto, o método adaptativo pretende que a habitação se encontre dentro da banda de temperaturas de conforto, sem recorrer a sistemas activos de arrefecimento (Rodrigues *et al.*, 2009).

No entanto, atendendo ao descrito na Norma *Passivhauss*, que afirma que o critério de arrefecimento ainda se encontra em revisão, o valor de N_{vc} a considerar é relativo às alturas em que as temperaturas interiores se encontram fora da banda de conforto da EN 15251. Só quando se recorre a um sistema activo de arrefecimento (facto não utilizado nesta tese) é que se deve aplicar o limite inferior de 26°C .

O facto de se ter utilizado a Norma ASHRAE 55-2004 em vez da Norma EN 15251 já foi explicado no capítulo 4, e atendendo a que é um método adaptativo já estudado cientificamente, foi utilizada a hipótese simplificativa de se adoptar a norma americana para o critério de arrefecimento da *Passivhauss Norm*.

Conceptualmente, esta simplificação não transporta consigo um grande erro face à norma europeia, já que na segunda, a banda de conforto é calculada diariamente, existindo situações em que, como a temperatura dos dias anteriores é muito elevada, o limite máximo é superior ao da Norma ASHRAE 55-2004, fornecendo estes resultados mais conservativos.

Por outro lado, há dias em que a temperatura média exterior diária é mais baixa do que a média mensal, isto origina um limite de conforto segundo a Norma EN 15251 inferior ao da Norma ASHRAE 55-2004, o que daria resultados de N_{vc} superiores.

Como a norma americana utiliza a temperatura média mensal, conceptualmente pode considerar-se que estes desvios se compensam, o que originará resultados bastante semelhantes.

Relativamente às simulações da Parede de Trombe (não ventilada) de grandes dimensões, constatou-se que esta tem um contributo muito positivo em situações de Inverno, mas com um impacto indesejável no Verão.

De facto, foi possível observar nas soluções H-E2 II, que ao reduzir para metade a parede de Trombe não ventilada se reduziavam bastante as necessidades energéticas de arrefecimento.

Este impacto na estação de arrefecimento justifica-se com a solução construtiva da Parede de Trombe que, por ter um vidro duplo que diminui as perdas de calor no Inverno, também concentra o calor no Verão, mesmo não havendo ganhos directos de radiação consideráveis, existindo apenas ganhos de calor por condução.

Deste modo, mantêm-se temperaturas elevadas no interior da Parede de Trombe, que aumentam as cargas de arrefecimento. Verificou-se, também, que todo o problema reside no vidro deste elemento, já que ao ser retirada a janela em situação de Verão, se reduziavam grandemente as necessidades energéticas.

Com efeito, no próprio *Manual de Engenharia do Energyplus* (2009b) é especificado que em situação de Verão podem ocorrer temperaturas interiores na Parede de Trombe muito próximas dos 40°C às 14h e quase sempre próximas dos 30°C em situação nocturna.

Deste modo, deve existir um dimensionamento cuidadoso deste tipo de elementos passivos no que respeita ao clima português, por forma a não aumentar excessivamente as necessidades de arrefecimento.

Por outro lado, verifica-se que os resultados propostos pela simplificação regulamentar (considerar que não há perdas pela Parede de Trombe no Inverno e que esta se encontra orientada a Norte no Verão) se afastam muito dos valores reais, com uma contribuição muito pequena no Inverno e sem reflectirem as penalizações efectivas no Verão.

Por último, não foram apresentados nenhuns valores para a cobertura ajardinada, porque os resultados obtidos em algumas experiências se afastavam do esperado no Verão, por aumentarem as necessidades de arrefecimento.

Como tal, e considerando que este modelo ainda se encontra em desenvolvimento (Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009b), foi opção não desenvolver este tipo de soluções, por forma a não obter possíveis resultados incorrectos, facto que se manifestou pouco relevante, uma vez que foi possível obter fracções que cumprissem a *Passivhaus*, mesmo sem recorrer a uma cobertura ajardinada.

6.2.2. Lisboa

Quando se analisam os resultados referentes a Lisboa, de imediato se depara a não aproximação do regulamento aos limites da *Passivhaus*, ao admitir valores máximos de Nic sempre superiores a 50 kWh/m².ano e de Nvc de 32 kWh/m².ano.

Para além disso, verifica-se que é possível cumprir os requisitos mínimos de qualidade térmica da envolvente sem recorrer a isolamento térmico nos elementos verticais e recorrendo

a vidros simples de caixilharia metálica sem corte térmico, com cortinas interiores opacas e de cor escura.

Esta constatação agrava-se quando se repara ser possível construir uma fracção autónoma de um piso intermédio de um edifício multifamiliar recorrendo a estas mesmas soluções construtivas (Solução A). Nas restantes tipologias (vivenda e último piso) tal não é possível devido aos valores de N_i e de N_v .

Ora, atendendo aos objectivos da própria Directiva 2002/91/CE, na qual se pretende uma redução das necessidades energéticas dos edifícios, não deveria ser possível a realização de uma construção deste género.

Ao adoptar as condições de referência, introduzindo-se o isolamento térmico pelo exterior (Solução B1), verifica-se uma redução substancial relativamente, quer a N_{ic} , quer a N_{vc} . No entanto, no caso da vivenda, não é possível cumprir o limite máximo para o Inverno, por não se considerarem os ganhos solares pela envolvente opaca.

Apesar disso, ao adoptar uma classe de caixilharia superior (classe A3) e ao adoptar aberturas auto-reguláveis que cumpram os valores propostos no regulamento, reduzem-se as renovações horárias de ar, e a fracção passa a estar regulamentar (Solução C1).

De uma forma semelhante, a Solução C1 introduz menores necessidades energéticas de aquecimento nas restantes fracções autónomas em estudo.

Atendendo aos valores de N_{ic} e de N_{vc} da Solução B1, verifica-se que segundo os resultados fornecidos pelo método adaptativo, através das condições de referência se obtêm fracções com necessidades energéticas de Verão muito reduzidas.

Ao invés, os valores de N_{ic} encontram-se muito afastados das directrizes da *Passivhaus*, pelo que se pode concluir que o regulamento se adequa muito melhor à situação de Verão do que à de Inverno.

Por outro lado, verifica-se, também, que apesar de Portugal ser considerado um país com um clima quente, é a situação de Inverno que coloca maiores problemas e que induz maiores necessidades energéticas de climatização.

A avaliação da Solução B2 (isolamento térmico pelo interior) permite constatar que gera maiores necessidades energéticas, pelo que em construção nova, não deveria ser permitido este tipo de solução construtiva.

Quanto à introdução de paredes claras (Solução D1), verificou-se uma redução substancial das necessidades energéticas de arrefecimento, a ponto de o valor de N_{vc} se tornar praticamente nulo segundo o método adaptativo, para o caso da vivenda.

Como seria de esperar, sendo a vivenda e o último piso aqueles que têm uma área maior de paredes exteriores, é neles que se verifica uma maior redução do valor de N_{vc} .

Relativamente aos envidraçados, verificou-se uma melhoria muito substancial quando se introduziu um vidro duplo com caixilharia plástica, mesmo sendo um vidro duplo comum.

Ao introduzir um vidro duplo de isolamento térmico reforçado, os ganhos ainda são mais significativos, a ponto de no piso intermédio se conseguirem valores de Nic de cerca de 15kWh/m².ano.

Quanto à introdução de vidros termorreflectores, apesar do seu contributo ser positivo no Verão, como as condições de referência já introduziam ganhos muito substanciais, torna-se uma medida, à partida, pouco interessante, dada a redução dos ganhos solares no Inverno.

Com a introdução do dobro do isolamento térmico (6 cm nas paredes e 12 cm na cobertura), verificaram-se benefícios muito relevantes, nomeadamente no Inverno, já que no Verão se manifestaram num ligeiro aumento das necessidades energéticas de arrefecimento.

Embora na vivenda ainda se esteja longe do limite de 15 kWh/m².ano, no piso intermédio do edifício multifamiliar foi possível obter 15,41 kWh/m².ano usando um vidro duplo comum (G-E1) e 10,91kWh/m².ano usando um vidro duplo de isolamento térmico reforçado (G-E2 Inv).

Ora, apesar de no último piso não se atingirem valores tão reduzidos, devido às perdas pela cobertura, a própria Solução G-E2 Inv apresenta um valor relativamente reduzido para Nic.

De facto, se se considerar um edifício tipo composto por dois apartamentos no último piso iguais ao avaliado nesta tese e os restantes cinco pisos compostos por apartamentos iguais ao do piso intermédio (e desprezando a loja, que é uma fracção não residencial), obtêm-se as seguintes necessidades energéticas globais para o edifício como um todo (Quadro 6-2):

Quadro 6-2 - Necessidades energéticas do edifício multifamiliar na Solução G-E2 Inv

Solução ⁽¹⁾	Nic (kWh/m ² .ano)	Nvc ($\theta_i=25^{\circ}\text{C}$) (kWh/m ² .ano)	Nvc (adaptativo) (kWh/m ² .ano)
Edifício como um todo	12,39	16,93	4,59
Último piso	19,81	12,23	1,16
Piso intermédio	10,91	17,87	5,27

⁽¹⁾ – Valores obtidos pelo *Energyplus 4.0*

Atendendo ao exposto para o edifício como um todo, verifica-se que este se trata de uma *Passivhaus*, mesmo avaliando as necessidades de arrefecimento pelo método adaptativo com o cuidado adequado descrito no ponto anterior.

Efectivamente, mesmo que se introduza um equipamento mecânico de arrefecimento, como a temperatura interior máxima de conforto a considerar é de 26°C, os valores de Nvc ficam bastante inferiores a 15 kWh/m².ano.

Quanto à pala de sombreamento a Sul, constata-se que a sua introdução deve ser antecedida de um estudo energético adequado, já que ao ser introduzida quando o isolamento térmico é igual ao das condições de referência, o efeito positivo verificado no Verão não compensa a redução de ganhos solares no Inverno.

Contudo, ao dobrar o isolamento térmico, a G-E2 Inv passa a ser uma *Passivhaus* (ver Quadro 6-2) com alguma folga no Inverno. Assim, estudou-se a hipótese de introduzir uma pala a Sul, o que reduziu as necessidades energéticas de arrefecimento, sem comprometer o limite dos 15 kWh/m².ano, tal como se ilustra na Solução G-E2 Inv + P do Quadro 6-3.

Quanto à introdução de um vidro termorreflector na Solução G, verifica-se ser uma hipótese a analisar devidamente, visto que o impacto negativo no Inverno não compromete os objectivos da *Passivhauss* e melhora significativamente o desempenho no Verão (ver nova solução estudada – Solução G-E2 Ver – no Quadro 6-3).

Quadro 6-3 - Variantes à Solução G-E2 Inv no edifício multifamiliar de Lisboa

Solução⁽¹⁾	Nic (kWh/m².ano)	Nvc ($\theta_i=25^\circ\text{C}$) (kWh/m².ano)	Nvc (adaptativo) (kWh/m².ano)
G-E2 Inv + P – Edifício	12,88	14,83	3,26
G-E2 Ver – Edifício	14,64	12,59	2,23
G-E2 Inv + P – Piso 6	20,53	10,70	0,73
G-E2 Inv + P – Piso int	11,35	15,65	3,77
G-E2 Ver – Piso 6	24,51	8,86	0,37
G-E2 Ver – Piso int	12,65	13,34	2,60

⁽¹⁾ – Valores obtidos pelo *Energyplus 4.0*

Relativamente à parede de Trombe (não ventilada) analisada, nota-se que é um elemento pouco interessante no edifício multifamiliar para o clima de Lisboa, ao introduzir ganhos de calor excessivos no Verão (embora reduza bastante o valor de Nic), tendo-se, mesmo, conseguido uma *Passivhauss* sem se ter de recorrer a este elemento e sem se recorrer a qualquer sistema activo, tal como o piso radiante.

Já na vivenda, a introdução da Parede de Trombe é imprescindível na situação de Inverno, complementada com vidros duplos de isolamento térmico reforçado e com o isolamento térmico da Solução G.

Assim, devido aos impactes no Verão, várias experiências foram realizadas para diminuir o seu efeito negativo, tais como a introdução de uma pala de sombreamento e a diminuição para metade da sua área acompanhada de um reforço de 3 cm do isolamento térmico.

Todavia, na primeira solução, a diferença dos resultados não foi muito significativa e na segunda, apesar de se ter resolvido o problema do Verão, o limite máximo proposto para o Inverno foi ultrapassado.

Como tal, a única solução encontrada, embora pouco prática, prende-se com retirar a janela da Parede de Trombe no Verão, colocando-se no Inverno. Este facto implica a existência de um espaço na habitação para armazenar o vidro e de duas actividades anuais: uma para o retirar no fim do Inverno e outra para o colocar no início do Inverno.

6.2.3. Bragança

No caso do clima de Bragança, repara-se que os limites regulamentares para a estação de aquecimento são muito superiores aos 15 kWh/m².ano (vivenda: 140,71 kWh/m².ano; último piso: 131,30 kWh/m².ano; piso intermédio: 117,08 kWh/m².ano). No caso do Verão, o limite máximo é de 18 kWh/m².ano, o que torna simples o cumprimento do critério de Verão proposto na Norma *Passivhauss*.

Só a partir da análise destes limites se pode constatar a grande dificuldade em cumprir o limite máximo do critério de aquecimento em análise nesta tese. Assim, atendendo ao desvio

muito conservativo existente no RCCTE, os resultados discutidos neste ponto são os referentes à simulação no *Energypius*, por estarem mais de acordo com o funcionamento real do edifício.

Antes dessa análise, refira-se apenas que a Solução A cumpre mais uma vez os limites máximos para a qualidade térmica da envolvente do edifício, mas não gera uma solução regulamentar, devido aos valores de Nic que são muito superiores aos de Ni.

A passagem desta solução para a solução que recorre às condições de referência do RCCTE (Solução B1) traduz-se numa grande redução das necessidades energéticas nominais de aquecimento, sendo regulamentares as soluções referentes ao edifício multifamiliar.

No caso da vivenda a primeira solução em que tal é possível é a solução que recorre a vidros duplos com isolamento térmico reforçado (E2 Inv), devido às perdas que se registam pelo solo. Contudo, se fossem considerados os valores calculados na simulação dinâmica, a própria Solução B1 da vivenda era regulamentar.

Ainda relativamente às condições de referência, o facto do limite máximo de referência para os vãos envidraçados ser de $3,30 \text{ W/m}^{20}\text{C}$ implica a introdução de um vidro duplo, ainda que com caixilharia metálica sem corte térmico, facto que se revela muito positivo, atendendo às medidas passivas de uma construção sustentável.

Passando para a discussão dos diferentes tipos de envidraçados e da introdução de palas de sombreamento, conclusões semelhantes às de Lisboa podem ser retiradas para Bragança. Acresce-se só a importância que os ganhos solares têm neste clima frio, o que torna indesejável, à partida, a utilização, quer de vidros duplos termorreflectores, quer de palas de sombreamento.

Contudo, atendendo à nova solução proposta – PR-E2 (pala), discutida posteriormente, a introdução de palas de sombreamento deve ser devidamente equacionada, tal como se passou em Lisboa, caso o edifício tenha características tais que seja possível cumprir os $15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ para Nic, mesmo com a introdução deste dispositivo passivo de sombreamento.

Com a introdução de 12 cm de isolamento térmico nas paredes exteriores e de 16 cm de isolamento térmico na cobertura (Solução G), ainda se está bastante longe dos limites da *Passivhaus*.

Esta constatação permite induzir que, para que se possa atingir a quase neutralidade em energia em climas frios do nosso país, há que modificar completamente o paradigma construtivo.

Com efeito, na realidade construtiva da Alemanha (Inverno muito rigoroso) é comum a utilização de 30 cm ou mais de isolamento térmico (Castro, 2010), algo que se depreende ser muito adequado ao clima de Bragança (zona climática I₃). Todavia, mesmo a inclusão desta medida não permite atingir os $15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$.

Ora, na Norma *Passivhaus* aplicada a climas frios, impõe-se um valor de renovações horárias máximo de $0,6 \text{ h}^{-1}$. Aplicando-o ao caso de Bragança, nota-se uma redução de cerca de $8 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ nas necessidades de aquecimento, muito superior ao aumento de Nvc.

À semelhança do descrito na vivenda no capítulo 5, também, neste momento, se decidiu estudar a hipótese de introdução de paredes escuras (G-E2 Inv V) e, até no caso do último piso, a introdução de uma cobertura de cor escura, mantendo escuras as paredes (G-E2Inv VI), tal como se ilustra no Anexo III.

Quanto à utilização de cores escuras em elementos verticais (G-E2 Inv V), observa-se que, como o Inverno é a estação condicionante, o seu contributo tem algum peso, particularmente no caso da vivenda, no qual é imprescindível para que se atinjam os objectivos propostos.

Já a sua utilização na cobertura (G-E2 Inv VI), embora se reflecta num interessante aumento de ganhos de calor no Inverno, o valor de N_{vc} a que se chega é relativamente elevado, não sendo, pois, aconselhável a introdução desta medida.

Esta constatação realça a adequação da condição de referência *as coberturas têm de ser de cor clara*, mesmo em climas frios.

Uma vez não cumprindo os limites propostos pela *Passivhaus* para a situação de Inverno, e considerando as estratégias bioclimáticas propostas por Gonçalves e Graça (2004) para o clima de Bragança, em que se devem aumentar os ganhos solares no Inverno, estudou-se agora a hipótese de retirar a varanda – Solução G-E2 Inv VI SV (ver Anexo III).

Com esta adopção, verificou-se uma pequena redução no valor de N_{ic} , seguida de um agravamento substancial das necessidades de arrefecimento, facto que torna pouco interessante esta nova solução.

Em relação à Parede de Trombe (não ventilada) de grandes dimensões, mais uma vez se nota que, apesar de ser muito positiva em situação de Inverno, revela-se bastante penalizadora no Verão, a ponto de se excederem os limites regulamentares.

No entanto, na vivenda este dispositivo tem que ser obrigatoriamente considerado para que se cumpram os limites propostos para a estação de aquecimento, sendo, ainda assim, inalcançáveis quando se introduz este elemento na Solução G-E2 Inv V (30 cm de isolamento térmico, paredes de cor escura, RPH de $0,6 \text{ h}^{-1}$ e vidro duplo de isolamento térmico reforçado).

Efectivamente, para se obter um valor de N_{ic} de $14,71 \text{ kWh/m}^2\text{.ano}$, foi necessária a introdução de um piso radiante alimentado a energia solar, com uma potência de 10 W/m^2 (limite máximo de potência permitido para os sistemas activos na Norma *Passivhaus*) e instalado nos quartos e na sala, a funcionar de 16 de Novembro a 15 de Abril – H-E2 Inv PR (ver Anexo III).

Como no Verão não se encontra a funcionar, esta medida implica a inclusão de um dispositivo dissipador de calor, ou a utilização dos colectores solares para outros fins durante esta mesma estação.

Nesta solução do piso radiante, teve que se manter a Parede de Trombe. Logo, para diminuir o valor de N_{vc} , é obrigatório tomar a medida de retirar a janela no Verão, como descrito para o caso de Lisboa. Assim, as necessidades energéticas no Verão são muito

reduzidas, sendo mesmo inferiores a 1 kWh/m².ano, quando se recorre ao método adaptativo (H-E2 Inv PR SJ – ver Anexo III).

Para avaliar uma outra solução passiva, sem recorrer a qualquer sistema activo, foi estudada a hipótese de adicionar uma cobertura de cor escura à Solução H-E2 Inv – Solução H-E2 Inv V CP SJ, à qual se retirou a janela no Verão pelas razões descritas. Mas, apesar da melhoria verificada no Inverno, não se cumpriam os 15 kWh/m².ano, facto que reforça a importância da utilização do piso radiante em Bragança.

No edifício multifamiliar, verificou-se que a melhor solução passava pela não inclusão da parede de Trombe e, sim, pela introdução do mesmo piso radiante. Como, deste modo, se supriam com alguma folga as necessidades energéticas de aquecimento, introduziu-se uma pala de sombreamento a Sul, para minorar as necessidades de arrefecimento.

Este facto gerou a Solução PR E2 Inv (pala), na qual não foi necessária a introdução de qualquer cor escura na envolvente. Por outro lado, a pala de sombreamento permite que sobre ela se localizem os colectores solares que alimentam o piso radiante de cada andar, o que optimiza o aproveitamento do espaço.

Deste modo, obtiveram-se os resultados constantes do Quadro 6-4, que permitem concluir que é possível a obtenção de uma *Passivhaus* em Portugal, mesmo no Inverno mais rigoroso do país, sem comprometer o Verão, já que, mesmo que se recorra a sistemas activos, o valor de 15 kWh/m².ano para $\theta_i=26^\circ\text{C}$ está automaticamente cumprido, uma vez que já o está para $\theta_i=25^\circ\text{C}$.

Quadro 6-4 – Solução PR-E2 Inv para o edifício multifamiliar de Bragança

Solução⁽¹⁾	Nic (kWh/m².ano)	Nvc ($\theta_i=25^\circ\text{C}$) (kWh/m².ano)	Nvc (adaptativo) (kWh/m².ano)
PR-E2 Inv (pala) – Edifício	9,27	10,26	5,20
PR-E2 Inv (pala) – Piso 6	12,20	8,36	3,16
PR-E2 Inv (pala) – Piso int	8,68	10,64	5,61

⁽¹⁾ – Valores obtidos pelo *Energyplus 4.0*.

6.2.4. Évora

A análise das três tipologias no clima de Évora originou resultados com constatações muito semelhantes às de Lisboa, pelo que neste ponto apenas se vão referir as principais diferenças encontradas ou outros pontos merecedores de reflexão.

Em primeiro lugar, mais uma vez se constata que os valores máximos admissíveis para as necessidades energéticas nominais de aquecimento e de arrefecimento são muito mais elevados do que os valores balizados para esta tese (vivenda: Ni=70,93 kWh/m².ano, Nv=32,00kWh/m².ano; último piso: Ni=66,34 kWh/m².ano, Nv=32,00 kWh/m².ano; piso intermédio: Ni=59,41 kWh/m².ano, Nv=32,00 kWh/m².ano).

Do mesmo modo, também em Évora a Solução A do piso intermédio é uma solução regulamentar, ou seja, é possível ter uma fracção regulamentar sem recurso a isolamento térmico nas paredes exteriores, conclusão negativa, tal como discutido para Lisboa.

Para além disto, também se repara que as condições de referência se adequam muito bem à estação de arrefecimento.

Verifica-se, ainda, que o uso de cores claras nas paredes se manifesta muito relevante. Tal facto pode ser observado pelos resultados da passagem da Solução C para a D (introdução de cores claras nas paredes exteriores), na qual se reduzem bastante os valores de N_{vc} , nomeadamente no método adaptativo, o que realça a sua importância em climas com Verões muito quentes.

No entanto, como o Inverno é um pouco mais rigoroso do que o de Lisboa, também aqui a utilização de vidros termorreflectores e de palas de sombreamento (elementos passivos desejáveis na estação de arrefecimento) deve ser devidamente estudada, devido ao impacto negativo associado no Inverno.

Efectivamente, no caso da vivenda a utilização destas mesmas soluções origina fracções não regulamentares, devido ao não cumprimento dos valores máximos admissíveis de N_i , pese embora o seu efeito positivo verificado no Verão.

Verificou-se, também, que devido ao Inverno mais rigoroso, o reforço do isolamento térmico nas paredes (passando para 6 cm) não gera soluções, nem próximas da *Passivhauss* no último piso, nem que a cumpram com folga no piso intermédio (o valor de N_{ic} que se obteve para o piso intermédio utilizando o vidro duplo de isolamento térmico reforçado é de $14,29 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$ – Solução G-E2 Inv).

Desta forma, ao considerar o edifício com um todo, a pequena folga do piso intermédio não compensa o desvio do último piso e este não cumpre, mesmo, as directrizes da Norma *Passivhauss*.

Como tal, estudou-se a hipótese de introdução de mais 3 cm de isolamento térmico nos elementos verticais na Solução G-E2 Inv, o que gerou resultados muito próximos dos de Lisboa (Solução G-E2 Inv + isol) – ver Quadro 6-5.

Deste modo, introduziram-se as mesmas alterações ao projecto estudadas em Lisboa, como as palas de sombreamento a Sul (G-E2 Inv + isol + P) e a utilização de vidros duplos termorreflectores (G-E2 Ver + isol), tendo-se obtido os resultados constantes do Quadro 6-5.

Através da análise desse mesmo quadro, nota-se que para que se atinjam habitações que obedeam às directrizes da *Passivhauss*, a única diferença face ao clima de Lisboa prende-se com a introdução de mais 3 cm de isolamento térmico na envolvente vertical opaca.

