



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Construção modular em LSF – Estudo do comportamento térmico passivo

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Mecânica Estrutural

Autor

Rúben Alves Leal

Orientadores

Prof.^a Doutora Helena Maria dos Santos Gervásio

Prof. Doutor Paulo Fernando Antunes dos Santos

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Coimbra, Julho, 2015

AGRADECIMENTOS

Olinda e José. A melhor forma de começar é exatamente como tudo começou. Aos meus pais agradeço por todos os ensinamentos e oportunidades que desde sempre me proporcionaram, e por todo o apoio que continuam a demonstrar. Um obrigado especial é também devido à restante família, sempre presente nos momentos importantes.

Aos meus orientadores, Professora Doutora Helena Gervásio e Professor Doutor Paulo Santos, devo um profundo agradecimento e reconhecimento, por toda a partilha de conhecimentos e sugestões, e também pela disponibilidade e abertura com que me encaminharam.

À minha namorada, Carolina, um obrigado especial, por toda a paciência e apoio que demonstrou durante toda esta jornada.

A todos os meus amigos de infância, companheiros de curso e também companheiros nesta longa caminhada.

A todos vocês dedico este trabalho, com a certeza de que tornaram tudo mais fácil.

RESUMO

A crescente preocupação com os problemas ambientais, causados pelo uso excessivo de energias fósseis, despoletou a pesquisa de soluções alternativas, que permitam combater a dependência destes combustíveis e os impactos severos inerentes à sua utilização, como por exemplo, o aquecimento global.

Estima-se que, atualmente, o consumo energético dos edifícios seja cerca de 40% do consumo total na União Europeia, pelo que urge encontrar soluções que permitam reduzir estes gastos. Neste sentido, a opção por soluções passivas, ou seja, o uso inteligente dos materiais e o desenvolvimento de técnicas que permitam obter medidas de consumo energético nulo, ganham importância fundamental. Ainda neste seguimento, a União Europeia cria a Diretiva 2010/31/EU, relativa ao desempenho energético de edifícios que, entre outras medidas, obriga, a partir de 2020, a um consumo energético praticamente nulo por parte dos novos edifícios.

Existem já vários estudos elaborados sobre medidas passivas e a influência de diversos fatores nos desempenhos energéticos dos edifícios, sendo que a investigação e aplicação destas soluções ganha importância a cada dia. O desenvolvimento do conceito de casas passivas, levou também à criação de normas específicas, como a alemã “*Passivhaus*”, que posteriormente se expandiu a outros países da Europa. Vários destes aspetos serão analisados ao longo deste documento.

O objetivo final do trabalho será analisar a influência do fator de forma e da orientação, servindo como modelo de base uma moradia já construída em Coimbra. O estudo será efetuado para as principais regiões climáticas europeias, ajustando adequadamente diversos parâmetros (ventilação, sombreamento, etc) de modo a garantir o melhor desempenho para cada região. A habitação é constituída por um sistema modular, com estrutura leve em aço, que permite uma variedade de soluções arquitetónicas, aliadas à sua facilidade de construção.

Com a realização desta dissertação conclui-se que a construção de modelos mais compactos possibilita um aumento de temperatura para os ambientes interiores, devido à redução das perdas de calor pela envolvente exterior. Este facto revela-se importante para as condições de Inverno, sendo que é dependente da região climática.

Palavras-chave: Construção modular, sistemas passivos, construção leve em aço, compactidade, fator de forma, orientação.

ABSTRACT

The growing concern about environmental issues, caused by the excessive use of fossil energies, triggered the research of alternative solutions, which aims to help overcoming the high dependence of these fuels and the severe impacts that derive from its use, like global warming, for instance.

It's estimated that the buildings sector is responsible for 40% of the total energy consumption in the European Union, thus increasing the need to find solutions to reduce this spending. Following these concerns, the option for passive solutions, i.e, the clever use of materials and the development of technics in order to obtain nearly zero energy measures, has extremely importance. Subsequently the UE developed the Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings which, alongside other measures, obligates, starting in 2020, that all new constructions are nearly zero energy buildings.