Do mesmo modo, utilizando 9 cm de isolamento térmico em vez de 6 cm, a introdução de palas ou o uso de vidros duplos termorreflectores passa a ser bastante desejável, ainda mais do que em Lisboa, dado o maior rigor do Verão V_3-S .

Contudo, os vidros termorreflectores originam para o edifício como um todo um valor de N_{ic} de $15,69 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, que é superior aos $15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$. Mas, dada a vantagem no Verão, aceita-se este pequeno desvio, facilmente contornável se se mantiverem os vidros duplos de isolamento térmico reforçado apenas no último piso (Solução Variante do Quadro 6-5).

Quadro 6-5 – Novas soluções estudadas para o edifício multifamiliar de Évora

Solução⁽¹⁾	Nic (kWh/m².ano)	Nvc ($\theta_i=25^\circ\text{C}$) (kWh/m².ano)	Nvc (adaptativo) (kWh/m².ano)
GE2 Inv + isol – Edifício	13,13	17,55	6,58
GE2 Inv+ isol+ pala – Edifício	13,61	15,52	5,13
GE2 Ver + isol – Edifício	15,69	13,58	4,02
Variante – Edifício	14,76	14,10	4,23
GE2 Inv + isol – Piso 6	22,39	13,89	2,85
GE2 Inv + isol – Piso int	11,28	18,28	7,32
GE2 Inv+ isol+ pala – Piso 6	23,20	12,40	2,03
GE2 Inv+ isol+ pala – Piso int	11,69	16,14	5,75
GE2 Ver + isol – Piso 6	27,99	10,75	1,37
GE2 Ver + isol – Piso int	13,23	14,14	4,55

⁽¹⁾ – Valores obtidos pelo *Energyplus 4.0*.

Relativamente à parede de Trombe, observa-se que esta não é imprescindível no edifício multifamiliar, devido ao impacto muito negativo na estação de arrefecimento, já na vivenda, a sua utilização é imperativa para que se cumpram os propósitos da Norma *Passivhaus*.

No entanto, a sua utilização sem se reforçar o isolamento térmico da envolvente vertical opaca (solução com 9 cm) não permite cumprir os 15 kWh/m².ano, o que reforça o resultado do edifício multifamiliar, que aponta para os 9 cm como o isolamento térmico indicado para este clima (Solução H-E2 Inv + isol – Anexo III).

Para resolver o problema na estação de arrefecimento, tem que se adoptar a mesma estratégia de retirar a janela no Verão, já discutida em pontos anteriores (Solução H-E2 Inv + isol SJ – Anexo III), e, ainda, introduzir mais 3 cm de isolamento térmico na cobertura. Com esta acção, a vivenda passa a ter necessidades energéticas de arrefecimento muito reduzidas, a ponto de no método adaptativo serem de 0,71 kWh/m².ano.

6.3. Águas quentes sanitárias

Relativamente à contribuição da energia solar para a produção de AQS, os resultados obtidos para as três regiões climáticas, embora diferentes, apresentam valores que não se afastam muito uns dos outros.

Ainda assim, a eficiência maior foi conseguida em Évora, dado que se situa numa região com uma intensidade de radiação solar superior, e a menor em Bragança (menor intensidade de radiação solar).

Pela análise das cinco soluções calculadas, verificou-se que a introdução de 0,5 m² de colectores solares por habitante tem um contributo muito relevante e que a passagem para 1m² ainda se reflecte em ganhos substanciais (chegando-se a reduzir para metade do valor de Nac da solução de 0,5 m² em alguns casos).

Já a passagem de 1 m² para 1,5 m² traduz-se num ganho menos importante, embora com algum impacto, que perde importância na passagem de 1,5 m² para 2 m². Isto porque os ganhos adjacentes a este aumento de área são muito reduzidos, face aos possíveis custos que adviriam da inclusão de uma área maior de colectores solares.

Deste modo, a imposição de 1 m²/habitante adequa-se bem às necessidades de produção de AQS, não sendo interessante, nem a redução da área, nem o seu aumento.

Quanto à análise dos três padrões de consumo, nota-se que não existem alterações nos valores do sistema “kit” utilizado nas vivendas. No edifício multifamiliar, repara-se que o padrão com melhor desempenho é o regulamentar (existente no *Solterm*), que não manifesta o real comportamento de consumo da população.

No entanto, as diferenças registadas face aos outros padrões de consumo não foram tão grandes como o expectável, pelo que se realizou uma análise de sensibilidade, para verificar qual a razão desta constatação, mantendo 1 m² de colectores solares por pessoa (no edifício multifamiliar).

Assim, decidiu-se, primeiramente, manter o volume do reservatório e dobrar as perdas de calor do reservatório para o exterior. Posteriormente, manteve-se o isolamento térmico e reduziu-se o volume do reservatório para um volume igual às necessidades de consumo (2040L). Por último, manteve-se o isolamento térmico e reduziu-se o volume para metade das necessidades de consumo (1020 L). Como resultado desta mesma análise, apresenta-se de seguida o Quadro 6-6.

Quadro 6-6 - Análise de sensibilidade referente aos padrões de consumo no edifício multifamiliar

Zona climática	Solução	Nac (kWh/m ² .ano)		
		Padrão I	Padrão II	Padrão III
Lisboa	Dobro das perdas	11,57	13,21	13,12
	Reservatório 2040 L	10,92	12,91	12,46
	Reservatório 1020 L	15,04	15,49	16,09
Bragança	Dobro das perdas	13,02	14,45	14,38
	Reservatório 2040 L	13,04	14,22	13,84
	Reservatório 1020 L	16,21	16,63	17,16
Évora	Dobro das perdas	10,90	12,60	13,08
	Reservatório 2040 L	10,86	12,26	11,77
	Reservatório 1020 L	14,48	14,98	15,58

A partir da análise do Quadro 6-6, pode concluir-se que, quando o consumo se processa totalmente ao final da tarde, o facto de se ter um reservatório com o dobro das perdas não é muito relevante, embora o valor de Nac seja um pouco superior. Já quando há consumo matinal, o dobro das perdas gera resultados mais penalizadores.

Por outro lado, o uso de um reservatório com um volume de água exactamente igual ao consumo de AQS gera resultados um pouco inferiores aos da solução base, mas pouco diferentes. O uso de um reservatório com um volume de metade das necessidades de AQS penaliza todas as soluções.

Estes resultados apontam para a necessidade de um dimensionamento adequado do reservatório, com perdas muito reduzidas, para que a água se possa manter quente durante a noite.

De facto, quando se consomem águas quentes sanitárias essencialmente de manhã, é necessário que o reservatório acumule pelo menos o volume de consumo e que seja muito bem isolado termicamente.

As pequenas alterações verificadas nos cálculos iniciais em que apenas se variou o padrão de consumo devem-se ao facto de o reservatório conter um volume quase 1000 L superior ao necessário e estar devidamente isolado termicamente, o que permite manter elevada a temperatura da água até de manhã.

Com a utilização do padrão de consumo para dimensionamento segundo o RCCTE, o isolamento térmico perde alguma importância, porque todo o consumo se dá à tarde, depois de se ter recebido a maior contribuição da energia solar.

O sistema tipo “kit”, como se encontra muito bem dimensionado para pequenos consumos, é aquele que se manifesta ser a melhor solução para vivendas e para tipologias de baixo consumo de AQS. Por esse facto, não sofreu alterações do valor de N_{ac} com a variação dos padrões de consumo.

6.4. Classes energéticas

A partir da análise dos resultados, referentes às quatro soluções construtivas estudadas fracção a fracção para cada clima, pode constatar-se que as classes energéticas obtidas não espelham o desempenho passivo do edifício, nem tão pouco o tipo de construção utilizado.

De facto, a solução inicial que só cumpre os máximos admissíveis para a envolvente do edifício (e que na maioria dos casos não é regulamentar) pode ser uma classe B, se devidamente equipada com sistemas activos eficientes.

Ora, exceptuando a vivenda e o último piso de Bragança, tanto a Solução A, como as restantes soluções (incluindo a *Passivhauss*) são da classe B, não havendo qualquer distinção no tocante ao recurso de uma construção sustentável.

Esta constatação é particularmente negativa, quando se analisam os esforços realizados em Bragança, clima no qual se introduziram várias medidas exigentes para suprir as necessidades de aquecimento.

Com efeito, no caso do último piso de Bragança, a Solução A ($N_{ic}=185,15 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$) é da classe B-, a Solução B1 – solução com as condições de referência ($N_{ic}=115,90 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$) é da classe B e a *Passivhauss*, com necessidades energéticas de aquecimento mesmo muito reduzidas ($N_{ic}=12,20 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$) também é da classe B. No piso intermédio, a própria Solução A é da classe B, tal como as restantes soluções.

Conclusões semelhantes podem ser retiradas para as outras duas regiões climáticas, nas quais se repara que a primeira solução regulamentar, que se encontra longe de cumprir os $15 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ na situação de Inverno, é sempre da mesma classe energética da *Passivhauss*.

Por outro lado, a solução inicial (Solução A), que pode representar um tipo de construção anterior ao regulamento, pode oscilar entre a classe B (classe superior à mínima regulamentar) e a classe D.

Tomando como exemplo o caso da vivenda de Évora, a Solução A sem equipamentos eficientes e sem colectores solares é da classe D. Se se recorrer a colectores solares e aos equipamentos eficientes adoptados para as restantes soluções, passa a ser da classe B, mas muito próxima de uma classe A ($R=N_{tc}/N_t=0,51$).

No entanto, realizando, agora, um outro teste, no qual se utiliza um termoacumulador eléctrico com uma eficiência de 0,95 e uma bomba de calor com COP de 4,3, tanto para o Verão como para o Inverno (valor existente no mercado para alguns fabricantes), N_{tc} passa a ser de 2,46 kgep/m².ano, sendo a sua razão por N_t ($N_t=5,96$ kgep/m².ano) de 0,41, obtendo-se, assim, uma classe A para a solução inicial.

Neste caso, ao compará-lo com a *Passivhauss* ineficiente respectiva (classe B), repara-se que a construção não regulamentar tem uma classe energética superior, mesmo sem recorrer a nenhum princípio da construção sustentável.

De facto, uma variação nos equipamentos modifica radicalmente a classe energética de uma fracção autónoma, facto que demonstra a grande dependência que o SCE tem relativamente aos sistemas activos.

Para demonstrar esta constatação, basta atentar que a Solução A pode passar da classe D (sem colectores solares e com equipamentos menos eficientes) para uma classe A, referida anteriormente.

As restantes soluções, dependendo dos equipamentos, podem ser da classe A ou B (vivenda) ou da classe B- ou B (nas duas fracções do edifício multifamiliar).

Deste modo, pode concluir-se que é possível obter classes energéticas elevadas em situações que não cumpram o RCCTE (construções anteriores ao regulamento), caracterizadas por um tipo de construção pouco adequado.

Para avaliar a importância das AQS na classe energética, estudam-se, agora, a título ilustrativo as duas soluções extremas da vivenda de Lisboa, relativamente ao tipo de construção utilizado: Solução A e a *Passivhauss* (Solução H-E2 Inv SJ).

Na primeira, ao utilizar os equipamentos ineficientes analisados e ao recorrer a colectores solares, passou-se da classe D para a B-, com $R=0,79$. Adicionando um termoacumulador eléctrico muito eficiente ($\eta_a=0,95$) passou-se para a classe B, já próxima da classe A ($R=0,56$).

Na segunda, partindo-se da solução eficiente e retirando os colectores solares, a *Passivhauss* passa da classe A para a classe C. Ao adicionar um termoacumulador eléctrico pouco eficiente ($\eta_a=0,80$), passa-se a estar exactamente na fronteira com a classe D – $R=1,50$.

Deste modo, observa-se que o SCE, para além de ser dependente dos sistemas activos utilizados, é particularmente dependente dos sistemas de produção de AQS, nos quais a

introdução de colectores solares e de sistemas de apoio eficientes proporciona classes energéticas elevadas, que disfarçam os erros provenientes de uma construção desadequada.

6.5. Restante consumo de operação

Ao avaliar o impacto dos restantes aparelhos eléctricos no consumo de uma habitação, verifica-se que estes representam uma grande fatia do consumo total de electricidade. De facto, dividindo o consumo total pela área da fracção autónoma, a solução base (menos eficiente) tem um consumo de 50,31 kWh/m².ano e a solução eficiente tem 30,57 kWh/m².ano.

Se se considerar a solução construtiva menos eficiente (Solução A) e a solução construtiva mais eficiente (*Passivhaus*), e se em ambas se considerar a existência de colectores solares, um termoacumulador eléctrico de apoio com uma eficiência de 0,90, uma resistência eléctrica para aquecimento ambiente com $\eta_i=1,0$ e uma máquina frigorífica de arrefecimento com um COP de 3 (aparelhos de climatização a utilizar por defeito no RCCTE), obtêm-se os consumos por m² constantes dos Quadros 6-7 a 6-9, que foram calculados segundo o proposto pelo RCCTE, recorrendo aos resultados regulamentares na Solução A e aos fornecidos pelo *Energyplus 4.0* na solução otimizada.

Quadro 6-7 – Consumos energéticos constantes do SCE referentes às três vivendas

Zona climática	Solução	Consumo energético (kWh/m ² .ano)			Total do SCE (kWh/m ² .ano)
		Aquecimento	Arrefecimento	AQS	
Lisboa	A	9,54	1,31	6,82	17,67
	HE2 Inv SJ	1,24	0,24	6,82	8,3
Bragança	A	26,64	0,39	8,48	35,51
	HE2 Inv PR SJ	1,47	0,21	8,48	10,16
Évora	A	11,48	1,30	6,33	19,11
	HE2 + isol SJ	1,41	0,34	6,33	8,08

Quadro 6-8 - Consumos energéticos constantes do SCE referentes aos três últimos pisos

Zona climática	Solução	Consumo energético (kWh/m ² .ano)			Total do SCE (kWh/m ² .ano)
		Aquecimento	Arrefecimento	AQS	
Lisboa	A	6,32	1,11	11,14	18,57
	GE2 Inv + P	2,05	0,36	11,14	13,55
Bragança	A	18,51	0,30	12,65	31,46
	PR E2 Inv (pala)	1,22	0,28	12,65	14,15
Évora	A	7,68	1,10	10,46	19,24
	GE2 Inv+ isol + P	2,32	0,41	10,46	13,19

Quadro 6-9 - Consumos energéticos constantes do SCE referentes aos três pisos intermédios

Zona climática	Solução	Consumo energético (kWh/m ² .ano)			Total do SCE (kWh/m ² .ano)
		Aquecimento	Arrefecimento	AQS	
Lisboa	A	3,84	0,50	11,14	15,48
	GE2 Inv + P	1,14	0,52	11,14	12,80
Bragança	A	11,74	0,11	12,65	24,50
	PR E2 Inv (pala)	0,87	0,35	12,65	13,87
Évora	A	4,72	0,50	10,46	15,68
	GE2 Inv+ isol + P	1,17	0,54	10,46	12,17

Assim, pode observar-se que os consumos energéticos relativos às necessidades presentes no SCE podem variar desde 8,08 kWh/m².ano (*Passivhaus* da vivenda de Évora) até 35,51kWh/m².ano (Solução A da vivenda de Bragança).

Por outras palavras, o consumo em climatização e em produção de AQS pode corresponder, no caso do consumo em operação que recorra a aparelhos menos eficientes, a valores entre 14% e 41% do consumo energético total. No caso de se utilizarem electrodomésticos eficientes, pode variar entre 21% e 54% do consumo energético total.

Ainda assim, verifica-se que, mesmo na situação em que a construção é a menos eficiente, o restante consumo de operação pode representar 46% do consumo total em energia do edifício, pelo que se observa ser uma parcela muito importante dos gastos em energia de uma habitação.

Avaliando, apenas, os valores correspondentes ao restante consumo de operação, pode constatar-se que a simples mudança para equipamentos mais eficientes, aliada a um uso mais racional dos mesmos (e à substituição da máquina de secar roupa pelo tradicional estendal) correspondem a uma poupança anual de 39,2%, isto é, de 2506 kWh.

Por outro lado, verifica-se que o electrodoméstico que mais consome energia é o fogão eléctrico, para o qual uma redução de 500 W de potência, complementada com uma utilização mais eficiente (passagem de 60% de utilização para 50% de utilização) permite uma redução do consumo em 22,6% (521 kWh).

Os restantes equipamentos que mais energia consomem na solução base são os computadores, o forno embutido, a máquina de secar roupa, a máquina de lavar roupa, a máquina de lavar loiça, o frigorífico e a arca congeladora.

Com a escolha de electrodomésticos mais eficientes correspondentes e eliminando a máquina de secar roupa, a poupança é de 52%, isto é, de 1533 kWh.

Relativamente à máquina de secar roupa, verifica-se que tem um consumo relativamente elevado, que pode ser eliminado caso o edifício seja adequadamente munido de estendais, facto que permite poupar 420 kWh relativamente à solução base.

Quanto ao consumo em iluminação, como na solução base já se recorreu a lâmpadas de baixo consumo, o seu impacto não é tão elevado, ainda assim, observa-se que existe um grande potencial de poupança energética com a introdução de lâmpadas LED, passando-se de 175 kWh/ano para 29 kWh/ano, ou seja, uma redução de 83,4%.

6.6. Microprodução

No capítulo 4 foi referido que, atendendo ao *mix* energético nacional, seria necessário produzir 59,8% da electricidade consumida no edifício, para o considerar neutral em carbono.

Deste modo, analisou-se a pior situação do ponto anterior para a Solução A (vivenda em Bragança) e estudou-se a melhoria em termos de consumo quando se passa para uma *Passivhaus* e para aparelhos mais eficientes.

Sendo a *Passivhaus* da vivenda de Bragança aquela que tem maiores consumos energéticos e sendo esta a que se localiza na região climática com menor intensidade de radiação solar, admite-se que se for possível suprir os 59,8% de energia recorrendo a microprodução, também o será para as restantes.

Desta forma, a Solução A da vivenda de Bragança com electrodomésticos pouco eficientes tem um consumo total de 10893 kWh sendo que a sua *Passivhaus* equipada com electrodomésticos mais eficientes tem um consumo total de 5676 kWh.

Assim, para produzir 59,8% de electricidade, seria necessário produzir 6514 kWh para a primeira solução e 3394 kWh para o segundo caso.

O painel fotovoltaico analisado no programa *RETScreen* tem uma eficiência de 14,4%, 1,94m² de área, está orientado a Sul e inclinado a 35° (inclinação óptima segundo esse *software*). Consideraram-se também 8% de perdas diversas, tal como é proposto por Roriz *et al.* (2010).

Usou-se, ainda, um inversor com 94% de eficiência, uma capacidade de 3,5 kW e sem perdas diversas (Roriz *et al.*, 2010).

Assim, para suprir aproximadamente as necessidades energéticas da primeira solução, seriam necessárias 14 unidades fotovoltaicas (carga fornecida à rede de 6349 kWh/ano). Já no segundo caso seriam necessárias 7 unidades (carga fornecida à rede de 3174 kWh/ano).

Sete unidades correspondem a 13,58 m², o que é uma área considerável de painéis fotovoltaicos só para uma fracção autónoma. Assim, estes resultados apontam para uma necessidade de aumentar a eficiência energética das habitações e para um aumento progressivo das energias renováveis no *mix* energético nacional.

Para 14 unidades, a área necessária é o dobro da área anterior, facto que realça a importância de se ter uma casa com baixos consumos energéticos, quer de climatização, quer de produção de AQS, quer referentes à restante operação.

7. Conclusões e trabalhos futuros

7.1. Conclusões

O estudo realizado centrou-se num edifício de construção nova, pelo que todas as conclusões retiradas devem ser analisadas à luz deste paradigma e não do paradigma da reabilitação de edifícios, que deverá ser alvo de outros estudos adequados.

Assim, no seguimento da estrutura da discussão de resultados, a primeira conclusão a retirar deste estudo prende-se com a adequação da metodologia de cálculo regulamentar, exceptuando o caso de Bragança (região I₃), tal como já tinha sido alvo do estudo de Silva *et al.* (2009a).

Deste modo, atendendo aos resultados muito conservativos gerados pelo RCCTE para esta mesma região climática, é imprescindível uma revisão da metodologia neste clima, para que se possam estimar com maior rigor as necessidades energéticas reais de cada edifício.

Para além disto, deve referir-se que a contribuição dos ganhos solares pela envolvente opaca no Inverno pode ter um impacto bastante positivo aquando da utilização de cores escuras.

Ora, esta medida não pode ser considerada no actual regulamento, devido à hipótese conservativa que lhe é adjacente. Assim, deveria ser estudada a possibilidade de introdução deste efeito, tal como se realiza para a estação de arrefecimento.

Conclui-se, também, que a simplificação proposta para as Paredes de Trombe não reflecte o seu impacto real nas necessidades energéticas. Para além disso, concluiu-se ainda que uma introdução não cuidada destes dispositivos pode reflectir-se em impactos muito negativos na estação de arrefecimento.

Deste modo, é necessária uma correcta avaliação do seu impacto, nomeadamente em Paredes de Trombe (não ventiladas) de grandes dimensões, facto que não é possível com a simplificação proposta.

Por conseguinte, dever-se-á estudar uma metodologia de cálculo expedita para estes elementos, que facilite a decisão do projectista quanto às dimensões a utilizar, dependendo do tipo de clima em questão.

Daqui também se pode concluir que grande parte das medidas introduzidas para melhorar o desempenho passivo no Inverno (como aumentar os ganhos solares), acabam por ter impactes negativos no Verão, se não forem devidamente compensadas (e reciprocamente).

Deste modo, tem que haver uma especial atenção em fase de projecto, para que ao introduzir melhoramentos numa estação não se esteja a prejudicar a outra.

Relativamente aos limites regulamentares, após este estudo verifica-se que são muito facilmente atingíveis, pelo que devem ser substancialmente reduzidos.

Do mesmo modo, os limites máximos admissíveis para a envolvente dos edifícios devem ser, também, diminuídos, já que em muitos casos é possível o cumprimento destes valores mesmo sem recorrer a isolamento térmico.

Ora, como a Solução G-E1 (que recorre a um vidro duplo comum e a um isolamento térmico mais eficiente do que o das condições de referência) é relativamente simples de ser atingida em qualquer um dos climas analisados, considera-se que, para que se atinjam edifícios com baixas necessidades energéticas, os resultados de Nic obtidos para cada uma destas soluções deveriam corresponder aos máximos regulamentares para a estação de aquecimento.

Deste modo, segundo o analisado nesta dissertação, os valores de Ni a adoptar para cada uma das situações deveriam ser os constantes do Quadro 7-1 (para o qual se usam os valores do RCCTE, excepto em Bragança, que se utilizaram os valores do *Energyplus 4.0*, por se considerar imperativa a revisão da metodologia de cálculo).

Quadro 7-1 – Valores máximos admissíveis de Ni para os três climas analisados

Solução	Ni (kWh/m ² .ano)		
	Lisboa	Bragança	Évora
Vivenda (FF=0,72)	44,15	79,53	54,57
Último Piso (FF=0,63)	26,36	56,49	33,22
Piso intermédio (FF=0,25)	15,11	34,36	19,41

Como para o Verão, só recorrendo a construções muito pouco adequadas é que não se cumprem os limites regulamentares, estes deveriam ser substancialmente reduzidos, nomeadamente para os climas quentes.

Sendo o limite de Nv para Bragança (clima I₂-N) de 18 kWh/m².ano o mais reduzido dos três e conseguindo ser cumprido em todas as soluções *Passivhauss*, considera-se que deveria ser considerado como o máximo regulamentar para todas as regiões climáticas, facto que produziria construções muito próximas do proposto na Norma *Passivhauss*.

Relativamente aos limites máximos admissíveis para a envolvente dos edifícios, para que se atingissem os limites Ni propostos anteriormente no Quadro 7-1, teria de existir uma redução do valor máximo do coeficiente de transmissão térmica da envolvente opaca.

Assim, tomando como referência os valores dos coeficientes U constantes das soluções G-E1 para os elementos verticais das três regiões climáticas analisadas, dever-se-iam considerar os seguintes valores numa futura revisão do regulamento (Quadro 7-2):

Quadro 7-2 – Proposta de novos coeficientes U máximos admissíveis de elementos opacos (U-W/m²°C)

Elemento da envolvente	Zona climática		
	Lisboa (I ₁)	Bragança (I ₃)	Évora (I ₁)
Elementos exteriores em zona corrente:			
Zonas opacas verticais.....	0,45	0,27	0,45
Zonas opacas horizontais.....	0,28	0,21	0,28
Elementos interiores em zona corrente:			
Zonas opacas verticais.....	0,52	0,52	0,52
Zonas opacas horizontais.....	-(¹)	-(¹)	-(¹)

(¹) – Não foram estudados nesta tese

Relativamente aos limites impostos para o factor solar máximo admissível para os vãos envidraçados com a protecção solar 100% activada (desde que ocupem mais de 5% da área do espaço que servem), conclui-se que são simples de serem cumpridos, bastando recorrer a uma cortina interior opaca, em qualquer um dos três climas.

Atendendo à melhoria significativa que se atingiu com as condições de referência, considera-se ser importante a substituição dos valores máximos admissíveis pelos valores de referência. Deste modo, os respectivos factores solares máximos admissíveis a considerar deverão ser os seguintes:

- Bragança e Lisboa (V₂) – 0,20;
- Évora (V₃) – 0,15.

Também a introdução de vidros duplos trouxe consigo uma redução muito significativa das necessidades energéticas, muito em particular face ao vidro inicial. Ora, atendendo a que no regulamento não existe qualquer imposição quanto ao coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados, conclui-se que na revisão do regulamento este ponto deva ser incluído.

Pela análise dos valores de referência, constatou-se que o valor de U de 3,30 W/m²°C proposto para a região de Bragança (I₃) só era atingido recorrendo a um vidro duplo, ainda que com caixilharia metálica sem corte térmico, já em Lisboa, o valor de referência era cumprido sem se ter de recorrer a vidros duplos.

Deste modo, no intuito de se obterem habitações quase neutras em energia propõe-se que haja uma limitação máxima admissível do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados para as três regiões climáticas do valor de 3,30 W/m²°C, por forma a obrigar à introdução do vidros duplos.

Quanto à globalidade dos actuais valores de referência, verifica-se que estes se adequam muito melhor à situação de Verão do que à situação de Inverno, conseguindo reduzir significativamente os valores de Nvc, que em muitas situações passam a ser quase nulos, quando se recorre ao método adaptativo.

Uma das condições mais relevantes no Verão passa pela inclusão de coberturas de cor clara. Mas, dadas as implicações arquitectónicas que poderiam provir da introdução desta

imposição regulamentar para todas as regiões climáticas do solo nacional, considera-se excessiva a obrigatoriedade desta medida.

Contudo, o regulamento deveria recomendar a inclusão destas cores em coberturas, para que os projectistas pudessem, à partida, pensar em soluções eficientes no Verão.

Já em climas quentes (como o de Lisboa e o de Évora) esta medida ganha um peso muito substancial, pelo que pode mesmo fazer sentido a introdução desta nova imposição regulamentar.

No caso das cores das paredes, que não têm qualquer imposição no RCCTE, verifica-se que a utilização de cores claras em climas quentes é muito desejável no Verão, devendo por isso ser introduzida nas condições de referência para estas regiões.

Já em climas frios como o de Bragança (I_3), a introdução de cores escuras na envolvente opaca vertical deve ser adequadamente analisada, podendo ser globalmente positiva, atendendo aos ganhos solares na estação do Inverno.

Quanto aos valores de referência, estes podem ser interpretados como a qualidade mínima que o RCCTE considera para a envolvente dos edifícios. Assim, podem constituir uma ferramenta importante para informar o mercado da tendência construtiva que deve ser tomada.

Desta forma, considera-se que estes devem ser substituídos por aqueles que são necessários cumprir para que se atinjam as soluções *Passivhauss*.

Assim, para além do que já foi exposto para as cores a considerar na cobertura e em paredes, considera-se que deverão existir alterações no que concerne aos limites dos coeficientes de transmissão térmica, às renovações horárias de ar, ao factor solar dos vãos envidraçados com a protecção solar 100% activada e até na introdução de alguns sistemas activos em determinadas circunstâncias.

Relativamente aos coeficientes de transmissão térmica, a primeira conclusão a retirar é que, sendo valores que devem procurar as directrizes da *Passivhauss*, poderá haver necessidade de uma divisão da região I_1 em duas sub-regiões, tal como é feito para o Verão.

Isto porque, apesar dos Invernos de Lisboa e de Évora serem classificados na mesma zona climática, o segundo é mais rigoroso que o primeiro e necessita de um valor de isolamento térmico superior.

Para além disto, para que se cumpram os 15 kWh/m².ano em Bragança (I_3), concluiu-se que é necessário modificar o paradigma construtivo actual, utilizando espessuras de isolamento térmico semelhantes às utilizadas em climas frios da Europa, por forma a obter coeficientes de transmissão térmica muito reduzidos.

Relativamente aos tipos de vidros a utilizar, verificou-se que existe uma grande melhoria na utilização de vidros duplos de isolamento térmico reforçado.

Quanto aos vidros termorreflectores, estes devem ser adequadamente estudados caso a caso, pois sem um correcto dimensionamento da envolvente aparentam ser globalmente negativos.

Porém, quando utilizados numa envolvente adequada, têm um contributo importante para a redução das necessidades energéticas na estação de arrefecimento, particularmente em climas quentes.

Atendendo a estas constatações, e sabendo que o valor do coeficiente de transmissão térmica do vidro duplo termorreflector é ligeiramente superior ao do vidro duplo de isolamento térmico reforçado (mas inferior ao vidro duplo comum), considera-se que nas condições de referência deveria haver possibilidade da introdução dos primeiros em climas quentes e dos segundos em climas frios.

Deste modo, os valores de referência a adoptar no que respeita aos valores dos coeficientes de transmissão térmica são os constantes do Quadro 7-3 (com a divisão proposta da região I₁), os quais são cumpridos, em elementos verticais, com 6 cm de isolamento térmico em Lisboa, 9 cm em Évora e 30 cm em Bragança, e em elementos horizontais, com 12 cm de isolamento térmico em Lisboa e em Évora e 30 cm em Bragança.

Quadro 7-3 - Proposta de novos valores de coeficientes de transmissão térmica de referência (U-W/m²°C)

Elemento da envolvente	Zona climática		
	Lisboa (I ₁)	Évora (I ₁)	Bragança (I ₃)
Elementos exteriores em zona corrente:			
Zonas opacas verticais.....	0,45	0,34	0,12
Zonas opacas horizontais.....	0,28	0,28	0,12
Elementos interiores em zona corrente:			
Zonas opacas verticais.....	0,52	0,37	0,13
Zonas opacas horizontais.....	-(¹)	-(¹)	-(¹)
Envidraçados.....	1,80	1,80	1,60

(¹) – Não foram estudados nesta tese

No tocante às renovações horárias, uma redução de 1,0 h⁻¹ para 0,6h⁻¹ implica reduções dos valores de Nic não desprezáveis em climas frios como o de Bragança. De facto, na *Passivhauss* aplicada a climas frios o valor de RPH é fixado neste mesmo valor.

Assim, considera-se que na região climática I₃ deveria existir um valor de referência de RPH de 0,6 h⁻¹. Nas restantes regiões não se impõe qualquer limite, devido ao exposto na *Passivhauss* para climas quentes, já descrito no capítulo 4.

No caso do factor solar dos vãos envidraçados com a protecção solar 100% activada, verificou-se que o estore veneziano era responsável por melhorias em situação de Verão. Atendendo a que há mais soluções com valores inferiores ou iguais a 0,09 (factor solar desta solução para vidros duplos de referência), entende-se que o valor de referência a adoptar para as três soluções deverá ser de 0,10.

Uma outra conclusão a retirar é que é possível a construção de habitações com baixas necessidades energéticas sem recorrer praticamente a sistemas activos. No entanto, em Bragança é aconselhável a introdução de um piso radiante alimentado a energia solar.

Assim, deveria ser aconselhado este tipo de sistema cuja fonte de energia é renovável nas regiões frias como a de Bragança (I₃), facto que poderia ser anexado às condições de referência.

Analisando, agora, a outra parte de RCCTE, referente à produção de AQS, conclui-se que a área proposta de 1 m² por utilizador se adequa perfeitamente ao clima português, pelo que não deverá existir qualquer modificação regulamentar.

Apesar disso, atendendo à importância que o sistema de apoio contém, nomeadamente na classe energética, deveria ser estudado o impacto da imposição de uma eficiência mínima, para que se recorra apenas a sistemas activos eficientes, facto que minora as necessidades energéticas de produção de AQS.

Em relação à classe energética calculada no SCE, conclui-se que esta não espelha correctamente o tipo de construção utilizado, estando demasiadamente dependente, quer da produção de AQS, quer dos restantes sistemas activos.

Esta conclusão é reforçada com a análise realizada na discussão de resultados para a solução inicial (Solução A), que não sendo regulamentar, pode oscilar entre a classe D e a classe A.

Quanto aos limites a atingir, podendo obter-se, como se constatou, uma classificação A com uma construção pouco eficiente, verifica-se ser simples a obtenção de classes elevadas, pelo que deveriam ser equacionados novos limites mais exigentes para as classes energéticas, que terão de ser resultado da alteração, não só do Ni e do Nv, já proposta anteriormente, mas também do Nac, com a possível introdução do limite para as eficiências dos sistemas de apoio.

Por outro lado, sendo uma classificação energética de um edifício, em nenhum ponto entra em linha de conta, ou com o restante consumo de operação, ou com a introdução de microprodução (a não ser que esta seja considerada como fonte de energia para produção de AQS ou para climatização ambiente).

Assim, deveria ser estudada a hipótese de inclusão destes dois pontos, cujo peso no consumo de energia, ou na redução do mesmo (microprodução) têm um impacto relevante nas necessidades energéticas totais do edifício.

Uma das hipóteses a considerar para entrar em linha de conta com a microprodução é a possibilidade de se recorrer a um consumo padrão médio da população portuguesa, ao qual se pode deduzir a energia fornecida por estes sistemas, havendo uma diminuição das necessidades energéticas globais, facto que levaria a obter uma melhor classificação.

Já no tocante ao restante consumo de operação, sendo difícil de prever *a priori* o consumo real do edifício (não se conhecem os electrodomésticos, nem o uso que lhes é dado), deve ser estudada a possibilidade de inclusão de uma página informativa no próprio certificado

energético alusiva à importância da utilização de electrodomésticos eficientes, exemplificando uma poupança energética e monetária relativa à mudança de um padrão menos eficientes para um mais eficiente.

Nessa mesma folha, deveria ser ilustrada a forma de como utilizar passivamente o edifício, por forma a que a população seja devidamente informada sobre a maneira de como manter as condições interiores de conforto, necessitando o mínimo possível de recorrer a sistemas de apoio.

Uma outra medida a considerar neste ponto, prende-se com a simples obrigatoriedade que deveria existir quanto à introdução de estendais (ou de zonas próprias para tratamento de roupa). De facto, a introdução destes sistemas tradicionais permite uma poupança energética significativa.

Assim, se houvesse uma imposição a este respeito, era possível que estes dispositivos fossem pensados de forma adequada pelo Arquitecto logo em fase de projecto, minimizando-se o seu impacto visual.

Poderia ser, também, estudada a hipótese de realização de um outro tipo de certificado energético, realizado para as condições de funcionamento do edifício – certificado em funcionamento.

Este certificado seria informativo e nele já se poderia estimar com algum rigor o consumo de operação, podendo-se informar os utilizadores de medidas a implementar para melhorar a sua eficiência energética.

Assim, atendendo ao exposto, os sinais que o SCE transmite ao mercado prendem-se com a utilização de sistemas activos eficientes em vez do recurso a uma construção adequada. Logo, respondendo à pergunta que intitula esta tese, o actual SCE (na vertente residencial) não fomenta a procura da sustentabilidade.

No entanto, para além da maior exigência proposta e para além da imperativa alteração do RCCTE, deverá ser introduzida uma outra modificação para o cálculo da classe energética, que dê muito mais peso à componente passiva.

Uma possibilidade é que a razão $R=N_{tc}/N_t$ passe a ser uma média ponderada, quer das necessidades energéticas em energia primária, quer das necessidades nominais em energia para climatização ambiente. Deste modo, haveria um peso considerável da componente passiva, tal como pode ser expresso pela equação (4):

$$R = \frac{\frac{N_{tc}}{N_t} + \frac{N_{ic}}{N_i} + \frac{N_{vc}}{N_v}}{3} \quad (4)$$

Com esta ponderação, a solução inicial não regulamentar da vivenda (Solução A) para o clima de Évora, já não oscilava entre a classe A e a D, dada a importância do valor elevado de N_{ic} e de N_{vc} .

Efectivamente, a solução mais ineficiente mantinha-se na classe D e a solução mais eficiente, passava para a classe C, facto que é compreensível, dada a grande melhoria de eficiência nos sistemas activos.

Como resumo das conclusões desta tese, refira-se que, embora o actual RCCTE e o SCE não se ajustem ao novo paradigma vigente na revisão da Directiva 2002/91/CE, podem tornar-se numa ferramenta efectiva na procura da construção sustentável, se se aumentar a sua exigência, tendo esta dissertação servido para ilustrar alguns possíveis pontos a alterar para a obtenção destes novos objectivos.

7.2. Trabalhos futuros

Depois de concluída esta tese, verifica-se que existe a necessidade de realização de outros trabalhos, que possam contribuir para uma adequada modificação do SCE, por forma a que procure a quase neutralidade em energia.

Assim, o primeiro trabalho passa pela realização de outros estudos desta índole para as regiões climáticas não estudadas, por forma a que se obtenham todos os valores a alterar para a globalidade do clima nacional.

Para além disto, deveria ser realizada uma comparação entre os resultados da Norma ASHRAE 55-2004 e da Norma EN 15251, por forma a que se documente o que nesta tese foi conceptualmente discutido.

Um outro ponto não avaliado nesta dissertação prendeu-se com a componente económica, pelo que deveriam ser estudadas com pormenor as implicações monetárias que são introduzidas com as medidas propostas nesta dissertação.

Por outro lado, nesta dissertação avaliaram-se as medidas a incluir em construção nova, mas atendendo ao exposto no capítulo 2, no qual se debateu o potencial de reabilitação existente no mercado, a reabilitação energética deveria ser alvo de estudo, por forma a que se atinjam edifícios quase neutrais em energia.

Relativamente à parede de Trombe (não ventilada), seria interessante a realização de um estudo que possibilitasse o dimensionamento expedito destes elementos para as diferentes regiões climáticas, indicando os valores óptimos para as suas dimensões, que melhorem o desempenho do edifício no Inverno, sem comprometer o conforto no Verão.

Como o SCE também é composto pelos edifícios de serviços e não só pelos residenciais, propõe-se a realização de uma análise similar à efectuada nesta dissertação, mas à luz do RSECE, para que também este possa ser modificado a fim de se atingirem os objectivos da revisão da Directiva 2002/91/CE.

Por outro lado, no capítulo 3 foi referida a importância da realização de um estudo de análise de ciclo de vida do edifício, no qual se entra com a energia incorporada nos materiais.

Este tipo de energia é negligenciado pelo SCE, mas pode ter um peso muito significativo no impacto energético do mesmo. Assim, deveria ser avaliada a hipótese de inclusão de factores

de bonificação no SCE, aquando da utilização de materiais com baixo impacto energético, facto que deverá ser alvo de um adequado estudo futuro.

Por outro lado, concluiu-se que o restante consumo de operação tem um peso muito significativo no consumo anual de energia. Deste modo, deveriam ser realizados outros estudos a nível nacional, para que se possa entrar com esta variável no SCE.

Do mesmo modo, deveriam ser avaliadas outras hipóteses de alteração da forma como é calculada a classe energética, para que se possa dar um peso maior à componente passiva.

Por fim, e atendendo a que a possível evolução da quase neutralidade em energia pode passar para uma inclusão de edifícios regenerativos (isto é, que produzam mais energia do que a que consomem), também deverão ser realizados estudos sobre a forma como é possível atingir estes objectivos, quer do ponto de vista técnico, como do ponto de vista económico.

Referências bibliográficas

- Aelenei, D. (2008). RCCTE “light”, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, Portugal.
- Associação Industrial do Poliestireno Expandido – ACEPE – site da Internet: www.acepe.pt, visitado pela última vez em 1 de Outubro de 2010.
- Agência para a Energia – ADENE – site da Internet: www.adene.pt, visitado pela última vez em 1 de Outubro de 2010.
- Agência para a Energia – ADENE (2004). Eficiência Energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial, ADENE, Lisboa, Portugal.
- Agência para a Energia – ADENE (2009a). Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), site oficial da ADENE em www.adene.pt.
- Agência para a Energia – ADENE (2009b). Nota Técnica NT-SCE-01 – Método de cálculo simplificado para a certificação energética de edifícios existentes no âmbito do RCCTE, Agência para a Energia – ADENE, Lisboa, Portugal.
- Agência para a Energia – ADENE (2009c). Perguntas & Respostas sobre o RCCTE – Versão de Trabalho 1.6, Agência para a Energia – ADENE, Lisboa, Portugal.
- Agência Portuguesa do Ambiente – APA; Vilão, R.; Venâncio, C.; Gervásio, I.; Liberal, P. (2009). SIDS Portugal Indicadores-chave 2009, Agência Portuguesa do Ambiente, Portugal.
- Aguiar, R.; Coelho, R.; Carvalho, M. (2010). Manual Solterm versão 5.1, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P. – Unidade de Análise Energética e Alterações Climáticas, Lisboa, Portugal.
- Amado, M. (2005). Planeamento Urbano Sustentável, Caleidoscópio, Portugal.
- Barbier, E. B.; Burgess, J. C.; Folke, C. (1994). Paradise lost? – The Ecological Economics of Biodiversity, Earthscan, Londres, Inglaterra.
- Bessa, R. (2010). Edifícios de baixo consumo com sistemas activos de elevada eficiência energética, Conferência no Congresso LiderA 2010, Maio, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.
- Boerstra, A. (2006). The adaptative thermal comfort criterion in the new EPBD IEQ Standard, Windsor Conference, Holanda.
- Bragança, L. e Mateus, R. (2007). Sustentabilidade de soluções construtivas, Universidade do Minho, Portugal.
- Bragança, L.; Almeida, M.; Mateus, R. (2008). State of the Art: Portugal, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Portugal.
- Brundtland, G. H. (1987). Report of the World Commission on Environment and Development, ONU, Noruega.
- Castro, P. J. (2010). Passivhauss na Alemanha – de “case study” a regulamento em apenas 20 anos, Conferência no Congresso LiderA 2010, Maio, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.

- Centre Scientifique et Technique d' du Bâtiment – CSTB (2006). Certificat Acotherm – Reglement et Cahiers des Prescriptions Techniques, CSTB, Paris, França.
- Cepinha, E. (2007). A certificação energética de edifícios como estratégia empresarial do sector da construção, Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.
- Chen, T.Y.; Burnett, J.; Chau, C.K. (2001). Analysis of embodied energy use in the residential buildings of Hong Kong, Energy, Volume 26, pp. 323-340.
- Chvatal, K. (2007). Relação entre o nível de isolamento térmico da envolvente dos edifícios e o potencial de sobreaquecimento no Verão, Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Comissão Europeia (2005). Acções Comuns para o Crescimento e o Emprego: o Programa Comunitário de Lisboa, COM(2005) 330 final, Bruxelas, Bélgica.
- Comissão Europeia (2007). Livro Verde sobre a adaptação às alterações climáticas na Europa – possibilidades de acção da União Europeia, COM(2007) 354 final, Bruxelas, Bélgica.
- Comissão Europeia (2005). Livro verde sobre a eficiência energética, COM(2005) 265, Bruxelas, Bélgica.
- Comissão Europeia (2006). Livro verde sobre a estratégia europeia para uma energia sustentável, competitiva e segura, COM(2006) 105 final, Bruxelas, Bélgica.
- Comissão Europeia (2006). Plano de acção para a Eficiência Energética: Concretizar o Potencial, COM(2006) 545 final, Bruxelas, Bélgica.
- Comissão Europeia (2000). Plano de acção para melhorar a eficiência energética na Comunidade Europeia, COM(2000) 247 final, Bruxelas, Bélgica.
- Comissão Europeia (2008). Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast), COM(2008) 780 final, Bruxelas, Bélgica.
- Comité das Regiões (2009). Projecto de parecer do Comité das Regiões – energia: análise estratégica e rendimento dos edifícios, Jornal Oficial da União Europeia, Bruxelas, Bélgica.
- Comité Europeu de Normalização – CEN (2005). prEN 15217:2005 – Energy performance of buildings – Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings, CEN, Bruxelas, Bélgica.
- Comunidade Europeia do Carvão e do Aço (1957). Tratado que Institui a Comunidade Europeia, Jornal Oficial da União Europeia, Roma, Itália.
- Conselho da União Europeia e Parlamento Europeu (2002). Directiva 2002/91/CE, Jornal Oficial da União Europeia, Bruxelas, Bélgica.
- Conselho da União Europeia e Parlamento Europeu (2006). Directiva 2006/32/CE, Jornal Oficial da União Europeia, Estrasburgo, França.
- Conselho das Comunidades Europeias (1991). Directiva 91/565/CEE, Jornal Oficial da União Europeia, Cidade do Luxemburgo, Luxemburgo.
- Conselho das Comunidades Europeias (1992). Directiva 92/42/CEE, Jornal Oficial da União Europeia, Bruxelas, Bélgica.

- Conselho das Comunidades Europeias (1993). Directiva 93/76/CEE, Jornal oficial da União Europeia, Bruxelas, Bélgica.
- Conselho Europeu de Lisboa (2000). Presidency Conclusions, site oficial da comissão europeia em <http://ec.europa.eu/archives/growthandjobs>.
- Correia, N. (2008). Programa de cálculo automático para aplicação do RCCTE com caracterização de pontes térmicas, Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.
- Cype Ingenieros – site da internet: www.cype.pt, visitado pela última vez em 1 de Outubro de 2010.
- Deutsche Energie-Agentur GmbH (2006). Green Building – enhanced energy efficiency for non-residential buildings, Deutsche Energie-Agentur GmbH, Berlim, Alemanha.
- Dietz, S. e Neumayer, E. (2006). Weak and Strong Sustainability in the SEEA: concepts and measurement, Ecological Economics, Volume 61 – 4, pp. 617-626
- Direcção Geral de Geologia e Energia – DGGE (2010). Estatísticas – Indicadores Energéticos, DGGE, disponíveis em www.dgge.pt.
- EDP Serviço Universal – EDPSU (2010). Dados sobre a origem da electricidade comercializada, disponíveis em <http://www.edpsu.pt/pt/origemdaenergia/>.
- Ekins, P.; Simon, S.; Deutsch, L.; Folke, C.; De Groot, R. (2003). A framework for the practical application of the concepts of critical natural capital and strong sustainability, Ecological Economics, Volume 44, pp. 165-185.
- Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (2009). Plano de Promoção da Eficiência no Consumo da Energia Eléctrica para 2009-2010 (PPEC), Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, Lisboa, Portugal.
- Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory (2009a). Getting Started with Energyplus, US Department of Energy, Estados Unidos da América.
- Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory (2009b). Energyplus Engineering Reference, US Department of Energy, Estados Unidos da América.
- Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory (2009c). Input Output Reference, US Department of Energy, Estados Unidos da América.
- Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory (2009d). Output Details and Examples, US Department of Energy, Estados Unidos da América.
- Eurostat (2010). Energy dependency, Eurostat, disponível na página da Internet do Eurostat em <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>.
- Eurostat (2010). Final Energy consumption by sector, Eurostat, disponível na página da Internet do Eurostat em <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>.
- Ewing, B.; Goldfinger, S.; Wackernagel, M.; Stechbart, M.; Rizk, S.; Reed, A.; Kitzes, J. (2008), The Ecological Footprint Atlas 2008, Global Footprint Network, Estados Unidos da América.

- Ferreira, J. e Pinheiro, M. (2010). Is the Portuguese Energetic Certification of Buildings an efficient tool to achieve the sustainability?, Conferência Portugal SB10 Sustainable Building Affordable to all, Março, pp. 729-736, Vilamoura, Portugal.
- Ferreira, R. e Freire, W. (2004). Eficiência da estabilização do solo e qualidade de tijolos prensados de terra crua com aditivos químicos, avaliadas pela combinação de testes destrutivos e não-destrutivos, Engenharia Agrícola, v. 24, n.3, pp. 501-511, Brasil.
- Freitas, V. P. (2009). Aplicação do RCCTE – Ajustes necessários, Conferência na Ordem dos Engenheiros – Região Norte, Barcelos, Portugal.
- Freitas, V. P. de (2007). Implicações construtivas do novo RCCTE na concepção de paredes de alvenaria, Seminário sobre Paredes de Alvenaria, LNEC, Novembro, pp. 87-102, Lisboa, Portugal.
- Garrido, J. (2008). Sistemas Energéticos para o sector Edifícios em Portugal: Sustentabilidade e Potencial de Inovação, Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica, Portugal.
- Gonçalves, H. e Brotas, L. (2007). A Norma *Passivhaus* em climas quentes da Europa: Directrizes de projecto para casas confortáveis de baixo consumo energético, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I.P. – INETI, Lisboa, Portugal.
- Gonçalves, H. E Graça, J. (2004). Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I.P. – INETI, Lisboa, Portugal.
- Gouveia, J. (2008). Certificados Brancos – Análise e contributos para a sua aplicação em Portugal, Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Gutés, M. C. (1995). The concept of weak sustainability, Ecological Economics, Volume 17, pp. 147-156.
- Instituto de Meteorologia, IP Portugal (2010). Dados estatísticos sobre acompanhamento do clima, disponíveis em <http://www.meteo.pt/pt/oclima/acompanhamento/>.
- Instituto Nacional de Estatística – INE (2009). Estatísticas da Construção e Habitação, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal.
- Isolani, P; Comini, R.; Clement, F.; Puente, F.; Orlandi, A.; Oliveira, I.; Lima, P.; Beirão, D.; Fornari, A.; Zecchini, S. (2008a). Manual do Consumidor – A utilização racional de energia em edifícios públicos, DECO e ADENE, Lisboa, Portugal.
- Isolani, P; Comini, R.; Clement, F.; Puente, F.; Orlandi, A.; Oliveira, I.; Lima, P.; Beirão, D.; Fornari, A.; Zecchini, S. (2008b). Manual do Consumidor – Eficiência energética nos edifícios residenciais, DECO e ADENE, Lisboa, Portugal.
- Labrincha, J.; Samagaio, A.; Vicente, R.; Leitão, F.; Vicente, J.; Tiago, S. (2006). Subprojecto de Isolamento Térmico – 1º relatório de progresso, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.
- Langdon, D. (2007). Life Cycle Costing (LCC) as a contribution to sustainable construction: a common methodology, disponível no site da Comissão Europeia em <http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/construction/competitiveness/life-cycle-costing>.
- Lauria, A. (2007). Sustentabilidade na Construção, Verlag Dashöfer, Lisboa, Portugal.