There are already many studies on passive measures and the influence of various factors in the energetic performance of buildings, being the investigation and subsequent application of these environmentally friendly solutions more important as the years go by. The development of the concept led to the creation of specific guidelines, like the German “*Passivhaus*”, that has expanded to other countries in the Europe. Several of these points are explored over this document.

The main goal of this work will be to analyze a passive house, already built in Coimbra, in the various climates of Europe, making the necessary adjustments to each location in order to increase its energetic performance. The most important parameter that will be studied is the shape factor, being of extremely importance the determination of its influence in different circumstances. The house was built with a modular system in light steel framing, which allows a diversity of architectural solutions, allied to an easy and fast construction process.

The main conclusion that can be withdrawn from this dissertation is that the construction of compact buildings can increase the inside temperature, due to the reduction of the heat losses through the exterior envelope. This is especially important for winter conditions and is highly affected by the climate region.

Keywords: Modular construction, passive systems, light steel framing, compactness, shape factor, orientation.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento do tema	1
1.2	Objetivos.....	3
1.3	Organização do trabalho	4
2	CASAS PASSIVAS E CONSTRUÇÃO MODULAR – PERSPETIVA HISTÓRICA	5
2.1	Diferentes conceitos de casas	5
2.2	Casas Passivas – Surgimento do Conceito	6
2.2.1	Norma “Passivhaus”	8
2.3	Casas Passivas – Desenvolvimento em Portugal	11
2.4	Futuro das Casas Passivas.....	13
2.5	Construção Modular	14
3	PRINCIPAIS FATORES NO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS	18
3.1	Orientação	18
3.2	Envoltente do Edifício	19
3.2.1	Parede e Cobertura – Importância do Isolamento térmico	19
3.2.2	Envidraçados – Área, Orientação e Sombreamento.....	23
3.3	Ventilação	24
3.4	Localização do edifício.....	25
3.5	Forma e Compacidade	27
4	CASO DE ESTUDO – IMPORTÂNCIA DO FATOR DE FORMA NOS DIFERENTES CLIMAS EUROPEUS	29
4.1	Objetivos.....	29
4.2	Metodologia	29
4.2.1	Modelação	34

4.2.2 Regiões Climáticas	35
4.3 Estudo do Fator de Forma.....	37
4.3.1 Clima Csb – Coimbra, Portugal	37
4.3.1.1 Importância da orientação para a moradia CoolHaven, Coimbra	41
4.3.2 Clima Csa – Atenas, Grécia	44
4.3.3 Clima Cfb – Paris, França	48
4.3.4 Clima Dfc – Tampere, Finlândia.....	50
4.3.5 Clima Dfb - Kiev, Ucrânia	54
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	60
5.1 Conclusões	60
5.2 Trabalhos futuros	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXOS	68

ABREVIATURAS

LSF – *Light Steel Framing*

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

PHI – *PassivHaus Institut*

PHPP – *Passive House Planning Package*

INETI – Instituto Nacional de Energia, Tecnologia e Inovação

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

DOE – *USA Department of Energy*

CEM – Casas em Movimento

NZEB – *Nearly Zero Energy Buildings*

EPS – *Expanded PolyStyrene*

XPS – *Extruded PolyStyrene*

OSB – *Oriented Strand Board*

PUF – *PolyUrethane Foam*

MW – *Mineral Wool*

ICB – *Insulation Cork Board*

Csa - Clima temperado húmido/mediterrâneo com Verão seco e quente

Csb - Clima temperado húmido/mediterrâneo com Verão seco e temperado

Cfb - Clima temperado húmido com Verão temperado

Dfb - Clima temperado frio sem estação seca e com Verão temperado

Dfc - Clima temperado frio sem estação seca e com Verão curto e fresco

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do tema

A preocupação com problemas energéticos, nomeadamente com a escassez de recursos não renováveis, relacionada com os efeitos do seu uso e a enorme dependência atual, levam à criação de medidas cada vez mais apertadas, na procura de um crescimento sustentável, que possa significar, simultaneamente, um desenvolvimento social e económico.