- Leal, V.; Ferreira, H.; Fernandes, E. (2008). Relating Energy Indicators of Regulations to Passive Comfort in Residential Buildings, 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, 22 a 24 de Outubro, artigo n.º 378, Dublin, Irlanda.
- Legislação Alemã (2003). DIN 4108 - Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Alemanha.
- Legislação Portuguesa (1951). Decreto-Lei n.º 38 382 de 7 de Agosto de 1951 – Regulamento Geral das Edificações Urbanas, Diário da república, Portugal.
- Legislação Portuguesa (2004). Resolução do Conselho de Ministros nº 119/2004, Diário da República I – Série B, Portugal.
- Legislação Portuguesa (2006a). Decreto-Lei nº 78/2006 de 4 de Abril, Diário da República I – Série B, Portugal.
- Legislação Portuguesa (2006b). Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de Abril – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios - RSECE, Diário da República I – Série B, Portugal.
- Legislação Portuguesa (2006c). Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios - RCCTE, Diário da República I – Série B, Portugal.
- Legislação Portuguesa (2006d). Resolução do Conselho de Ministros nº 104/2006, Diário da República I – Série B, Portugal.
- Legislação Portuguesa (2008a). Resolução do Conselho de Ministros n.º 1/2008, Diário da República I – Série B, Portugal.
- Legislação Portuguesa (2008b). Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, Diário da República I – Série B, Portugal.
- Lobão, R. (2004). Modelo simplificado de previsão do comportamento térmico de edifícios, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.
- Lourenço, P. (2002). Construções em terra – os materiais naturais como contributo à sustentabilidade na construção, Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.
- Marktest (2006). Estatísticas sobre o tempo médio diário que cada português vê televisão, disponível em <http://www.marktest.com/wap/a/n/id~b39.aspx>.
- Marques, N. (s.d.). Vidro Plano para Edifícios, Retirado dos documentos de apoio da cadeira de Materiais de Construção I – 2007/2008, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.
- Mello, F. (2008). Comportamento térmico de edifícios em condições reais de funcionamento, Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.
- Mendonça, P. (2005). Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental das construções solares passivas em climas temperados, Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.

- Ministério da Administração Interna, do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, da Economia e da Inovação e das Obras Públicas, Transportes e Comunicações (2007). Portaria n.º 461/2007, Diário da República Portuguesa – 2.ª Série – N.º 108, Portugal.
- Ministério da Economia (2001). Programa E4 – Eficiência Energética e Energias Endógenas, Ministério da Economia, Lisboa, Portugal.
- Mithraratne, Nalanie e Vale, Brenda (2004). Life cycle analysis model for New Zealand houses, Building and Environment, Volume 39, pp. 483-492.
- Natural resources of Canada (2010). Apresentação do *software RETScreen*, disponível em www.retscreen.net, visitado pela última vez em 1 de Outubro de 2010.
- Nicol, F. e Pagliano, L. (2007). Allowing for thermal comfort in free-running buildings in the new European Standard EN 15251, 28th Conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Ventilation Technologies in the 21st Century, pp. 708-711, Setembro, Grécia.
- P3E – Base de dados da eficiência energética de equipamentos, disponível em equipamentos.p3e-portugal.com, visitado pela última vez em 1 de Outubro de 2010.
- Pearce, D. W. e Atkinson G.D. (1993). Capital theory and the measurement of sustainable development and indicator of “weak sustainability”, Ecological Economics, Volume 8, pp. 103-108.
- Pearce, D.W. e Turner, R.K. (1990). Economics of natural resources and the environment, Harvester Wheatsheaf, Hemel Hempstead.
- Pérez-Lombard, L.; Ortiz, J.; Pout, C. (2007). A review on buildings energy consumption information, Energy and Buildings, Volume 40, pp. 394-398.
- Photovoltaic Geographical Information System – PVGIS (2010a). Global irradiation and solar electricity potential – Horizontally mounted photovoltaic modules – Portugal, disponível em http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_hor/pvgis_solar_horiz_PT.png.
- Photovoltaic Geographical Information System – PVGIS (2010b). Global irradiation and solar electricity potential – Optimally-inclined photovoltaic modules – Portugal, disponível em http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_opt/pvgis_solar_optimum_PT.png.
- Pires, L.; Silva, P.; Castro, J. (2005). A importância do consumo energético dos edifícios na Europa: soluções propostas para a sua redução, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal.
- Pinheiro, M. (2006). Ambiente e Construção Sustentável, Instituto do Ambiente, Portugal.
- Pinheiro, M.; Xisto, B.; Chaves, D.; Nunes, D.; Soeiro, J.; Esquível, M. (2010). Manual para projectos de licenciamento com sustentabilidade segundo o LiderA – Caso HEXA – Licenciamento de novas edificações (draft), LiderA, Portugal.
- Plataforma Casa Certificada – site da Internet: www.casacertificada.pt, visitado pela última vez a 1 de Outubro de 2010.
- Population Division Department of Economic and Social Affairs United Nations Secretariat (1999). The world at six billion, Organização das Nações Unidas – ONU, Estados Unidos da América.

- Preceram Indústrias de Construção – site da Internet: www.preceram.pt, visitado pela última vez em 1 de Outubro de 2010.
- Presidência do Conselho de Ministros (2008a). Estratégia de Lisboa – Programa Nacional de Reformas – Portugal – Novo Ciclo 2008-2010 (PNR), Gabinete do Coordenador Nacional da Estratégia de Lisboa e do Plano Tecnológico, Lisboa, Portugal.
- Presidência do Conselho de Ministros (2008b). Lisbon Strategy – National Plan of Reforms (PNR) – Portugal, Gabinete do Coordenador Nacional da Estratégia de Lisboa e do Plano Tecnológico, Lisboa, Portugal.
- Presidência do Conselho de Ministros (2005). Programa Nacional de Acção para o Crescimento e o Emprego 2005/2008 (PNACE 2005/2008), Gabinete do Coordenador Nacional da Estratégia de Lisboa e do Plano Tecnológico, Lisboa, Portugal.
- Programa Solar Térmico 2009 – site da Internet: www.paineissolares.gov.pt, visitado pela última vez a 10 de Novembro de 2009.
- Projecto *Enerbuilding* (2006). Promover o uso racional de energia e a aplicação de fontes de energia renovável nos edifícios, disponível no site oficial da ADENE em www.adene.pt.
- Organização das Nações Unidas – ONU (1992a). Agenda 21, Organização das Nações Unidas – ONU, Rio de Janeiro, Brasil.
- Organização das Nações Unidas – ONU (1992b). Rio Declaration of Environment and Development, Organização das Nações Unidas – ONU, Rio de Janeiro, Brasil.
- Organização das Nações Unidas – ONU (1997). Protocolo de Quioto, Organização das Nações Unidas – ONU, Quioto, Japão.
- Ramalheira, F. (2005). Manual de boas práticas de escolha de vãos envidraçados – Exigências funcionais de vãos envidraçados, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Rego, A.; Ferreira, L.; Prieto, M.; Ascenso, J. (2003). Química Geral – Teoria, Documento de apoio à Cadeira de Química Geral, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.
- Rodrigues, A.; Piedade, A.; Braga, A. (2009). Térmica de Edifícios, Edições Orion, Amadora, Portugal.
- Roca, M.; Roca, Z.; Oliveira, J. (2009). Expansão das segundas residências em Portugal, 2º Congresso Lusófono de Ciência Regional, 6 a 11 de Julho, pp. 2448-2474, Cidade da Praia, Cabo Verde.
- Roriz, L. e Silva, O. (2008). Efeitos da metodologia aplicada na simulação energética de edifícios, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.
- Roriz, L.; Rosendo, J.; Fernando, L.; Calhau, K. (2010). Energia solar em edifícios, Edições Orion, Lisboa, Portugal.
- Roriz, L. E Rosendo, J. (2010). Sistemas Solares em Edifícios, Documento de apoio ao seminário no Instituto Superior Técnico, Abril, Lisboa, Portugal.
- Salazar, J. e Meil, J. (2009). Prospects for carbon-neutral housing: the influence of greater wood use on the carbon footprint of a single-family residence, *Journal of Cleaner Production*, Volume 17, pp. 1563-1571.

- Santos, C. e Matias, L. (2006). ITE – 50: Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios – Versão actualizada 2006, Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, Lisboa, Portugal.
- Segurado, R.; Sabdrina, P.; Ferreira, V.; Alves, L. (2008). Estratégia da Energia e Alterações Climáticas para o Município de Cascais, IDMEC – Pólo do IST, Lisboa, Portugal.
- Silva, A. (2008). Potencial de Poupança Energética no Parque Residencial Português, Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, Portugal.
- Silva, P. (2006). Análise do comportamento térmico de construções não convencionais através da simulação em *VisualDOE*, Tese de Mestrado, Universidade do Minho – Departamento de Engenharia Civil, Portugal.
- Silva, P.; Silva, S.; Almeida, M.; Bragança, L. (2009). Accuracy of the Portuguese EPBD implemented thermal performance calculation procedures – RCCTE, Eleventh International IBPSA Conference, 27 a 30 de Julho, pp. 2106-2112, Glasgow, Escócia.
- Silva, Pedro; Almeida, M.; Bragança, L.; Mesquita, V. (2009). Methodology to enhance the Portuguese Thermal Regulation accuracy for existing buildings, Eleventh International IBPSA Conference, 27 a 30 de Julho, pp. 576-583, Glasgow, Escócia.
- Silva, P.; Bragança, L.; Almeida, M. (2007). The calculation model of the new Portuguese Thermal Regulation – put side by side with dynamic simulation, Portugal SB07 Sustainable Construction, Materials and Practices, Part 1, IOS Press, pp. 90-97, Portugal.
- Silva, M. e Almeida, M. (2006). The optimization of the overall comfort in buildings, Climamed Congress, 20 a 21 de Novembro, pp. 489-498, Lyon, França.
- Simões, F. (2007). A qualidade térmica da terra e o desafio da regulamentação energética, Orbis, Lisboa.
- Simulador Energético Casa + – site da Internet: www.casamais.adene.pt, visitado pela última vez em 1 de Outubro de 2010.
- Sofalca – Aglomerados de Cortiça – site da Internet: www.sofalca.pt, visitado pela última vez em 1 de Outubro.
- Solow, R. (1974). Intergenerational equity and exhaustible resources, Rev. Econ. Study, Symposium, pp. 29-45.
- Sousa, A. (2000). Manual de Alvenaria de Tijolo, Associação Portuguesa da Indústria Cerâmica, Lisboa, Portugal.
- Tirone, L. e Nunes, K. (2007). Construção Sustentável, Tirone Nunes S.A., Sintra, Portugal.
- U.S. Census Bureau (2009). World Population by Age and Sex, U.S. Census Bureau, EUA.
- Valério, J. (2007). Avaliação do impacte das pontes térmicas no desempenho energético de edifícios residenciais correntes, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.
- Viegas, J. C. (2002). Ventilação Natural de edifícios de habitação, Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, Lisboa, Portugal.
- Wackernagel, M. e Rees, W. (1996). Our Ecological Footprint – Reducing Human Impact on the Earth, New Society Publishers, Canadá.

- Yohanis, Y.G. e Norton, B. (2002). Life Cycle operational and embodied energy for a generic single-storey office building in the UK, Energy, Volume 27, pp. 77-92.

ANEXOS

Anexos

Lista de Anexos

- Anexo I – Peças Desenhadas do edifício HEXA
- Anexo II – Metodologia utilizada no *Energyplus 4.0*
- Anexo III – Necessidades energéticas de climatização
- Anexo IV – Necessidades energéticas de produção de AQS
- Anexo V – Classes energéticas
- Anexo VI – Restante consumo de operação
- Anexo VII – Exemplo de ficha de cálculo do RCCTE

Anexo I – Peças desenhadas do edifício HEXA

Lista das Peças desenhadas

- Peça Desenhada n.º 1 – Planta do piso-tipo do edifício HEXA (multifamiliar)
- Peça Desenhada n.º 2 – Alçado principal do edifício HEXA (multifamiliar)
- Peça Desenhada n.º 3 – Alçado de tardoiz do edifício HEXA (multifamiliar)
- Peça Desenhada n.º 4 – Corte AA' do edifício HEXA (multifamiliar)
- Peça Desenhada n.º 5 – Corte BB' do edifício HEXA (multifamiliar)
- Peça Desenhada n.º 6 – Planta do edifício HEXA (vivenda)

Anexo II – Metodologia utilizada no *Energyplus 4.0*

Tal como descrito no decorrer do corpo da dissertação, o programa de simulação dinâmica utilizado foi o *Energyplus 4.0*. Trata-se de um programa desenvolvido pelo *US Department of Energy* que calcula as cargas de aquecimento e de arrefecimento de um edifício, permitindo a introdução de inúmeros parâmetros e de inúmeras condições de utilização do edifício (Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009a).

Embora seja um programa muito versátil, a introdução dos dados é feita de forma muito repetitiva recorrendo a um interface pouco intuitivo (visível na figura A.II-1) – *IDF Editor*. Desse modo, neste anexo descreve-se brevemente a forma de introdução dos dados mais relevantes para as simulações efectuadas na presente dissertação.

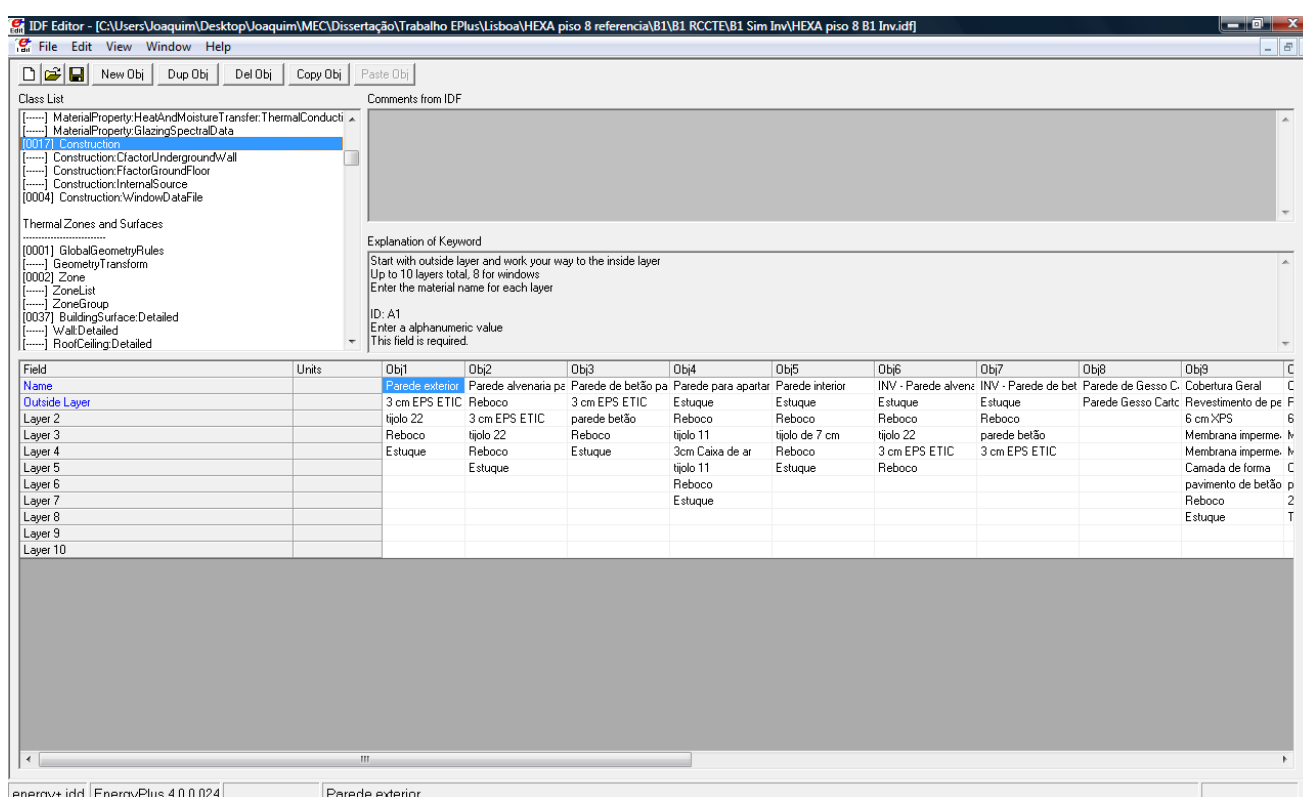


Figura A.II-1 – Ambiente de trabalho do *IDF Editor*

Nesta aplicação, o primeiro bloco de dados a introduzir prende-se com a descrição dos parâmetros de simulação (*Simulation Parameters*), dos quais se destaca o ponto *Building*. Trata-se de uma importante secção, já que é nela que se descrevem os parâmetros gerais do edifício.

De facto, para além de permitir a atribuição de um nome ao edifício (HEXA, neste caso), permite alterar expeditamente a orientação solar do edifício, em relação ao Norte verdadeiro, indicando a rotação em graus – *North Axis* (Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009c).

Para além disso, para que o programa calcule com maior rigor a forma como o vento incide nas fachadas do edifício, é também neste ponto que se indica qual a rugosidade do solo a considerar – *Terrain*, devendo escolher-se a opção *city* para ambientes no interior de cidades e a opção *country* para zonas rurais.

Em termos do máximo desvio a admitir para cálculos de convergência, admitiu-se um desvio máximo de 0,001 unidades (*Loads Convergence Tolerance Value* e *Temperature Convergence Tolerance Value*).

O próximo bloco de dados relevante prende-se com a descrição, em traços gerais, da localização do edifício – *Location and Climate*. Embora existam inúmeros pontos passíveis de serem preenchidos, o ponto que merece especial atenção é o *Run Period*.

De facto, é neste ponto que se indica qual o período de simulação (neste caso de 1 de Janeiro a 31 de Dezembro), referindo que o primeiro dia de simulação deverá corresponder ao primeiro dia do Ficheiro Climático.

Passados estes pontos introdutórios, o *IDF Editor* apresenta o bloco *Schedules*. Atendendo a que o *Energyplus* é um programa que permite a introdução de vários parâmetros variáveis hora a hora para cada dia do ano, é neste bloco que se introduzem as diferentes variáveis a analisar.

Em primeiro lugar, definem-se os dois tipos de variáveis possíveis de serem utilizados – fracções e variáveis contínuas – *Schedule Time Limits*.

Depois, é imprescindível a realização de um calendário diário para cada dia tipo de diferentes períodos temporais (por exemplo, Verão e Inverno), no qual se indica o valor de cada variável hora a hora – *Schedule Day: Hourly*.

De seguida, é necessário alocar esse mesmo dia tipo a cada semana tipo, no qual se indica qual o dia de cálculo a utilizar para cada diferente dia da semana – *Schedule Day: Weekly*.

Por fim, uma vez descritas todas as semanas tipo, estas são introduzidas no calendário anual, recorrendo ao *Schedule Year*.

Este trabalho deve ser realizado sempre que se define uma variável nova. Como a cada calendário anual se atribui um nome, isto permite que este seja chamado no ponto respectivo de cada variável a definir, ponto esse no qual o programa indica qual a unidade a utilizar.

Para uma percepção mais simples deste raciocínio, tome-se como exemplo a carga de aquecimento devida aos ganhos internos. Num ponto posterior ver-se-á que é necessário definir qual a carga máxima a admitir (4 W/m^2) e qual a fracção dessa carga que se encontra disponível hora a hora para o ano inteiro.

Atendendo a que se assume, simplificada, que estes ganhos são constantes ao longo do tempo, tem que se definir um calendário diário, com o nome de *Qi horário* com o valor de 1 para cada hora do dia (fracção unitária). Depois, realiza-se o calendário semanal – *Qi semanal*, para cada dia da semana, no qual se indica que se deve recorrer ao calendário *Qi horário*. Para

o ano inteiro diz-se que, do dia 1 de Janeiro até ao dia 31 de Dezembro, se utiliza sempre o calendário semanal *Qi semanal*, criando-se, assim, o *Qi anual*.

Ora, no ponto relativo aos ganhos internos, o único calendário que é invocado é o *Qi anual*. Este processo pode ser visualizado na figura A.II-2, que exemplifica estes mesmos calendários.

Field	Units	Obj1
Name		Qi horario
Schedule Type Limits Name		Fracao
Hour 1	1	
Hour 2	1	
Hour 3	1	
Hour 4	1	
Hour 5	1	
Hour 6	1	
Hour 7	1	
Hour 8	1	
Hour 9	1	
Hour 10	1	
Hour 11	1	
Hour 12	1	
Hour 13	1	
Hour 14	1	
Hour 15	1	
Hour 16	1	
Hour 17	1	
Hour 18	1	
Hour 19	1	
Hour 20	1	
Hour 21	1	
Hour 22	1	
Hour 23	1	
Hour 24	1	

Field	Units	Obj1
Name		Qi semanal
Sunday Schedule:Day Name		Qi horario
Monday Schedule:Day Name		Qi horario
Tuesday Schedule:Day Name		Qi horario
Wednesday Schedule:Day Name		Qi horario
Thursday Schedule:Day Name		Qi horario
Friday Schedule:Day Name		Qi horario
Saturday Schedule:Day Name		Qi horario
Holiday Schedule:Day Name		Qi horario
SummerDesignDay Schedule:Day Name		Qi horario
WinterDesignDay Schedule:Day Name		Qi horario
CustomDay1 Schedule:Day Name		Qi horario
CustomDay2 Schedule:Day Name		Qi horario

Field	Units	Obj1
Name		Qi anual
Schedule Type Limits Name		Fracao
Schedule:Week Name 1		Qi semanal
Start Month 1		1
Start Day 1		1
End Month 1		12
End Day 1		31

Figura A.II-2 – Exemplo do calendário *Qi anual* no *Energyplus*

Após esta descrição geral do funcionamento do programa, pode passar-se à introdução dos dados referentes à envolvente do edifício – *Surface Construction Elements*.

Este bloco inicia-se com uma secção referente aos materiais a utilizar na envolvente opaca – *Material*. Para cada material a utilizar há que referir obrigatoriamente qual o tipo de rugosidade que apresentam, a sua espessura (m), a sua condutibilidade térmica (W/m.K), a sua massa volúmica (kg/m³) e o seu calor específico (J/kg.K). Opcionalmente podem referir-se os coeficientes de absorção térmica, absorção solar e absorção do visível (ver figura A.II-3).

Field	Units	Obj12
Name		Revestimento de pedra artificial
Roughness		MediumRough
Thickness	m	0.01
Conductivity	W/m-K	1.3
Density	kg/m3	1750
Specific Heat	J/kg-K	1000
Thermal Absorptance		
Solar Absorptance		0.4
Visible Absorptance		

Figura A.II-3 – Exemplo de introdução de um material no *Energyplus*

Para os valores de condutibilidade térmica e da massa volúmica, recorreu-se às tabelas ITE-50 do LNEC, para o calor específico recorreu-se ao estudo de Mendonça (2005) e no caso da absorção solar, recorreu-se aos valores propostos no RCCTE para os elementos da envolvente exterior. Já para a absorção térmica e para a absorção do visível optou-se por adoptar os valores por defeito do programa, tal como se percebe pela análise da figura A.II-3.

No caso dos materiais de isolamento térmico utiliza-se a opção *Material: No Mass*, na qual apenas se introduz a rugosidade, a resistência térmica ($m^2.K/W$), calculada de acordo com a tabela ITE-50 do LNEC, e opcionalmente os coeficientes de absorção térmica, absorção solar e absorção do visível.

No caso das caixas-de-ar, recorre-se à opção *Material: Air Gap*, para a qual só se refere a resistência térmica da caixa de ar, cujos valores utilizados foram os propostos pelo RCCTE.

As soluções construtivas da envolvente opaca ficam concluídas com o separador *Construction*, no qual se indicam do exterior para o interior quais os materiais introduzidos em cada solução (ver figura A.II-4), que foram inseridos nos separadores anteriores.

Field	Units	Objt
Name		Parede exterior
Outside Layer		3 cm EPS ETIC negro
Layer 2		tijolo 22
Layer 3		Reboco
Layer 4		Estuque
Layer 5		

Figura A.II-4 – Exemplo de introdução de uma solução construtiva no *Energyplus*

Para introduzir janelas, embora o programa permita a descrição em separado de cada elemento da janela (material do caixilho, material do envidraçado e gás existente na caixa de ar dos vidros duplos), a forma mais simples de realizar este processo é recorrer ao *software Window 5*, no qual se define expeditamente cada janela a introduzir no edifício, exportando os dados através de um ficheiro de extensão *.dat*.

Este programa, também desenvolvido pelo *US Department of Energy*, como aplicação complementar do *Energyplus*, permite desenhar geometricamente cada janela (figura A.II-5) e introduzir as características de cada elemento do vão envidraçado, recorrendo a uma base de dados com inúmeros tipos de vidro, caixilhos e misturas gasosas, existentes no mercado.

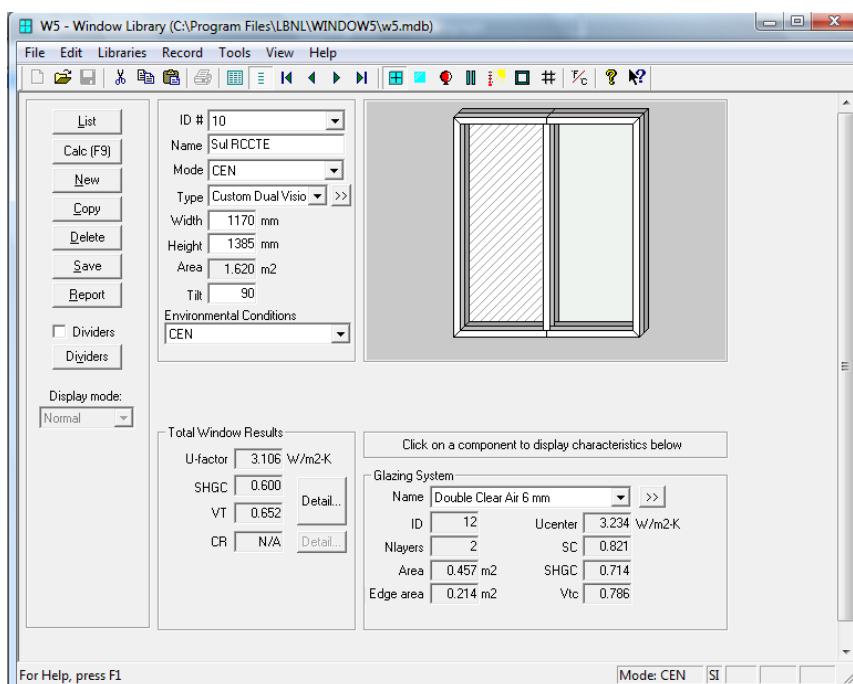


Figura A.II-5 – Ambiente de trabalho do *Window 5*

A partir dos materiais escolhidos para cada componente da janela, o próprio programa calcula o valor do coeficiente U da solução e o valor do factor solar da mesma (SHGC).

Ao exportar o ficheiro em extensão *.dat* para o *Energyplus*, basta chamar cada janela realizada no *Window 5* recorrendo ao ponto *Construction: WindowDataFile*.

No caso do material dos sombreamentos, este é introduzido em separado no *Energyplus*, no separador *Window: MaterialShade*. Neste ponto são pedidos os valores da transmitância, da reflectância (solar e do visível), a sua espessura e a sua condutibilidade térmica. Pede-se, ainda, a distância dos seus limites em relação aos limites da janela e a sua distância ao envidraçado.

Para a introdução destes dados recorreu-se, quer ao proposto nos documentos *Input/Output Reference* e *Engineering Reference*, anexos ao programa, quer ao documento de Daniel Aelenei (2008).

Estando as soluções construtivas totalmente definidas, pode passar-se à introdução da geometria da fracção autónoma em análise. Neste intuito, recorre-se ao bloco de dados *Thermal Zones and Surfaces*.

Após inseridas as opções gerais referentes ao modo de introdução das coordenadas no programa (em *Global Geometry Rules*), é necessário introduzir o número de zonas existentes no caso em análise – separador *Zone*.

Atendendo a que no edifício multifamiliar existe um espaço não útil – caixa de escadas, definiram-se duas zonas: a fracção autónoma e a caixa de escadas. No caso do piso intermédio que está em contacto com um edifício adjacente, também se criou uma zona independente para o efeito.

Já a vivenda, por estar totalmente em contacto com a envolvente exterior, só contém uma zona.

Quando se introduz a parede de Trombe, esta deve ser considerada como uma zona independente, pelo que é necessário introduzir um objecto correspondente dentro deste separador, preenchendo o campo *Zone Inside Convection Algorithm* com a opção *Trombe Wall* (Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009b e 2009c).

Após a definição das diferentes zonas a considerar, introduzem-se as várias paredes, pavimentos e coberturas em questão, coordenada a coordenada, através do separador *Building Surface: Detailed*, que se encontra exemplificado na figura A.II-6.

Neste ponto, para além das coordenadas, o aspecto mais relevante prende-se com a condição de fronteira a considerar em cada objecto, tendo de se afirmar se este está exposto ao vento e/ou ao sol e se se encontra em contacto com o exterior, com outra zona (devendo indicar-se qual), com o solo, ou se a sua superfície está à mesma temperatura que outra superfície (nos casos em que não há perdas através desse elemento, como no exemplo da parede em contacto com outra fracção autónoma, tendo de se chamar a própria superfície).

Field	Units	Obj1
Name		PTP1x
Surface Type		Wall
Construction Name		Pilar
Zone Name		Fracção autónoma
Outside Boundary Condition		Outdoors
Outside Boundary Condition Object		
Sun Exposure		SunExposed
Wind Exposure		WindExposed
View Factor to Ground		autocalculate
Number of Vertices		autocalculate
Vertex 1 X-coordinate	m	0
Vertex 1 Y-coordinate	m	0
Vertex 1 Z-coordinate	m	0
Vertex 2 X-coordinate	m	0
Vertex 2 Y-coordinate	m	0
Vertex 2 Z-coordinate	m	3.39
Vertex 3 X-coordinate	m	0.15
Vertex 3 Y-coordinate	m	0
Vertex 3 Z-coordinate	m	3.39
Vertex 4 X-coordinate	m	0.15
Vertex 4 Y-coordinate	m	0
Vertex 4 Z-coordinate	m	0

Figura A.II-6 – Exemplo de introdução de uma parede no *Energyplus*

Para uma correcta introdução das coordenadas, devem ser respeitadas as regras expostas em *Global Geometry Rules* e introduzi-las como se se estivesse a visualizar o elemento do lado exterior à zona em questão.

Quando uma parede pertence a duas zonas em simultâneo, tem que ser introduzida duas vezes, por ser a envolvente de duas zonas distintas. Assim, como o exterior de uma solução construtiva é o interior da outra, tem que existir uma solução construtiva que é o inverso da solução correspondente à zona principal (ver figura A.II-7).

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Parede de betão para LNA	INV - Parede de betão para LNA
Outside Layer		3 cm EPS ETIC	Estuque
Layer 2		parede betão	Reboco
Layer 3		Reboco	parede betão
Layer 4		Estuque	3 cm EPS ETIC
Layer 5			

Figura A.II-7 – Exemplo de introdução de um elemento construtivo e do seu inverso

No caso da vivenda, cujo pavimento se encontra em contacto com o solo, optou-se por utilizar uma metodologia semelhante à do RCCTE, em que se considera uma perda linear através do perímetro do pavimento em contacto com o solo.

Neste intuito, utilizaram-se os mesmos factores Ψ constantes do regulamento, que são introduzidos no *Energyplus* através da opção *F-Factor Method* (cuja definição constante do Manual de Engenharia do *Energyplus* é similar à do RCCTE – “perda de calor por unidade de temperatura entre o interior e o exterior por unidade de perímetro exposto do pavimento”).

A única diferença deste método de cálculo para o do RCCTE prende-se com o facto de que, enquanto no segundo se consideram as diferenças de temperatura entre o ar interior e o ar

exterior, neste *software* as temperaturas exteriores que são utilizadas são as do solo a 0,5 m de profundidade, constantes do ficheiro climático (Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009b).

Quando se recorre a esta condição de fronteira, é necessário criar uma construção especial no separador *Construction: FfactorGroundFloor*, do bloco de dados *Surface Construction Elements*, indicando qual o perímetro exposto e qual o valor de Ψ . Esta solução construtiva será invocada aquando da criação do objecto correspondente da envolvente do edifício no separador *Building Surface Element*.

Indica-se, também, a área do pavimento, porque esta tem que ser igual à calculada a partir das coordenadas introduzidas em *Building Surface Element*, uma vez que quando tal não acontece, a simulação é abortada, sendo enviada uma mensagem de erro.

Estando definida a envolvente opaca, introduzem-se os vãos envidraçados. O primeiro passo a realizar consiste em inserir o tipo de controlo dos sombreamentos existentes. Para isso, recorre-se ao menu *Window Property: Shading Control*, no qual se invoca o tipo de material de sombreamento em análise – *Shading Device Material Name*.

Posto isto, indica-se se a protecção solar é exterior ou interior e a forma como esta é controlada. Quando se trata das cortinas interiores muito transparentes (situação de Inverno), escolhe-se a opção *Always On* do ponto *Shading Control Name*.

Quando se trata das protecções solares em caso de Verão, não sendo possível a opção de ter apenas 70% da protecção activada (só se pode ter 100% ou 0%), optou-se por definir que sempre que a temperatura se encontra acima de 27°C as protecções solares estão 100% activadas (*On If High Outdoor Air Temperature, Setpoint: 27°C*).

Para introduzir os vãos envidraçado, recorre-se ao separador *Window*, no qual se invoca, quer o tipo de janela a considerar (que foi introduzido em *Construction Window Data File*), quer o tipo de sombreamento a usar, definido no parágrafo anterior.

Como o *software* não permite a introdução de um sombreamento no Inverno e outro no Verão, foram realizadas duas simulações distintas, uma para cada estação, considerando os diferentes tipos de protecções solares utilizados em cada caso.

Pretendendo introduzir-se especialmente a janela, refere-se qual a superfície em que deve ser inserida e indicam-se as coordenadas do ponto de origem da mesma, indicando-se o seu comprimento e a sua largura, que têm que ser iguais aos constantes do documento produzido pelo programa *Window 5*.

É, ainda, neste bloco de dados que se introduzem as palas de sombreamento, quer verticais, quer horizontais – *Shading: Building: Detailed*, definindo-se as suas coordenadas.

Por forma a simular o mesmo sombreamento do horizonte utilizado na metodologia de cálculo do RCCTE, recorreu-se a uma pala vertical cujo ângulo de sombreamento com o ponto médio dos envidraçados era o mesmo do que o considerado nas fichas de cálculo regulamentares.

De modo a concluir a definição de todos os elementos constantes do edifício, é necessário introduzir a massa dos elementos interiores, para que possa ser considerada no cálculo da inércia térmica.

Esta massa é considerada pelo *software* como uniformemente distribuída e é introduzida no separador *Internal Mass*, no qual se introduz o tipo de construção a considerar, a área do mesmo e a zona à qual está alocado (Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009c).

Neste momento, a geometria da fracção autónoma encontra-se totalmente definida, pelo que, para verificar se existe algum erro, fez-se sair em cada fracção um desenho em *AutoCAD*, que se encontra exemplificado na figura A.II-8 para o último piso do edifício multifamiliar.

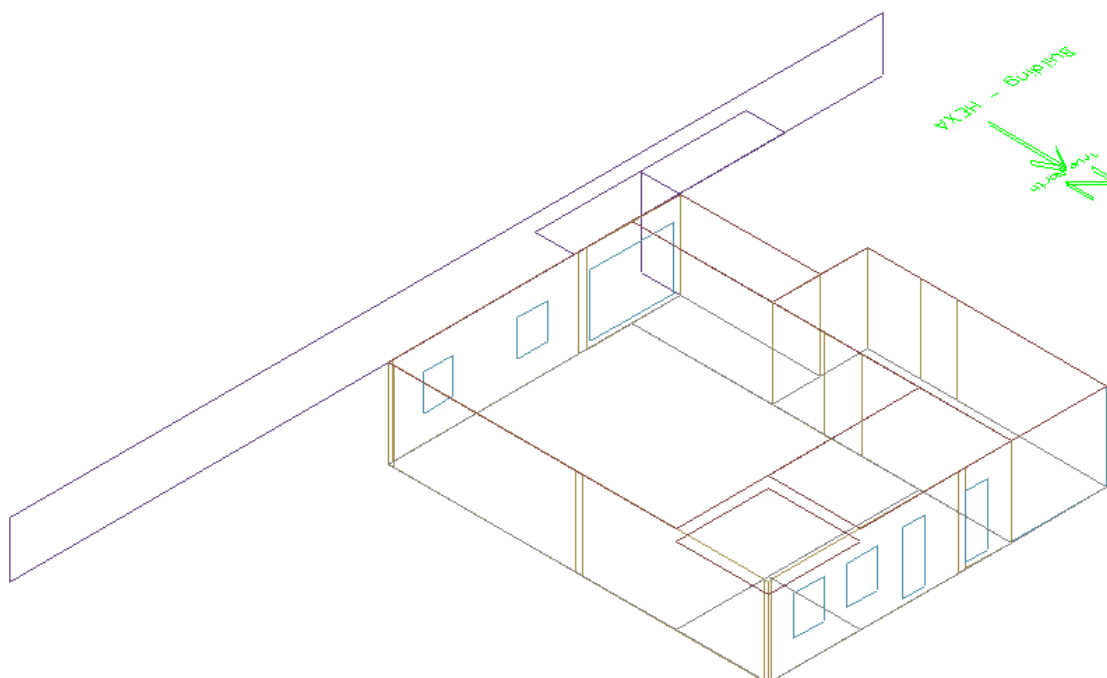


Figura A.II-8 – Exemplo de uma peça desenhada fornecida pelo *Energyplus*

O próximo passo na introdução de dados diz respeito aos ganhos internos, colocados no bloco de dados *Internal Gains*. Pese embora o facto de se poderem introduzir variadas formas de ganhos internos, optou-se por introduzir os mesmos valores propostos pelo RCCTE – 4 W/m^2 , considerados como adequados por Rodrigues *et al.* (2009).

Neste intuito, preenche-se o campo *Electric Equipment*, no qual se refere que os ganhos internos são de 4 W/m^2 no campo *Watts per Zone Floor Area* e que dizem respeito apenas à fracção autónoma (*Zone Name*).

Como o programa permite a introdução de fracções distintas deste mesmo valor de ganhos internos durante o dia, introduz-se um calendário com o valor unitário em todas as horas do ano.

A taxa de renovação horária é introduzida no bloco de dados *Zone Airflow*, no separador *Zone Infiltration: Design Flow Rate*.

Neste ponto é necessário definir a zona a que se está a fazer referência e introduzir o valor de renovações do ar em m^3/s , que se calcula através do volume da fracção autónoma e do valor de RPH introduzido nas fichas respectivas do RCCTE.

Como o programa permite que haja diferentes taxas de renovações do ar durante diferentes dias do ano, criou-se um calendário com o valor unitário para todas as horas do ano.

Na caixa de escadas, se não se introduzir nenhuma taxa de renovação horária, a sua temperatura interior afasta-se dos valores reais, pelo que é necessário introduzir um valor de renovações horárias de 2 h^{-1} , por forma a que não haja desvios nos resultados finais.

Para verificar que este valor não é excessivo, um dos relatórios pedidos ao programa foi a temperatura exterior e a temperatura em cada uma das zonas do programa, tendo-se verificado que a temperatura na caixa de escadas se encontra sempre entre as duas, o que faz sentido, visto tratar-se de um local não aquecido.

Neste momento, todos os dados inerentes ao edifício estão introduzidos. Falta apenas referir qual a banda de temperaturas de conforto que se pretende, por forma a que seja possível o cálculo das necessidades energéticas.

Este ponto é conseguido através da introdução de um aparelho mecânico teórico, que introduz as cargas necessárias para que a temperatura se mantenha nos limiares da banda de conforto, quando tal não é possível naturalmente – *Zone HVAC: Ideal Loads Air System*.

Neste separador, o ponto mais relevante prende-se com a definição de um termóstato que regule este sistema de acordo com os propósitos em análise.

Para invocar este termóstato, há que o criar no separador *Zone Control: Thermostat*, presente no bloco de dados *Zone HVAC Controls and Thermostats*. Neste ponto, refere-se qual a zona a que se refere o termóstato, para que o equipamento descrito fique alocado apenas à fracção autónoma. Para além disso, tem que se chamar um dado *setpoint* a partir do qual o aparelho entra em funcionamento.

Como o *software* permite vários tipos de *setpoints* (referentes a limiares de temperatura e a limiares de conforto), é necessário preencher um outro separador, no qual se refere que existem dois *setpoints* distintos, um para aquecimento e um para arrefecimento – separador *Thermostat Setpoint: Dual Setpoint*.

Aqui, há que realizar dois calendários, um referente ao limiar de conforto no Inverno e outro relativo ao limiar de conforto no Verão. Quando se realizam os cálculos para a banda de conforto entre 20°C e 25°C , estes valores são constantes ao longo de todo o ano. Porém, no caso do método adaptativo no Verão, em que se utiliza a Norma ASHRAE 55-2004, houve necessidade de se criar um calendário com o valor das temperaturas máximas aceitáveis, calculadas para cada mês da estação de arrefecimento.

Uma vez alocado este tipo de *setpoint* ao termóstato, basta alocar o termóstato ao aparelho mecânico, para que o programa mantenha sempre o edifício dentro das condições de conforto descritas.

Neste momento, só falta preencher o bloco de dados referente aos *outputs* (*Output Reporting*), que foi preenchido com a ajuda da lista de variáveis possíveis do documento *Output Details and Examples* (Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009b e 2009d), tendo-se escolhido as seguintes variáveis:

- *Zone/Sys Sensible Heating Energy* – que permite conhecer qual a energia necessária para aquecimento da fracção autónoma (Nic);
- *Zone/Sys Sensible Cooling Energy* – que permite conhecer qual a energia necessária para arrefecimento da fracção autónoma (Nvc);
- *Zone Mean Air Temperature* – que permite verificar se o termóstato está a funcionar de acordo com o pretendido e se a temperatura nas zonas não úteis está na gama das temperaturas expectáveis.

Por último, estes resultados são fornecidos num ficheiro de texto de extensão *.csv*, que é depois convertido numa folha de cálculo do *software MS Excel*, no qual sofrem o devido tratamento matemático.

Em relação ao ficheiro climático, este é introduzido antes de se proceder à simulação do ficheiro produzido no *IDF-Editor*, no campo próprio da janela *EP-Launch*, que se exemplifica na figura A.II-9.

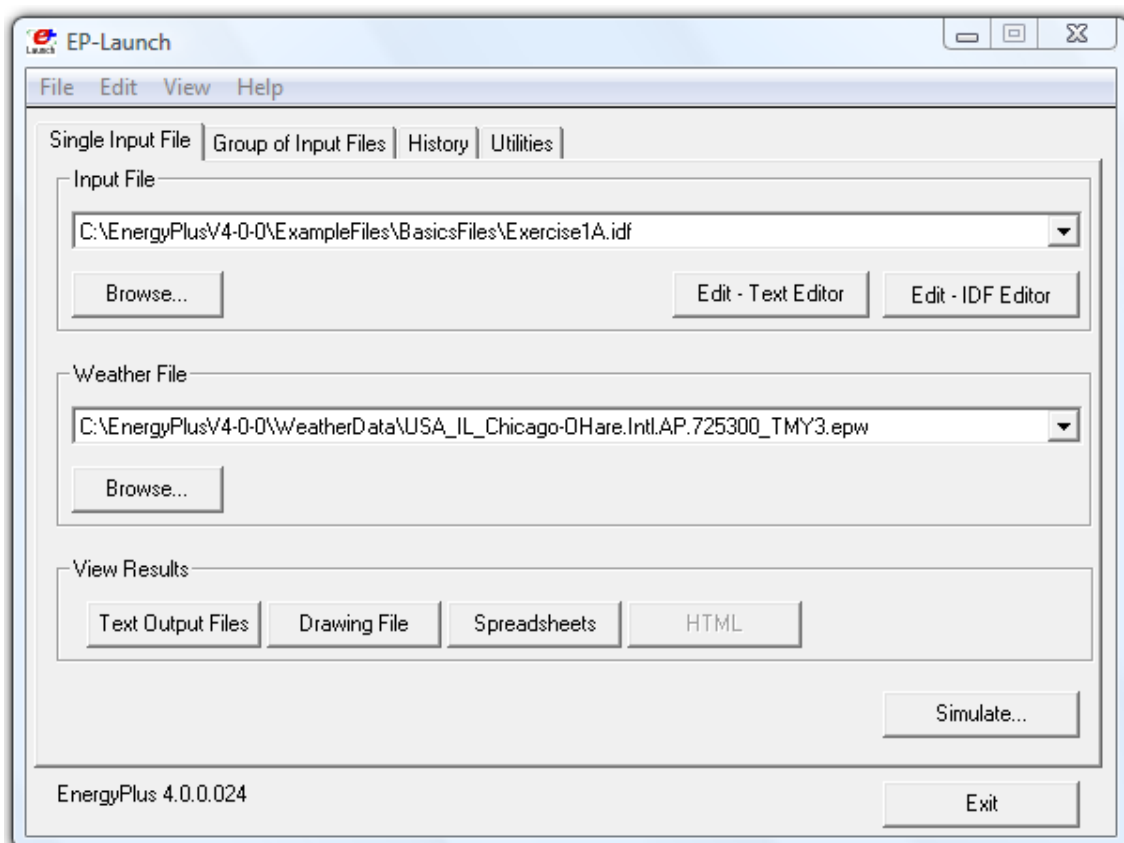


Figura A.II-9 – Ambiente de trabalho do *EP-Launch*

Anexo III – Necessidades energéticas de climatização

Último piso – Lisboa

Quadro A.III-1 – Valores de Nic e de Nvc referentes ao último piso do edifício multifamiliar de Lisboa

(kWh/m ² .ano)	Nic		Nvc			Máx. RCCTE	
	RCCTE	Energyplus	RCCTE	Energyplus (25°C)	ASHRAE 55	Ni	Nv
A	63,18	-	33,19	-	-	57,45	32,00
B1	45,01	43,67	16,27	15,01	1,46		
B2	51,20	-	16,06	-	-		
C1	40,86	38,56	17,06	16,10	1,87		
D1	40,86	43,87	14,45	11,05	0,48		
E1	37,12	38,22	13,31	10,05	0,30		
E2 Inv	32,58	32,56	11,15	11,15	0,54		
E2 Ver	39,41	37,73	12,09	10,07	0,17		
F-E1	40,38	39,18	12,81	8,75	0,17		
F-E2 Inv	36,93	33,54	13,27	9,78	0,33		
G-E1	26,36	25,2	11,73	10,76	0,60		
G-E2 Inv	23,18	19,81	12,14	12,23	1,16		
H-E1	25,66	6,77	12,05	26,45	8,48		
H-E2 Inv	22,48	3,54	12,46	29,27	11,34		
H-E2 Inv + P	-	4,14	-	28,35	10,64		
H-E2 Inv SJ	-	3,54	-	17,49	0,81		
H-E2 Inv II	-	8,44	-	19,44	5,17		
G-E2 Inv + P	-	20,53	-	10,70	0,73		
G-E2 Ver	-	24,51	-	8,86	0,37		

Piso intermédio – Lisboa

Quadro A.III-2 – Valores de Nic e de Nvc referentes ao piso intermédio do edifício multifamiliar de Lisboa