Surge então, no âmbito internacional, o Protocolo de Quioto (1997), que constitui um marco na mudança de paradigma energético. A partir deste protocolo, que entrou em vigor em 2005, 175 países concordam em reduzir, faseadamente, as emissões de CO₂ provocadas maioritariamente pelo uso excessivo de combustíveis fósseis, nas mais diversas áreas. Assim, intensificam-se as pesquisas na procura de alternativas viáveis, que ajudem a combater a extrema dependência deste tipo de energias.

A União Europeia, em articulação com os compromissos expressos a nível mundial, desenvolve a Diretiva 2010/31/EU, relativa ao desempenho energético dos edifícios, datada de Maio de 2010. Segundo esta mesma norma, o sector dos edifícios é responsável por cerca de 40% do consumo total de energia da UE, o que vem enfatizar a necessidade de intervenção, procurando melhorar o desempenho energético do sector, que se encontra em expansão. A diretiva veio revolucionar o sector, sendo que alguns aspetos se encontram já em vigor, como a certificação energética de edifícios e as inspeções periódicas dos consumos energéticos dos mesmos. Os pontos mais importantes a reter desta diretiva são os seguintes:

- Obrigatoriedade de certificação energética de todos os edifícios em construção e todos aqueles já construídos, aquando de tentativa de venda ou arrendamento. Assim, os novos residentes são informados à priori do nível de desempenho térmico e energético, sendo que a classificação varia de A+; a melhor classificação possível e que representa um consumo inferior ou igual a 25 % do valor referência (Nt); a G, com um consumo três vezes superior a Nt. Atualmente, os edifícios novos têm a obrigatoriedade de pertencerem no mínimo à classe B-, com um consumo nunca superior ao de referência Nt (ADENE);
- Para grandes edifícios públicos exige-se, além da certificação energética, uma verificação periódica dos consumos reais, com posterior divulgação em local apropriado da informação recolhida. Este tipo de análise deverá estender-se a edifícios privados, atendendo também à sua dimensão;

- A partir de 31 de Dezembro de 2020, todos os edifícios novos, de acordo com o artigo 9º desta norma, deverão ter “necessidades quase nulas de energia”, estando os limites e a própria definição ainda por estabelecer, sendo da responsabilidade de cada Estado-Membro e podendo variar com a zona em que as construções estão inseridas. No caso de edifícios públicos, esta obrigatoriedade passa para 2018.

Este último ponto confere uma importância extrema às soluções maioritariamente passivas, na medida em que deixa de ser “apenas” uma opção extremamente eficiente em termos energéticos para passar a ser uma obrigatoriedade, contribuindo para alcançar o tão desejado desenvolvimento sustentável.

Em Portugal o sector dos edifícios representa uma menor fatia no que toca ao consumo final de energia, sendo, no entanto, responsável por 17.7 % no sector residencial e 12 % nos edifícios destinados a serviços (INE/DGEG, Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico, 2011). No sector residencial os gastos energéticos dividem-se da seguinte forma:

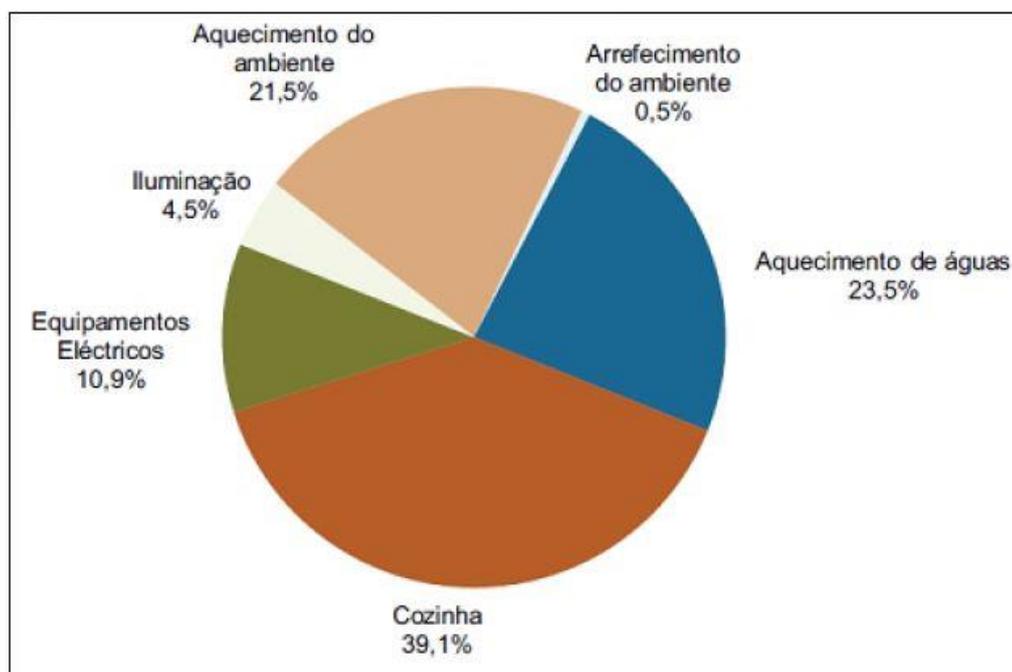


Figura 1.1 - Consumo de energia por alojamento em 2010 (INE/DGEG, 2011)

Atentando apenas na climatização, da figura 1.1 pode-se concluir que 22% dos gastos energéticos poderiam ser poupados pela adoção de medidas passivas. Ainda segundo o mesmo inquérito, a despesa mensal com energia por alojamento ronda os 70 euros.

Todos os dados recolhidos apontam no sentido da adoção de medidas mais eficientes em termos energéticos, passando assim por soluções passivas. Por soluções passivas entendem-se todas aquelas que permitem garantir as necessidades de conforto dentro do edifício, tendo um

consumo nulo ou praticamente nulo de energia. O conforto dentro do edifício está maioritariamente relacionado com a temperatura interior e luminosidade natural.

Existe uma vasta gama de soluções passivas que podem ser adotadas, sendo que a escolha dependerá de vários fatores, sendo os mais importantes o clima e a exposição solar do edifício, sendo que o custo inicial mais elevado, normalmente associado a este tipo de medidas, também não pode ser descartado. No entanto, se estas medidas forem previstas logo na fase de projeto e design do edifício, podem reduzir substancialmente o seu custo, quando comparado com uma situação em que a sua implementação é posterior à construção (Pacheco *et al.*, 2011).

De facto, o estudo prévio revela ter grande importância, pois também a forma e compacidade do edifício devem ser adaptadas em função do clima em que este se encontra inserido, afetando assim o projeto de arquitetura. Neste sentido, a construção modular em aço leve (LSF – *Light Steel Framing*) oferece elevada flexibilidade arquitetónica, podendo ser facilmente adaptada para diferentes realidades, sendo também uma solução energeticamente eficiente e de rápida construção (Murtinho *et al.*, 2010).

1.2 Objetivos

O objetivo inicial do trabalho será comprovar a significativa melhoria em termos de consumos energéticos que a adoção de soluções passivas permite. Será feita uma breve nota histórica, desde a construção mais tradicional até aos dias de hoje, com referência às primeiras medidas passivas adotadas. A origem das casas passivas, com especial destaque para a “Passivhaus” alemã, a sua norma e posterior expansão europeia também merecerá destaque.

Os principais fatores a ter em conta na elaboração de um projeto para um edifício passivo, desde o clima até ao fator forma, serão descritos.