(kWh/m ² .ano)	Nic		Nvc			Máx. RCCTE	
	RCCTE	Energyplus	RCCTE	Energyplus (25°C)	ASHRAE 55	Ni	Nv
A	38,42	-	14,89	-	-	51,51	32,00
B1	28,98	28,32	11,31	18,78	3,50		
B2	32,99	-	11,27	-	-		
C1	23,52	21,96	12,40	21,23	5,36		
D1	23,52	24,73	11,38	19,93	2,96		
E1	18,82	19,89	10,25	15,64	2,57		
E2 Inv	15,03	15,17	10,68	17,64	4,17		
E2 Ver	18,21	17,10	9,04	13,63	2,02		
F-E1	21,08	20,67	9,75	12,05	3,41		
F-E2 Inv	15,88	20,38	10,24	15,39	2,78		
G-E1	15,11	15,41	10,31	15,61	3,24		
G-E2 Inv	11,46	10,91	10,74	17,87	5,27		
H-E1	14,45	4,41	10,57	34,87	17,29		
H-E2 Inv	10,84	4,24	11,01	38,83	22,12		
G-E2 Inv + P	-	11,35	-	15,65	3,77		
G-E2 Ver	-	12,65	-	13,44	2,60		

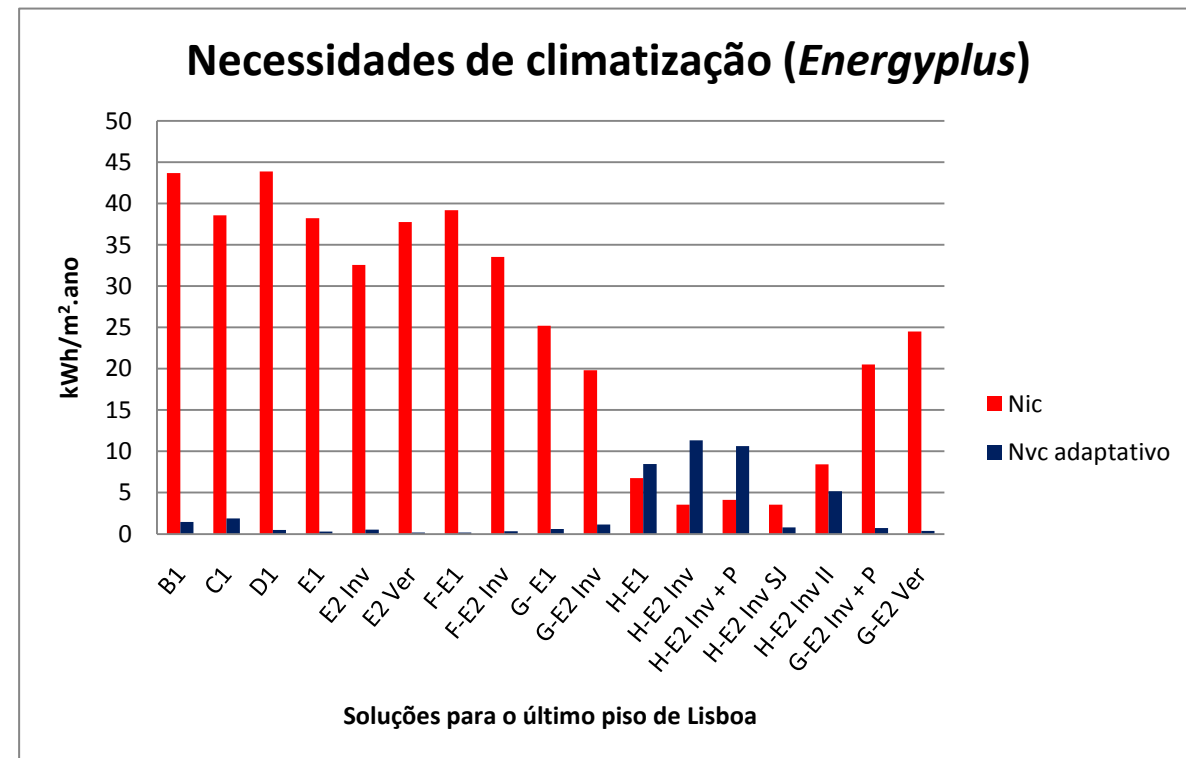


Figura A.III-1 – Valores de Nic e de Nvc adaptativo referentes ao último piso do edifício multifamiliar de Lisboa

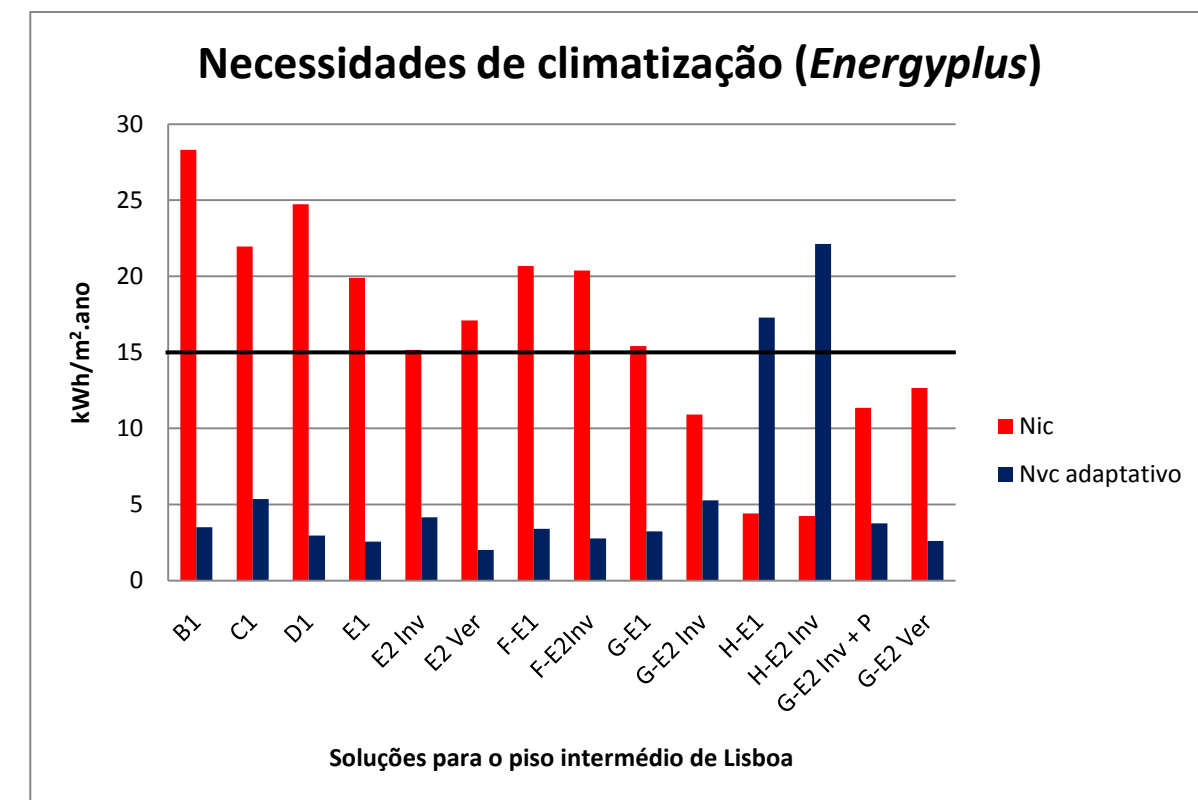


Figura A.III-2 – Valores de Nic e de Nvc adaptativo referentes ao piso intermédio do edifício multifamiliar de Lisboa

Último piso – Bragança

Quadro A.III-3 – Valores de Nic e de Nvc referentes ao último piso do edifício multifamiliar de Bragança

(kWh/m ² .ano)	Nic		Nvc			Máx. RCCTE	
	RCCTE	Energyplus	RCCTE	Energyplus (25°C)	ASHRAE 55	Ni	Nv
A	185,15	-	9,11	-	-	131,30	18,00
B1	115,90	82,93	2,44	7,52	1,34		
B2	131,67	-	2,41	-	-		
C1	105,71	74,56	2,99	8,03	1,61		
D1	105,71	79,11	2,31	6,03	0,76		
E1	101,17	78,16	2,00	5,74	0,61		
E2 Inv	91,11	67,69	2,40	6,42	0,92		
E2 Ver	99,18	74,06	1,74	5,03	0,45		
F-E1	107,24	79,50	1,82	4,97	0,37		
F-E2 Inv	96,88	69,07	2,22	5,55	0,60		
G-E1	78,90	56,49	1,98	6,15	0,87		
G-E1 II	77,33	53,98	2,02	6,01	0,84		
G-E1 III	63,56	38,83	2,03	6,74	1,43		
G-E1 IV	53,57	30,35	2,72	8,06	2,50		
G-E2 Inv	68,87	46,15	2,47	7,26	1,43		
G-E2 Inv II	67,31	43,65	2,47	7,16	1,44		
G-E2 Inv III	53,60	28,83	2,59	8,38	2,79		
G-E2 Inv IV	43,69	20,67	3,53	10,12	4,60		
H-E1	-	11,96	-	21,74	13,78		
H-E2 Inv	-	6,63	-	25,95	18,45		
G-E2 Inv IV SV	-	18,69	-	14,04	7,96		
G-E2 Inv V	-	19,69	-	11,27	5,56		
G-E2 Inv VI	-	17,84	-	14,37	8,21		
PR-E2 (pala)	-	12,20	-	8,36	3,16		

Necessidades de climatização (Energyplus)

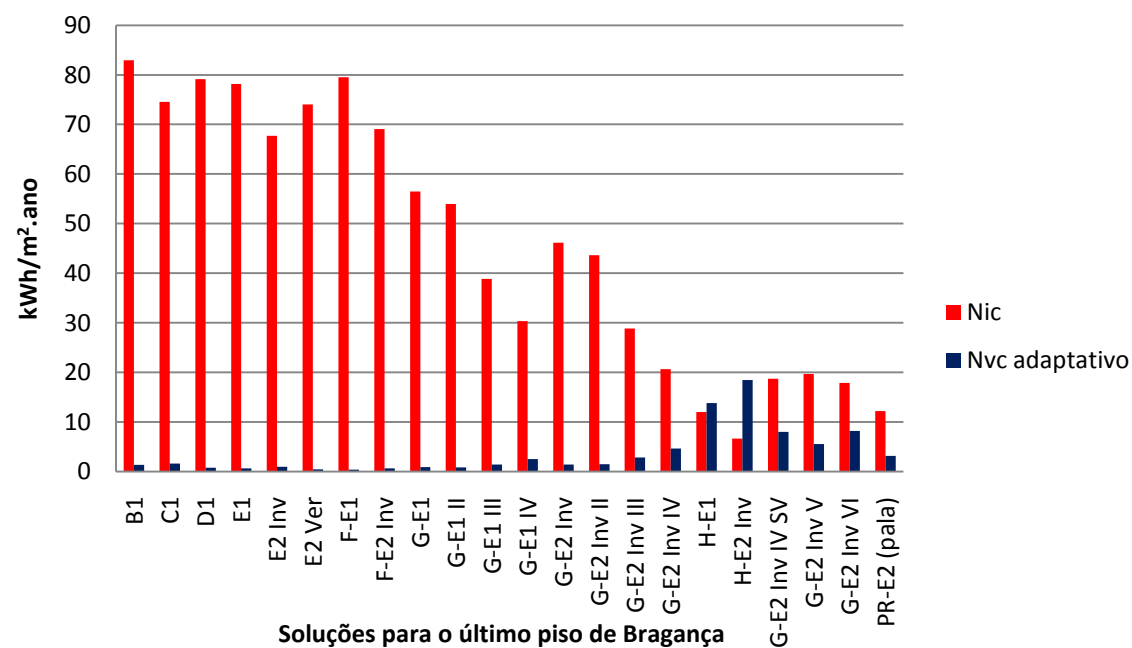


Figura A.III-3 – Valores de Nic e de Nvc adaptativo referentes ao último piso do edifício multifamiliar de Bragança

Piso intermédio – Bragança

Quadro A.III-4 – Valores de Nic e de Nvc referentes ao piso intermédio do edifício multifamiliar de Bragança

(kWh/m ² .ano)	Nic		Nvc			Máx. RCCTE	
	RCCTE	Energyplus	RCCTE	Energyplus (25°C)	ASHRAE 55	Ni	Nv
A	117,40	-	3,19	-	-	117,08	18,00
B1	80,67	53,25	2,16	12,45	4,37		
B2	90,94	-	2,16	-	-		
C1	67,01	41,36	3,13	14,73	6,61		
D1	67,01	44,10	2,75	12,09	4,54		
E1	61,92	43,26	2,36	11,92	4,42		
E2 Inv	50,92	34,00	3,12	13,95	6,56		
E2 Ver	56,31	36,77	2,10	10,36	3,70		
F-E1	66,80	44,40	2,10	9,86	2,98		
F-E2 Inv	55,60	35,12	2,83	11,78	4,78		
G-E1	53,07	34,36	2,52	12,43	5,50		
G-E1 II	49,25	31,80	2,52	12,47	5,79		
G-E1 III	43,05	24,79	2,67	12,15	6,20		
G-E2 Inv	42,14	25,33	3,36	14,78	8,09		
G-E2 Inv II	38,37	22,89	3,36	14,91	8,50		
G-E2 Inv III	32,29	16,31	3,58	12,42	7,19		
H-E1	-	15,35	-	23,79	16,12		
H-E2 Inv	-	7,57	-	28,50	21,35		
G-E2 Inv IV SV	-	15,64	-	13,68	8,33		
G-E2 Inv V	-	15,86	-	13,29	7,97		
PR-E2 (pala)	-	8,68	-	10,64	5,61		

Necessidades de climatização (Energyplus)

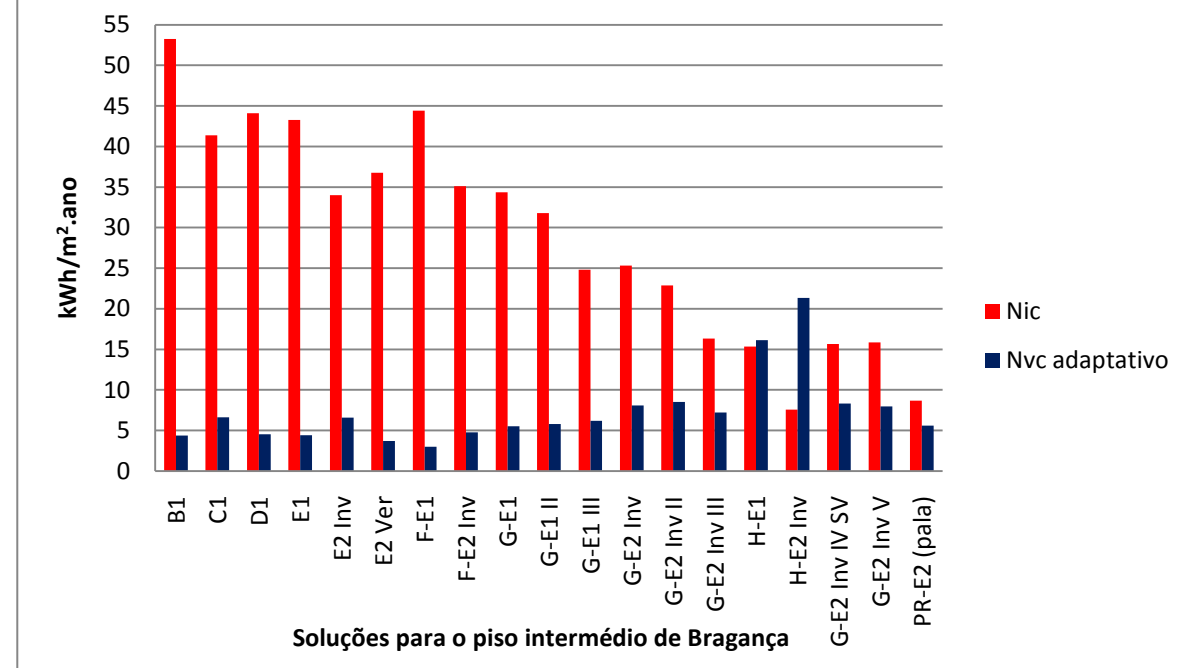


Figura A.III-4 – Valores de Nic e de Nvc adaptativo referentes ao piso intermédio do edifício multifamiliar de Bragança

Último piso – Évora

Quadro A.III-5 – Valores de Nic e de Nvc referentes ao último piso do edifício multifamiliar de Évora

(kWh/m ² .ano)	Nic		Nvc			Máx. RCCTE	
	RCCTE	Energyplus	RCCTE	Energyplus (25°C)	ASHRAE 55	Ni	Nv
A	76,81	-	33,03	-	-	66,34	32,00
B1	55,49	53,91	16,01	16,75	2,52		
B2	62,76	-	15,80	-	-		
C1	50,60	48,10	16,81	17,52	2,94		
D1	50,60	53,29	14,18	13,00	1,22		
E1	45,97	46,58	13,55	12,61	1,18		
E2 Inv	42,01	40,12	13,91	13,54	1,54		
E2 Ver	48,11	45,51	12,23	11,12	0,91		
F-E1	49,67	47,66	13,03	11,23	0,84		
F-E2 Inv	45,47	41,20	13,46	12,11	1,09		
G-E1	33,22	31,89	11,97	12,64	1,71		
G-E2 Inv	29,31	25,59	12,35	13,82	2,50		
H-E1	32,39	12,82	12,30	27,29	10,64		
H-E2 Inv	28,48	8,27	12,68	29,73	13,19		
H-E2 Inv + P	-	9,17	-	28,83	12,49		
H-E2 Inv SJ	-	8,27	-	12,37	2,09		
H-E2 Inv II	-	13,64	-	20,46	7,00		
G-E2 Inv + isol	-	22,39	-	13,89	2,85		
G-E2 Inv + isol +P	-	23,20	-	12,40	2,03		
G-E2 Ver + isol	-	27,99	-	10,75	1,37		

Piso intermédio – Évora

Quadro A.III-6 – Valores de Nic e de Nvc referentes ao piso intermédio do edifício multifamiliar de Évora

(kWh/m ² .ano)	Nic		Nvc			Máx. RCCTE	
	RCCTE	Energyplus	RCCTE	Energyplus (25°C)	ASHRAE 55	Ni	Nv
A	47,19	-	14,81	-	-	59,41	32,00
B1	36,06	34,97	11,13	19,59	5,08		
B2	40,80	-	11,07	-	-		
C1	29,59	27,73	12,21	21,29	6,65		
D1	29,59	30,59	11,14	17,49	4,30		
E1	23,88	24,68	10,53	16,78	4,32		
E2 Inv	19,26	19,29	10,93	18,36	5,84		
E2 Ver	22,90	21,56	9,21	14,95	3,70		
F-E1	26,51	26,62	10,00	14,69	3,00		
F-E2 Inv	21,71	20,06	10,47	16,18	4,33		
G-E1	19,41	19,50	10,57	16,43	4,87		
G-E2 Inv	14,93	14,29	10,98	18,24	6,67		
H-E1	18,62	7,71	10,84	34,68	18,40		
H-E2 Inv	14,17	4,23	11,25	38,52	23,01		
G-E2 Inv + is	-	11,28	-	18,28	7,32		
G-E2 Inv + is + P	-	11,69	-	16,14	5,75		
G-E2 Ver + is	-	13,23	-	14,14	4,55		

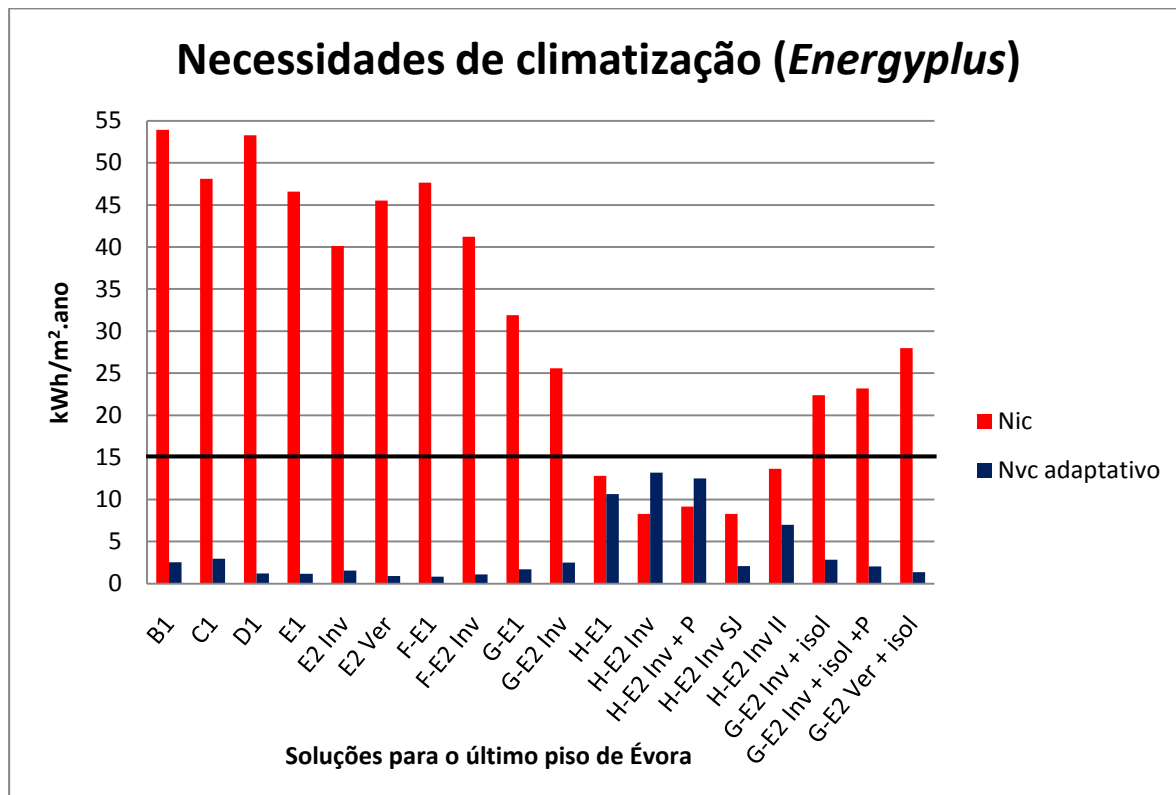


Figura A.III-5 – Valores de Nic e de Nvc adaptativo referentes ao último piso do edifício multifamiliar de Évora

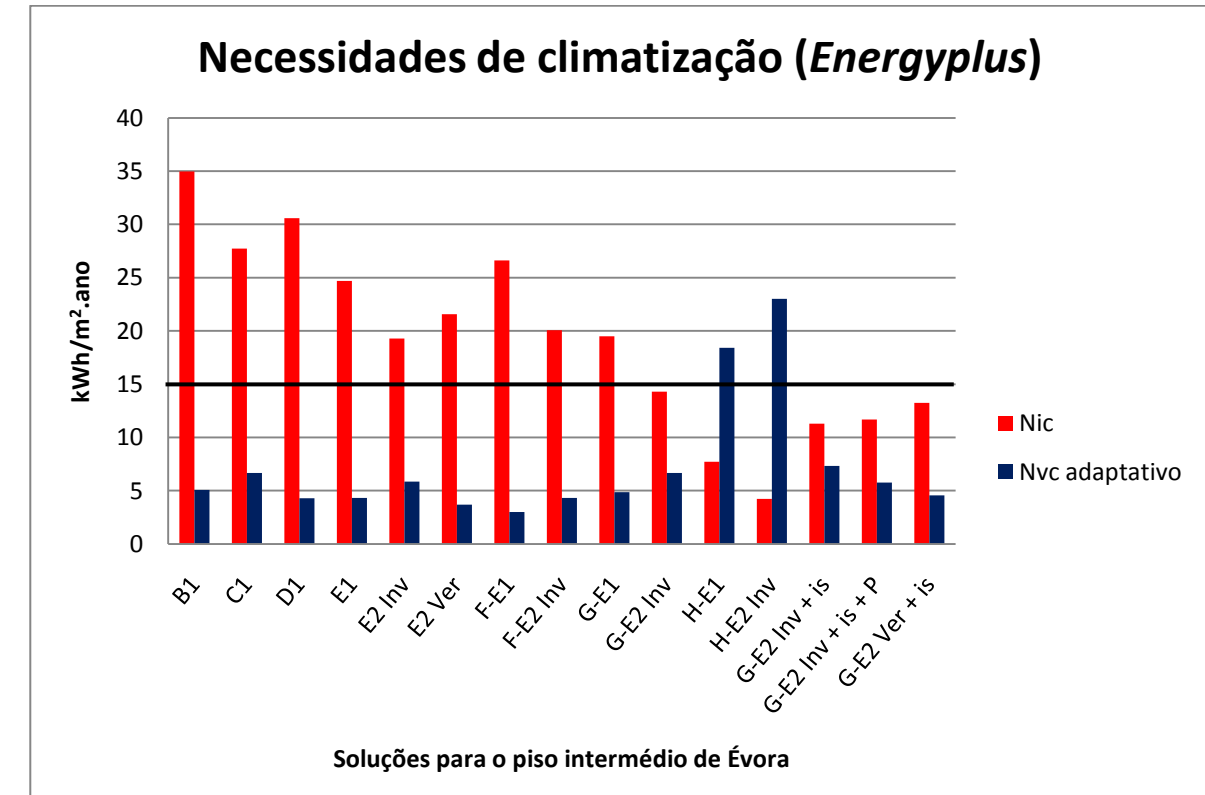


Figura A.III-6 – Valores de Nic e de Nvc adaptativo referentes ao piso intermédio do edifício multifamiliar de Évora

Vivenda – Lisboa

Quadro A.III-7 – Valores de Nic e de Nvc referentes à vivenda de Lisboa

(kWh/m ² .ano)	Nic		Nvc			Máx. RCCTE	
	RCCTE	Energyplus	RCCTE	Energyplus (25°C)	ASHRAE 55	Ni	Nv
A	95,35	-	39,37	-	-	61,37	32,00
B1	65,32	53,82	20,46	13,48	0,86		
B2	70,62	-	20,20	-	-		
C1	61,10	48,61	21,27	18,48	1,04		
D1	61,10	56,67	16,76	8,30	0,04		
E1	56,57	50,57	15,39	6,70	0,00		
E2 Inv	55,06	44,57	15,18	7,16	0,001		
E2 Ver	61,75	50,76	13,17	4,96	0,00		
F-E1	61,52	53,07	13,55	4,65	0,00		
F-E2 Inv	59,05	47,21	13,70	5,06	0,00		
G-E1	44,15	38,29	13,69	6,93	0,00		
G-E2 Inv	42,58	31,34	13,50	7,59	0,003		
H-E1	43,42	17,04	14,01	18,61	2,64		
H-E2 Inv	41,85	12,35	13,82	20,29	3,61		
H-E2 Inv + P	-	13,58	-	19,58	3,26		
H-E2 Inv SJ	-	12,35	-	7,27	0,0004		
H-E2 Inv II	-	20,11	-	12,57	0,77		

Vivenda – Bragança

Quadro A.III-8 – Valores de Nic e de Nvc referentes à vivenda de Bragança

(kWh/m ² .ano)	Nic		Nvc			Máx. RCCTE	
	RCCTE	Energyplus	RCCTE	Energyplus (25°C)	ASHRAE 55	Ni	Nv
A	266,44	-	11,57	-	-	140,71	18,00
B1	163,82	104,28	3,64	6,38	0,74		
B2	184,96	-	3,20	-	-		
C1	153,61	94,82	4,33	6,76	0,86		
D1	153,61	101,89	3,01	4,17	0,19		
E1	147,60	100,93	2,47	3,77	0,10		
E2 Inv	139,77	90,20	2,65	4,02	0,13		
E2 Ver	149,14	97,94	1,84	2,85	0,02		
E1 ESC	-	93,87	-	6,33	0,63		
F-E1	154,03	104,48	1,79	2,52	0,006		
F-E2 Inv	144,93	93,96	2,04	2,72	0,02		
G-E1	123,02	79,53	2,56	3,91	0,10		
G-E1 III	106,62	64,69	2,72	4,27	0,12		
G-E1 IV	96,46	55,67	3,54	4,94	0,29		
G-E1 V	-	53,81	-	5,98	0,64		
G-E2 Inv	115,19	68,78	2,98	4,29	0,14		
G-E2 Inv III	98,78	53,95	3,05	4,88	0,29		
G-E2 Inv IV	88,61	45,16	4,05	5,79	0,69		
G-E2 Inv V	-	43,46	-	6,99	1,25		
H-E2 Inv	-	22,37	-	19,05	9,77		
H-E2 Inv PR	-	14,71	-	19,05	9,77		
H-E2 Inv PR SJ	-	14,71	-	6,41	0,81		
H-E2 Inv CP SJ	-	20,99	-	8,34	1,75		

Necessidades de climatização (Energyplus)

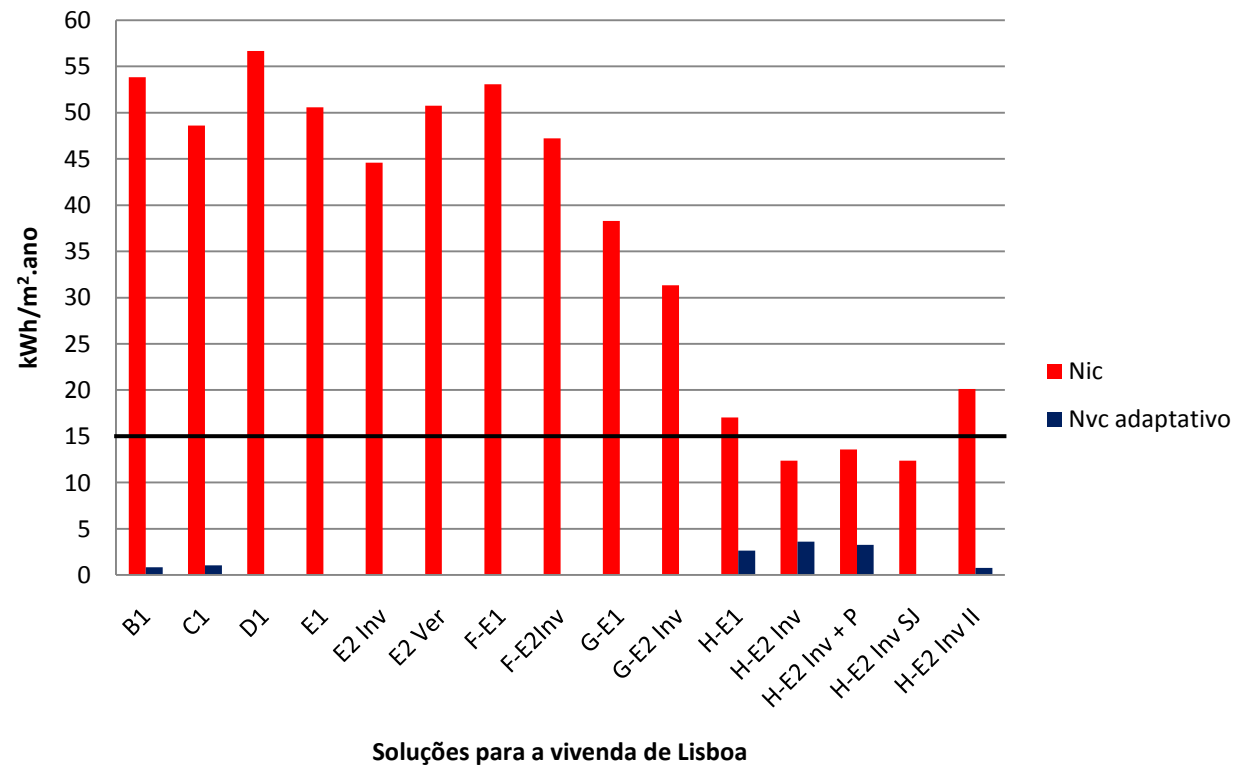


Figura A.III-7 – Valores de Nic e de Nvc adaptativo referentes à vivenda de Lisboa

Necessidades de climatização (Energyplus)

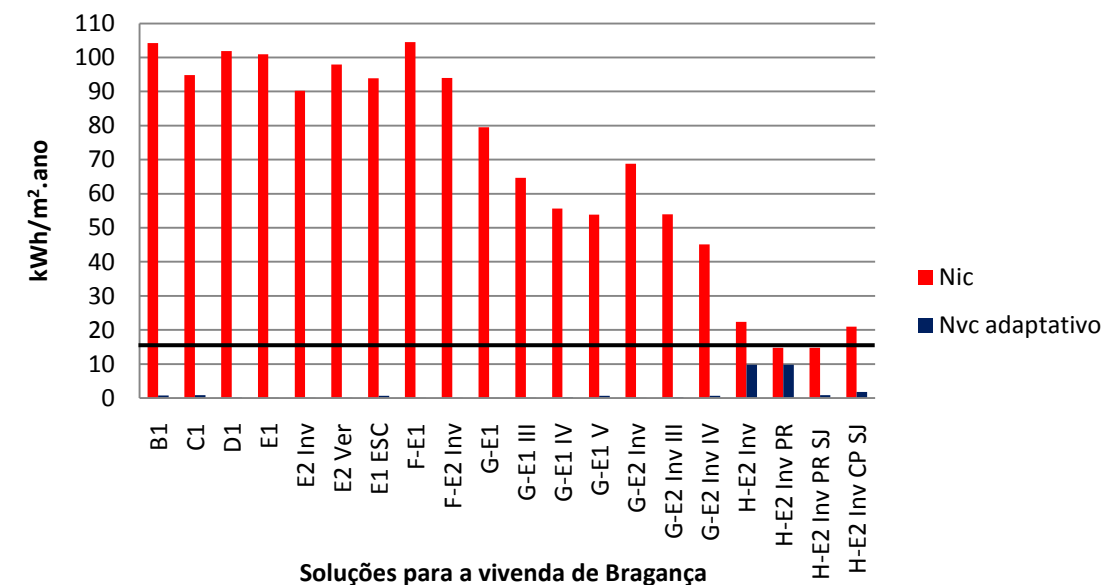


Figura A.III-8 – Valores de Nic e de Nvc adaptativo referentes à vivenda de Bragança

Vivenda – Évora

Legenda:

	Indica que é uma solução não regulamentar;
	Indica que é uma solução apresentada no capítulo 5;
	Indica que é uma nova solução apresentada na discussão de resultados;

- Indica que este resultado não foi calculado;

— Limite proposto pela Norma *Passivhaus* (15 kWh/m².ano);

Quadro A.III-9 – Valores de Nic e de Nvc referentes à vivenda de Évora

(kWh/m ² .ano)	Nic		Nvc			Máx. RCCTE	
	RCCTE	<i>Energyplus</i>	RCCTE	<i>Energyplus</i> (25°C)	ASHRAE 55	Ni	Nv
A	114,77	-	39,06	-	-	70,93	32,00
B1	79,60	66,36	20,05	16,85	2,24		
B2	85,82	-	19,8	-	-		
C1	74,66	60,39	20,86	17,42	2,46		
D1	74,66	68,88	16,38	11,12	0,73		
E1	69,17	61,60	15,68	10,18	0,58		
E2 Inv	67,08	54,64	15,42	10,57	0,61		
E2 Ver	74,39	61,32	13,30	8,31	0,35		
F-E1	74,55	64,71	13,75	7,75	0,31		
F-E2 Inv	71,41	57,80	13,85	8,12	0,32		
G-E1	54,57	46,37	13,99	9,87	0,55		
G-E2 Inv	52,43	39,57	13,74	10,41	0,64		
H-E1	53,71	25,72	14,32	21,62	5,31		
H-E2 Inv	51,57	20,16	14,07	22,95	6,32		
H-E2 + isol	-	14,11	-	24,17	7,75		
HE2 + isol SJ	-	14,11	-	10,34	0,71		

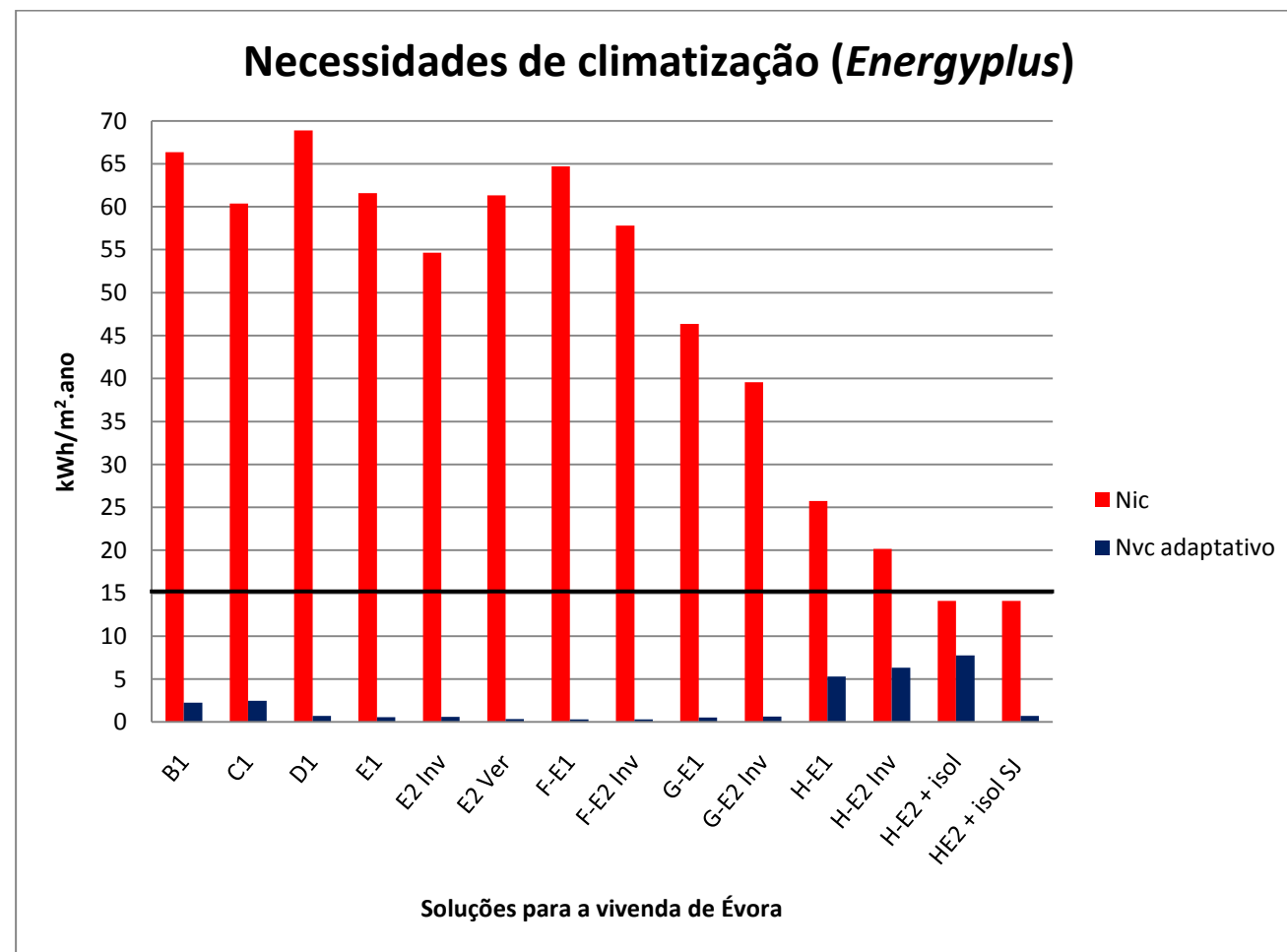


Figura A.III-9 – Valores de Nic e de Nvc adaptativo referentes à vivenda de Évora

Anexo IV – Necessidades energéticas de produção de AQS

Lisboa – vivenda

Quadro A.IV-1 – Valores de Nac referentes à vivenda de Lisboa

Solução	Padrão de consumo		
	Padrão I	Padrão II	Padrão III
AQS-1	26,75	26,75	26,75
AQS-2	14,21	14,21	14,21
AQS-3	6,82	6,82	6,82
AQS-4	4,87	4,87	4,87
AQS-5	4,24	4,24	4,24

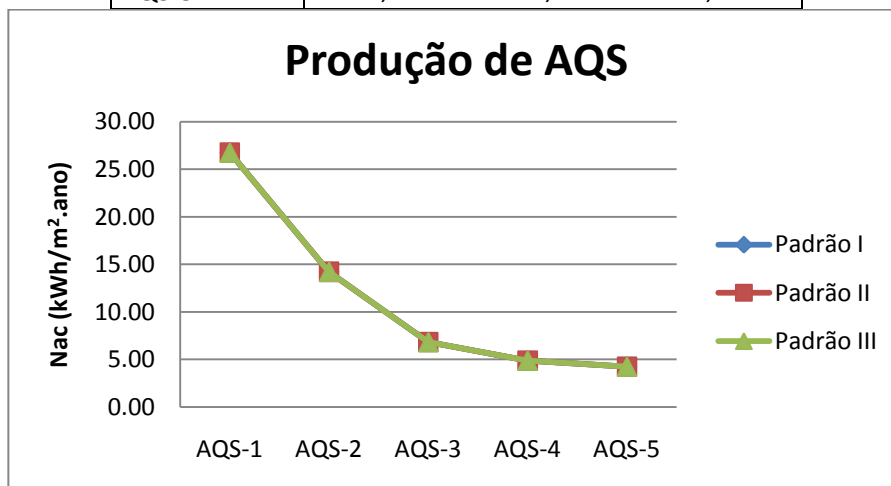


Figura A.IV-1 – Valores de Nac referentes à vivenda de Lisboa

Lisboa – edifício multifamiliar

Quadro A.IV-2 – Valores de Nac referentes a uma fracção autónoma do edifício multifamiliar de Lisboa

Solução	Padrão de consumo		
	Padrão I	Padrão II	Padrão III
AQS-1	26,75	26,75	26,75
AQS-2	16,02	16,80	16,64
AQS-3	11,14	12,42	11,84
AQS-4	8,97	10,20	9,54
AQS-5	7,82	8,96	8,33

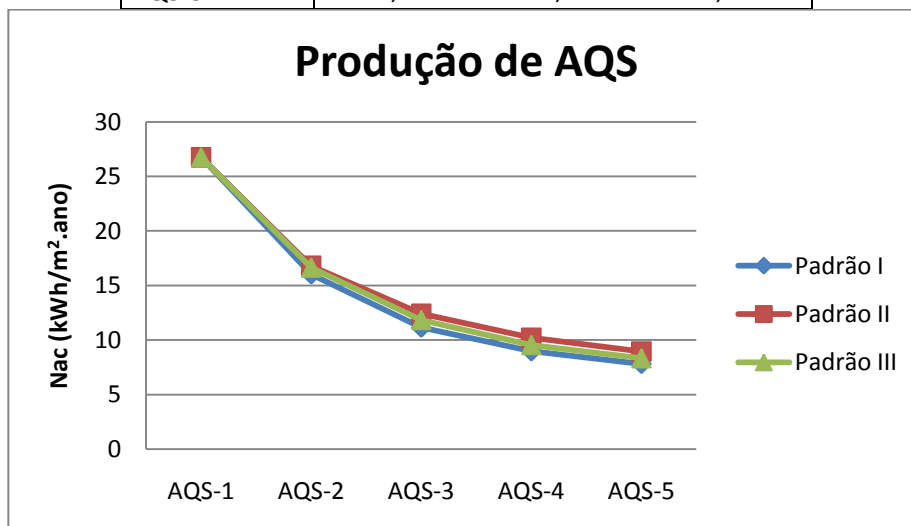


Figura A.IV-2 – Valores de Nac referentes a uma fracção autónoma do edifício multifamiliar de Lisboa

Bragança – vivenda

Quadro A.IV-3 – Valores de Nac referentes à vivenda de Bragança

Solução	Padrão de consumo		
	Padrão I	Padrão II	Padrão III
AQS-1	26,75	26,75	26,75
AQS-2	15,49	15,49	15,49
AQS-3	8,48	8,48	8,48
AQS-4	6,57	6,57	6,57
AQS-5	5,73	5,73	5,73

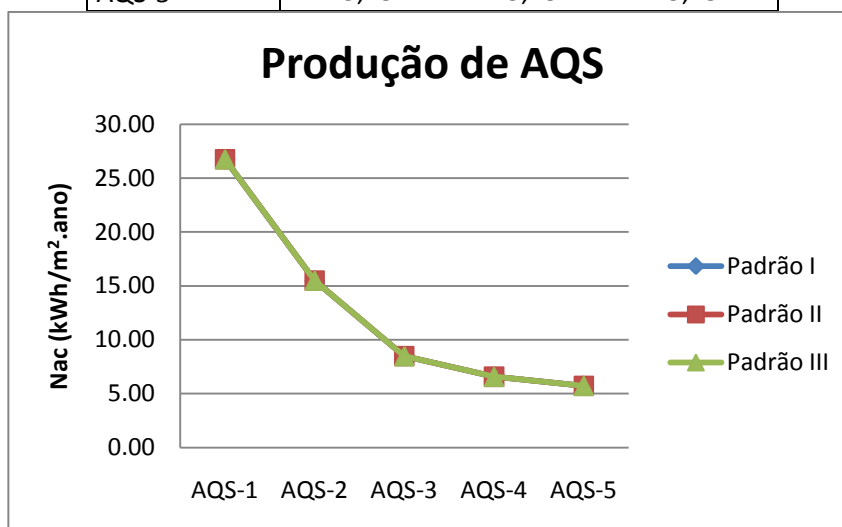


Figura A.IV-3 – Valores de Nac referentes à vivenda de Bragança

Bragança – edifício multifamiliar

Quadro A.IV-4 – Valores de Nac referentes a uma fracção autónoma do edifício multifamiliar de Bragança

Solução	Padrão de consumo		
	Padrão I	Padrão II	Padrão III
AQS-1	26,75	26,75	26,75
AQS-2	17,06	17,73	17,59
AQS-3	12,65	13,75	13,26
AQS-4	10,65	11,72	11,16
AQS-5	9,70	10,59	10,04

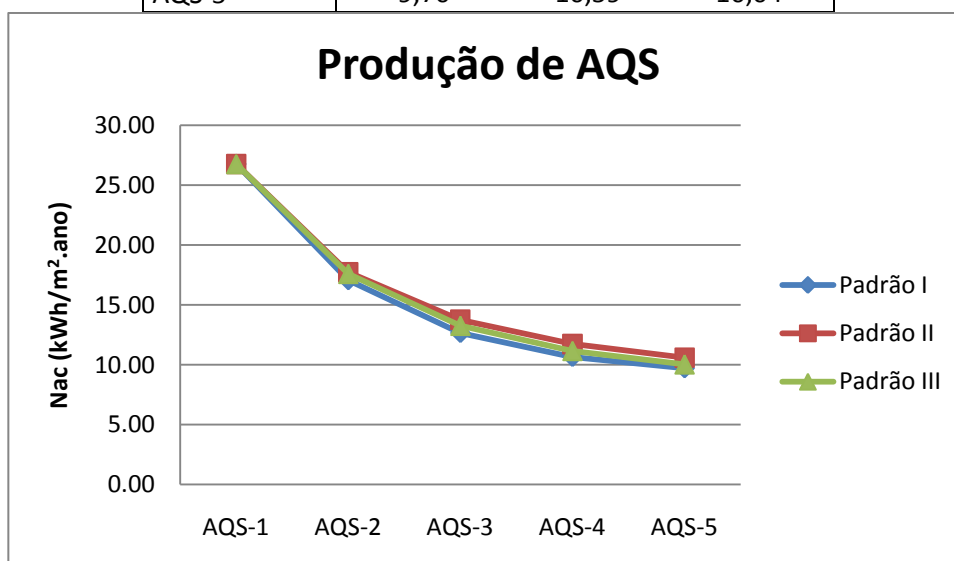


Figura A.IV-4 – Valores de Nac referentes a uma fracção autónoma do edifício multifamiliar de Bragança

Évora - Vivenda

Quadro A.IV-5 – Valores de Nac referentes à vivenda de Évora

Solução	Padrão de consumo		
	Padrão I	Padrão II	Padrão III
AQS-1	26,75	26,75	26,75
AQS-2	13,68	13,68	13,68
AQS-3	6,33	6,33	6,33
AQS-4	4,59	4,59	4,59
AQS-5	3,88	3,88	3,88

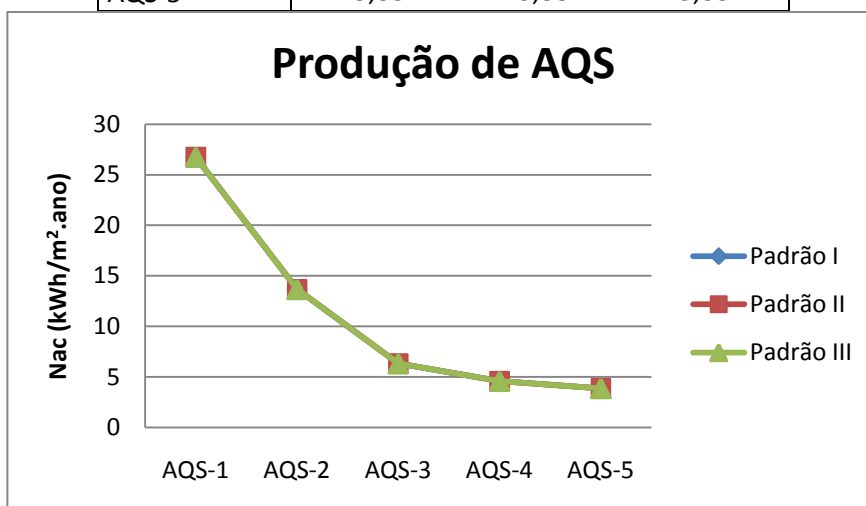


Figura A.IV-5 – Valores de Nac referentes à vivenda de Évora

Évora – edifício multifamiliar

Quadro A.IV-6 – Valores de Nac referentes a uma fracção autónoma do edifício multifamiliar de Évora

Solução	Padrão de consumo		
	Padrão I	Padrão II	Padrão III
AQS-1	26,75	26,75	26,75
AQS-2	15,49	16,32	17,59
AQS-3	10,46	11,77	11,15
AQS-4	8,30	9,54	8,90
AQS-5	7,23	8,34	7,68

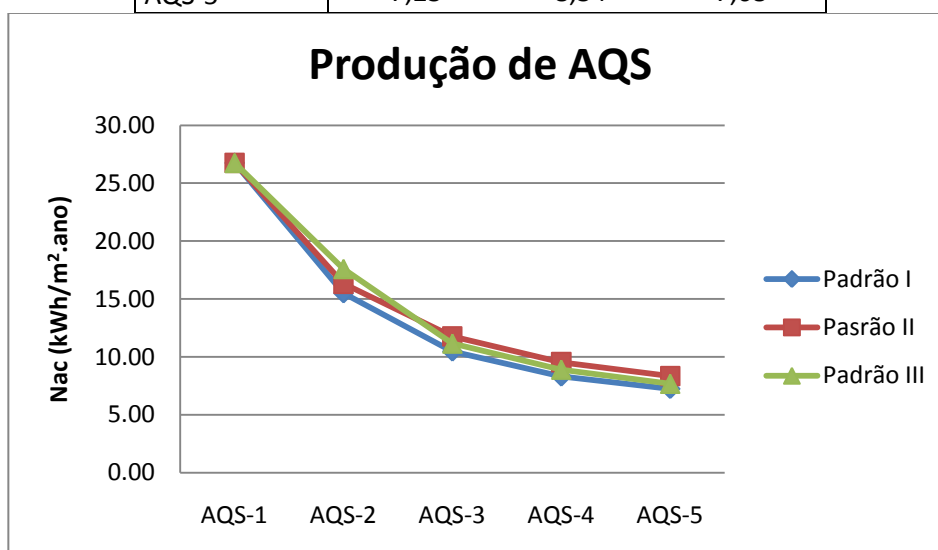


Figura A.IV-6 – Valores de Nac referentes a uma fracção autónoma do edifício multifamiliar de Évora

Anexo V – Classes energéticas

Legenda e unidades:

Nt – kgep/m².ano (limite máximo de necessidades em energia primária)

Ntc – kgep/m².ano (valor de cálculo de necessidades em energia primária)

Nic – kWh/m².ano (necessidades energéticas nominais de aquecimento)

Nvc – kWh/m².ano (necessidades energéticas nominais de arrefecimento)

Esol – kWh/ano (contribuição dos colectores solares para produção de AQS)

C.E. – classe energética

Lisboa – vivenda

Quadro A.V-1 – Ntc e Classes energéticas da vivenda de Lisboa

Nt	5,87			Eficiente			Ineficiente		
Solução	Nic	Nvc	Esol	Ntc	R=Ntc/Nt	C.E.	Ntc	R=Ntc/Nt	C.E.
A	93,35	39,37	2530,00	3,04	0,52	B	10,43	1,78	D
C1	61,10	21,27	2530,00	2,63	0,45	A	3,90	0,66	B
GE2 Inv	42,58	13,50	2530,00	2,42	0,41	A	3,56	0,61	B
HE2 Inv SJ	13,58	7,27	2530,00	2,15	0,37	A	3,25	0,55	B

Lisboa – último piso

Quadro A.V-2 – Ntc e Classes energéticas do último piso do edifício multifamiliar de Lisboa

Nt	5,84			Eficiente			Ineficiente		
Solução	Nic	Nvc	Esol	Ntc	R=Ntc/Nt	C.E.	Ntc	R=Ntc/Nt	C.E.
A	63,18	33,19	1981,40	4,01	0,69	B	10,11	1,73	D
B1	45,01	16,27	1981,40	3,72	0,64	B	4,92	0,84	B-
GE2 Inv	23,18	12,14	1981,40	3,52	0,60	B	4,71	0,81	B-
GE2 Inv + Pala	24,42	11,77	1981,40	3,52	0,60	B	4,70	0,80	B-

Lisboa – piso intermédio

Quadro A.V-3 – Ntc e Classes energéticas do piso intermédio do edifício multifamiliar de Lisboa

Nt	5,78			Eficiente			Ineficiente		
Solução	Nic	Nvc	Esol	Ntc	R=Ntc/Nt	C.E.	Ntc	R=Ntc/Nt	C.E.
A	38,42	14,89	1981,40	3,65	0,63	B	9,38	1,62	D
B1	28,98	11,31	1981,40	3,55	0,61	B	4,70	0,81	B-
GE2 Inv	11,46	10,74	1981,40	3,42	0,59	B	4,62	0,80	B-
GE2 Inv + Pala	11,99	10,37	1981,40	3,42	0,59	B	4,61	0,80	B-

Bragança – Vivenda

Quadro A.V-4 – Ntc e Classes energéticas da vivenda de Bragança

Nt	6,46			Eficiente			Ineficiente		
Solução	Nic	Nvc	Esol	Ntc	R=Ntc/Nt	C.E.	Ntc	R=Ntc/Nt	C.E.
A	266,44	11,57	2320,00	4,50	0,70	B	9,92	1,54	D
E2 Inv	139,77	2,65	2320,00	3,50	0,54	B	3,93	0,61	B
GE2 Inv IV	88,61	3,54	2320,00	3,13	0,49	A	3,81	0,59	B
HE2 Inv PR SJ	14,71	6,41	2320,00	2,63	0,41	A	3,70	0,57	B

Bragança – último piso

Quadro A.V-5 – Ntc e Classes energéticas do último piso do edifício multifamiliar de Bragança

Nt	6,37			Eficiente			Ineficiente		
Solução	Nic	Nvc	Esol	Ntc	R=Ntc/Nt	C.E.	Ntc	R=Ntc/Nt	C.E.
A	185,15	9,11	1790,03	5,10	0,80	B-	9,59	1,51	D
B1	115,90	2,44	1790,03	4,53	0,71	B	5,06	0,79	B-
GE2 Inv IV	43,69	3,53	1790,03	4,02	0,63	B	4,89	0,77	B-
PR E2 (pala)	12,20	8,36	1790,03	3,84	0,60	B	4,98	0,78	B-

Bragança – piso intermédio

Quadro A.V-6 – Ntc e Classes energéticas do piso intermédio do edifício multifamiliar de Bragança

Nt	6,25			Eficiente			Ineficiente		
Solução	Nic	Nvc	Esol	Ntc	R=Ntc/Nt	C.E.	Ntc	R=Ntc/Nt	C.E.
A	117,40	3,19	1790,03	4,55	0,73	B	9,18	1,47	C
B1	80,67	2,16	1790,03	4,27	0,68	B	4,95	0,79	B-
GE2 Inv III	32,29	3,58	1790,03	3,94	0,63	B	4,86	0,78	B-
PR E2 (pala)	8,68	10,64	1790,03	3,83	0,61	B	5,05	0,81	B-

Évora - Vivenda

Quadro A.V-7 – Ntc e Classes energéticas da vivenda de Évora

Nt	5,96			Eficiente			Ineficiente		
	Solução	Nic	Nvc	Esol	Ntc	R=Ntc/Nt	C.E.	Ntc	R=Ntc/Nt
A	114,77	39,06	2593,00	3,04	0,51	B	10,48	1,76	D
E1	69,17	15,68	2593,00	2,49	0,42	A	3,57	0,60	B
GE2 Inv	52,43	13,74	2593,00	2,35	0,39	A	3,45	0,58	B
HE2 + isol SJ	14,11	10,34	2593,00	2,04	0,34	A	3,22	0,54	B

Évora – último piso

Quadro A.V-8 – Ntc e Classes energéticas do último piso do edifício multifamiliar de Évora

Nt	5,92			Eficiente			Ineficiente		
	Solução	Nic	Nvc	Esol	Ntc	R=Ntc/Nt	C.E.	Ntc	R=Ntc/Nt
A	76,81	33,03	2067,60	3,91	0,66	B	10,15	1,71	D
B1	55,49	16,01	2067,60	3,59	0,61	B	4,75	0,80	B-
GE2 Inv	29,31	12,35	2067,60	3,37	0,57	B	4,54	0,77	B-
GE2 + isol + P	23,20	12,40	2067,60	3,32	0,56	B	4,52	0,76	B-

Évora – piso intermédio

Quadro A.V-9 – Ntc e Classes energéticas do piso intermédio do edifício multifamiliar de Évora

Nt	5,85			Eficiente			Ineficiente		
	Solução	Nic	Nvc	Esol	Ntc	R=Ntc/Nt	C.E.	Ntc	R=Ntc/Nt
A	47,19	14,81	2067,60	3,52	0,60	B	9,40	1,61	D
B1	36,06	11,13	2067,60	3,40	0,58	B	4,51	0,77	B-
GE2 Inv	14,93	10,98	2067,60	3,25	0,56	B	4,45	0,76	B-
GE2 + isol + P	11,69	16,14	2067,60	3,28	0,56	B	4,62	0,79	B-

Anexo VI – Restante consumo de operação

Solução base:

Quadro A.VI-1 – Restante consumo de operação – Solução base

Aparelho	Quantidade	Horas de operação (h/sem)	Potência (W)	Fator de utilização (%)	Consumo anual (kWh)
Aspirador	1	2,0	2000,0	80%	167
Computador	2	20,0	200,0	100%	417
Ferro de engomar	1	2,0	2400,0	90%	225
Fogão	1	10,5	7000,0	60%	2300
Forno embutido	1	2,0	3000,0	100%	313
Forno microondas	1	3,5	900,0	100%	164
Máq. Lavar loiça	1	10,5	700,0	100%	383
Máq. Lavar roupa	1	3,5	2600,0	100%	475
Máq. Secar roupa	1	3,5	2300,0	100%	420
Leitor de DVD	1	4,0	14,0	100%	3
Rádio relógio	3	168,0	10,0	10%	26
Secador de cabelo	1	1,0	2000,0	100%	104
Torradeira	1	1,0	1000,0	100%	52
Televisão	3	10,5	100,0	100%	164
Frigorífico	1	168,0	46,7	100%	409
Arca congeladora	1	168,0	60,0	100%	526
Lâmpadas	10	28,0	12,0	100%	175
Outros	-	-	-	-	63,23
				Total	6386,23

Solução eficiente:**Quadro A.VI-2 – Restante consumo de operação – Solução eficiente**

Aparelho	Quantidade	Horas de operação (h/sem)	Potência (W)	Fator de utilização (%)	Consumo anual (kWh)
Aspirador	1	2,0	1200,0	80%	100
Computador	2	20,0	50,0	100%	104
Ferro de engomar	1	2,0	1600,0	90%	150
Fogão	1	10,5	6500,0	50%	1779
Forno embutido	1	2,0	2300,0	100%	240
Forno microondas	1	3,5	750,0	100%	137
Máq. Lavar loiça	1	10,5	600,0	100%	329
Máq. Lavar roupa	1	3,5	1700,0	100%	310
Máq. Secar roupa	-	-	-	-	0
Leitor de DVD	1	4,0	14,0	100%	3
Rádio relógio	3	168,0	5,0	10%	13
Secador de cabelo	1	1,0	1600,0	100%	83
Torradeira	1	1,0	750,0	100%	39
Televisão	3	10,5	60,0	100%	99
Frigorífico	1	168,0	16,3	100%	143
Arca congeladora	1	168,0	32,4	100%	284
Lâmpadas	10	28,0	2,0	100%	29
Outros	-	-	-	-	38,42
				Total	3880,42

Anexo VII – Exemplo de ficha de cálculo do RCCTE

Fichas referentes à Solução A do último piso do edifício multifamiliar de Lisboa

Folha de Cálculo FCIV.1a

Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes exteriores	Area (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
Exterior	67,23	0,96	64,54
PTP p/ Exterior (Pilar)	2,87	0,79	2,27
PTP p/ Exterior (Viga)	8,00	0,79	6,32
		TOTAL	73,13

Pavimentos exteriores	Area (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
			0,00
		TOTAL	0,00

Coberturas exteriores	Area (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
Cob corrente	114,29	0,83	94,86
Cob IS	12,66	0,69	8,74
		TOTAL	103,60

Paredes e Pavimentos em contacto com o Solo	Perímetro B (m)	Ψ (W/m°C)	Ψ.B (W/°C)
			0,00
		TOTAL	0,00

Pontes Térmicas lineares	Comp. (m)	Ψ (W/m°C)	Ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
<i>Fachada com os Pavimentos térreos</i>			0,00
<i>Fachada com Pavimentos sobre locais não aqu. ou exteriores</i>			0,00
<i>Fachada com Pavimentos intermédios</i>	29,72	0,30	8,92
<i>Fachada com Cobertura inclinada ou Terraço</i>	29,72	0,75	22,29
<i>Fachada com Varanda</i>	7,78	0,45	3,50
<i>Duas Paredes verticais</i>	5,92	0,20	1,18
<i>Fachada com Caixa de estore</i>			0,00
<i>Fachada com Padieira, Ombreira ou Peitoril</i>	44,90	0,20	8,98
<i>Outras</i>			0,00
		TOTAL	44,87

Perdas pela envolvente exterior da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL	221,60
--------------	---------------

Folha de Cálculo FCIV.1b

Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Area (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
Alvenaria p/ LNA (patim)	2,25	0,88	0,0	0,00
Betão p/ LNA (caixa de escadas)	16,16	0,75	0,6	7,27
Betão p/ LNA (caixa de elevadores)	10,15	0,75	0,3	2,28
Porta de entrada (patim)	1,89	2,07	0,0	0,00
TOTAL				9,56

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Area (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
				0,00
TOTAL				0,00

Coberturas interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Area (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
				0,00
TOTAL				0,00

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Area (m ²)	U (W/m ² °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
				0,00
TOTAL				0,00

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ > 0,7)	Comp. (m)	Ψ (W/m°C)	τ (-)	Ψ.B.τ (W/m°C)
				0,00
TOTAL				0,00

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma (W/°C) **TOTAL** **9,56**

Folha de Cálculo FCIV.1c

Perdas associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores

Vãos envidraçados exteriores	Area (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
Verticais:			
j1	1,62	5,2	8,42
j2	1,62	5,2	8,42
j3	7,8	5,2	40,56
j4	2,06	5,2	10,71
j5	2,06	5,2	10,71
j6	1,73	5,2	9,00
j7	1,73	5,2	9,00
Horizontais:			
			0,00
TOTAL			96,82

Perdas associadas à Renovação de Ar

Área Útil de pavimento (Ap)		<input type="text" value="126,95"/>	(m ²)	
		x		
Pé-direito médio		<input type="text" value="2,93"/>	(m)	
		=		
Volume interior	(V)	<input type="text" value="372,34"/>	(m ³)	
Ventilação Natural ou Mecânica		<input type="text" value="Natural"/>		
VENTILAÇÃO NATURAL				
Cumprir NP 1037-1?	(S ou N)	<input type="text" value="Não"/>	se SIM:	RPH = <input type="text" value="0,6"/>
Se NÃO:				
Classe da caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	<input type="text" value="Classe 2"/>	Taxa de Renovação nominal: RPH= <input type="text" value="0,80"/>	
Caixas de estore	(Sim ou Não)	<input type="text" value="Não"/>		
Classe de exposição (Quadro IV.1)	(1, 2, 3 ou 4)	<input type="text" value="2"/>		
Disp. de admissão de ar na Fachada?	(Sim ou Não)	<input type="text" value="Sim"/>		
Aberturas auto-reguladas?	(Sim ou Não)	<input type="text" value="Não"/>		
Área de Envidraçados > 15% Ap ?	(Sim ou Não)	<input type="text" value="Não"/>	se Sim agrava 0,1 <input type="text" value="Ver Quadro IV.1"/>	
Portas exteriores bem vedadas?	(Sim ou Não)	<input type="text" value="Sim"/>	Se Sim reduz 0,05 desde que Não cumpra NP1037-1	
VENTILAÇÃO MECÂNICA (excluir exaustor de cozinha)				
Caudal de insuflação	Vins - (m ³ /h)	<input type="text"/>	Vf =	<input type="text"/>
Caudal extraído	Vev - (m ³ /h)	<input type="text"/>		
Diferença entre Vins e Vev	(m ³ /h)	<input type="text"/>	V	= <input type="text"/>
		/	(volume int)	(RPH)
Classe de exposição	(1, 2, 3 ou 4)	<input type="text"/>		
Infiltrações	(Vx)	<input type="text"/>		
Recuperador de Calor	(S ou N)	<input type="text"/>	se SIM:	<input type="text" value="η ="/>
			se NÃO:	<input type="text" value="η ="/>
Taxa de Renovação real	(mínimo: 0,6)	<input type="text"/>	(Vf / V + Vx)	
Taxa de Renovação para efeito de cálculo	(sem mínimo)	<input type="text"/>	(Vf / V + Vx) (1 - η)	
Consumo de electricidade para os ventiladores		<input type="text"/>	(Ev=Pv.24.0,03 M (kWh))	

Folha de Cálculo FCIV.1d (2/2)

Volume	<input type="text" value="372,34"/>	
	x	
Taxa de Renovação nominal	<input type="text" value="0,80"/>	
	x	
	<input type="text" value="0,34"/>	
	=	
TOTAL	<input type="text" value="101,28"/>	(W/C)

Folha de Cálculo FCIV.1e

Ganhos Úteis na estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m ²)	Factor de Orientação X(-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs(-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m ²)
S	Simples	1,62	1,0	0,7	0,880	0,7	0,9	0.63
S	Simples	1,62	1,0	0,7	0,880	0,7	0,9	0.63
S	Simples	7,80	1,0	0,7	0,558	0,7	0,9	1.92
N	Simples	2,06	0,27	0,7	0,900	0,7	0,9	0.25
N	Simples	2,06	0,27	0,7	0,900	0,7	0,9	0.25
N	Simples	1,73	0,27	0,7	0,900	0,7	0,9	0.21
N	Simples	1,73	0,27	0,7	0,900	0,7	0,9	0.21

Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m ²)	4,08
	x
Radiação Incidente num envidraçado a Sul (G _{sul}) no Continente	
na Zona I 1 (kWh/m ² .mês) - do Quadro 8 (Anexo III)	108
	x
Duração da Estação de Aquecimento (meses)	5,3
	=
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)	2334,97

Ganhos Internos:

	Tipo de Edifício	
Ganhos internos médios (Quadro IV.3)	Residencial	4 (W/m ²)
		x
Duração da Estação de Aquecimento	5,3	(meses)
		x
Área Útil de pavimento	126,95	(m ²)
		x
	0,72	
		=
Ganhos Internos Brutos	1937,76	(kWh/ano)

Ganhos Totais Úteis:

$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$	4272,73
	12259,45
Inércia do edifício: Forte	$\gamma =$ 0,349
Factor de Utilização dos Ganhos Solares (η)	0,992
	x
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos	4272,73
	=
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)	4239,33

Folha de Cálculo FCIV.1f

Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

FACTOR DE FORMA

<i>Das FC IV.1a e 1c: (Áreas)</i>	m ²
Paredes Exteriores	78,10
Coberturas Exteriores	126,95
Pavimentos Exteriores	0,00
Envidraçados Exteriores	18,62
<i>Da FC IV.1b: (Áreas equivalentes A. τ)</i>	
Paredes Interiores	12,74
Coberturas Interiores	0,00
Pavimentos Interiores	0,00
Envidraçados Interiores	0,00
<i>Área Total:</i>	236,41
	/
<i>Volume (da FC IV.1d):</i>	372,34
	=
FF	0,63
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1190
Ni = 4,5 + 0,0395 GD	para FF ≤ 0,5
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD	para 0,5 < FF ≤ 1
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD] (1,2 - 0,2 FF)	para 1 < FF ≤ 1,5
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	para FF > 1,5
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m ² .ano)	57,45

Folha de Cálculo FCIV.2

Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (da FC IV.1a)	221,60
Envolvente Interior (da FC IV.1b)	9,56
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)	96,82
Renovação de Ar (da FC IV.1d)	101,28
	=
Coefficiente Global de Perdas (W/°C)	429,25
	x
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1190
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	12 259,45
	+
Consumo dos ventiladores (kWh/ano)	0,00
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (da FC IV.1e)	4 239,33
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	8020,13
	/
Área Útil de pavimento (m ²)	126,95
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m ² .ano)	63,18
	<
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m ² .ano)	57,45

Folha de Cálculo FCV.1a

Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	73,13	(W°C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	0,00	(W°C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	103,60	(W°C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCIV.1c)	96,82	(W°C)
		+	
Perdas associadas à renovação de ar	(FCIV.1d)	101,28	(W°C)
		=	
Perdas específicas totais	(Q1a)	374,83	(W°C)

Zona climática	V	2	S
----------------	---	---	---

Temperatura interior de referência	25	(°C)
------------------------------------	----	------

Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento	23	(°C)
--	----	------

(Quadro III.9)

Diferença de temperatura interior-exterior	2	(°C)
--	---	------

<i>Perdas específicas totais</i>	(Q1a)	374,83	(W°C)
----------------------------------	-------	--------	-------

x
2,928

Perdas térmicas totais	(Q1b)	2194,98	(kWh)
-------------------------------	-------	----------------	-------

Folha de Cálculo FCV.1c

Ganhos Solares pela Envolvente Opaca

	N	S	E	N	S	E	Horiz.	Horiz.	
Área, A (m ²)	13,71	17,63	35,88	2,78	3,46	4,63	114,29	12,66	
	x	x	x	x	x	x	x	x	
U (W/m ² °C)	0,96	0,96	0,96	0,79	0,79	0,79	0,78	0,63	
	x	x	x	x	x	x	x	x	
Coefficiente de absorção, α (Quadro V.5)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	
	=	=	=	=	=	=	=	=	
α U.A	10,53	13,54	27,56	1,76	2,19	2,93	71,32	6,38	(W°C)
	x	x	x	x	x	x	x	x	
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m ²) (Quadro III.9)	200	380	470	200	380	470	820	820	
	x	x	x	x	x	x	x	x	
	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
	=	=	=	=	=	=	=	=	TOTAL
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	84,23	205,81	518,05	14,06	33,24	55,01	2339,20	209,28	3458,88

(kWh)

Folha de Cálculo FCV.1d

Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores

Orientação	S	S	S	N	N	N	N
	Tipo de Vidro						
	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples
Área, A (m ²)	1,62	1,62	7,80	2,06	2,06	1,73	1,70
	x	x	x	x	x	x	x
Factor solar do vão envidraçado	0,633	0,633	0,633	0,633	0,633	0,633	0,633
	x	x	x	x	x	x	x
Fracção envidraçada, Fg (Quadro IV.5)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	x	x	x	x	x	x	X
Factor de obstrução, Fs ⁽²⁾	1	1	0,51353	1	1	1	1
	x	x	x	x	x	x	x
Factor de selectividade do vidro, Fw (Quadro V.3)	0,80	0,80	0,80	0,85	0,85	0,85	0,85
	=	=	=	=	=	=	=
Área efectiva, Ae	0,52	0,52	1,42	0,70	0,70	0,59	0,59
	x	x	x	x	x	x	x
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m ²) (Quadro III.9)	380	380	380	200	200	200	200
	=	=	=	=	=	=	=
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores	196,40	196,40	539,56	139,66	139,66	117,28	117,28
							TOTAL
							1446,23

Folha de Cálculo FCV.1e

Ganhos Internos

Ganhos internos médios (W/m ²) (Quadro IV.3)	4
	x
Área útil de pavimento (m ²)	126,95
	x
	2,928
	=
Ganhos Internos totais	1486,84 (kWh)

Folha de Cálculo FCV.1f

Ganhos Totais na estação de Arrefecimento (Verão)

Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (FCV.1d)	1446,23	(kWh)
	+	
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior (FCV.1c)	3458,88	(kWh)
	+	
Ganhos internos (FCV.1e)	1486,84	(kWh)
	=	
Ganhos térmicos totais	6391,94	(kWh)

Folha de Cálculo FCV.1g

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (N_{vc})

Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	6391,94	(kWh)
	/	
Perdas térmicas totais (FCV.1a)	2194,98	(kWh)
	=	
Y	2,91	
Inércia do edifício	Forte	
<hr/>		
	1	
	-	
Factor de utilização dos ganhos solares, η	0,34	
	=	
	0,66	
	x	
Ganhos térmicos totais (FCV.1f)	6391,94	(kWh)
	=	
Necessidades brutas de arrefecimento	4213,21	(kWh/ano)
	+	
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)	0,00	($E_v = P_v \cdot 24 \cdot 122 / 1000$) (kWh)
	=	
TOTAL	4213,21	(kWh/ano)
	/	
Área útil de pavimento (m^2)	126,95	
	=	
Necessidades nominais de arrefecimento - N_{vc}	33,19	(kWh/ m^2 .ano)
	\leq	
Necessidades nominais de arref. máximas - N_v	32	(kWh/ m^2 .ano)

Nota: As restantes fichas, referentes a todas as restantes soluções, encontram-se disponíveis no cd anexo à dissertação.