Posteriormente, será estudada a envolvente construtiva, devido ao seu papel fundamental no comportamento térmico do edifício. Os principais componentes da envolvente, bem como as melhores técnicas e materiais para aplicar soluções passivas terão também relevo.

A parte final está destinada à análise paramétrica do desempenho térmico de uma habitação já existente em Coimbra e construída de acordo com a norma “Passivhaus”. Esta habitação será testada em diferentes climas, sendo posteriormente ajustada na forma e nos componentes da sua envolvente, de maneira a aperfeiçoar o seu desempenho térmico. O facto de ter sido construída em LSF permitiria a fácil manipulação dos diferentes módulos que a constituem em condições reais, contudo a modelação será apenas virtual, através do *software Design Builder*, que, em conjunto com o *software EnergyPlus* usado para simular o comportamento energético dos edifícios, devolve os dados necessários para analisar devidamente cada solução.

1.3 Organização do trabalho

Neste primeiro capítulo da dissertação faz-se o enquadramento do tema, expondo a sua importância no panorama atual. Dá-se também importância aos objetivos definidos para o restante trabalho, bem como a sua organização.

O segundo capítulo é reservado para o estado da arte, em que se descreve a origem da construção passiva e da construção modular, fazendo-se também um breve menção aos diferentes tipos de casas e ao desenvolvimento do sector ao longo dos anos.

O terceiro capítulo descreve a importância de diferentes fatores no desempenho térmico do edifício, como a orientação, a forma e compactidade do edifício e a solução construtiva, entre outros.

O quarto capítulo está reservado para a análise da importância da compactidade como medida passiva. O ponto de partida será uma moradia da CoolHaven, já construída em Coimbra e que adota uma vasta gama de soluções passivas. O objetivo passará por recriar o seu comportamento térmico em diferentes regiões climáticas, compreendendo praticamente a totalidade do território europeu. A sua arquitetura singular possibilitará a comparação com modelos mais compactos, permitindo perceber para que climas o fator de forma se revela mais importante. A solução construtiva, nomeadamente os materiais e a sua disposição nos painéis que constituem e envolvente, será ajustada mediante as condições de cada clima.

O último capítulo destina-se às devidas conclusões, com a discussão das perspetivas para o futuro do sector da construção, tendo em conta o um desenvolvimento sustentável.

2 CASAS PASSIVAS E CONSTRUÇÃO MODULAR – PERSPETIVA HISTÓRICA

Numa primeira fase deste capítulo descreve-se o desenvolvimento dos processos construtivos que levaram ao aparecimento das denominadas casas passivas. Analisam-se vários tipos de casa, seguindo as observações de alguns autores. Estudam-se também as “Passivhaus” e os seus requerimentos, sendo analisado, por fim, o desenvolvimento das casas passivas em Portugal.

A parte final deste capítulo é reservada à construção modular, nomeadamente ao seu surgimento e desenvolvimento no mercado de construção, analisando também as suas variantes.

2.1 Diferentes conceitos de casas

Alguns autores desenvolveram estudos económicos de diferentes soluções, categorizando as casas como tradicionais, de baixo consumo energético (*low-energy*) ou passivas. As casas convencionais ou tradicionais são edificadas com base na prática comum de cada país em determinada época, cumprindo apenas os requisitos mínimos em termos energéticos.

As casas de baixo consumo energético são construídas com o objetivo de minimizar os gastos energéticos, no entanto ainda necessitam de algum tipo de sistema de climatização.

As casas passivas são projetadas de forma a incorporar medidas que possibilitam obter um consumo energético nulo ou praticamente nulo, através de tecnologia passiva. Podem ter algum tipo de sistema ativo, baseado, por exemplo, em energia solar (Audenaert *et al.*, 2008).

O gráfico seguinte, relativo a um estudo belga, demonstra o tempo de retorno do investimento inicial, devido aos ganhos energéticos, tendo por base o menor custo inicial da casa tradicional (Audenaert *et al.*, 2008).

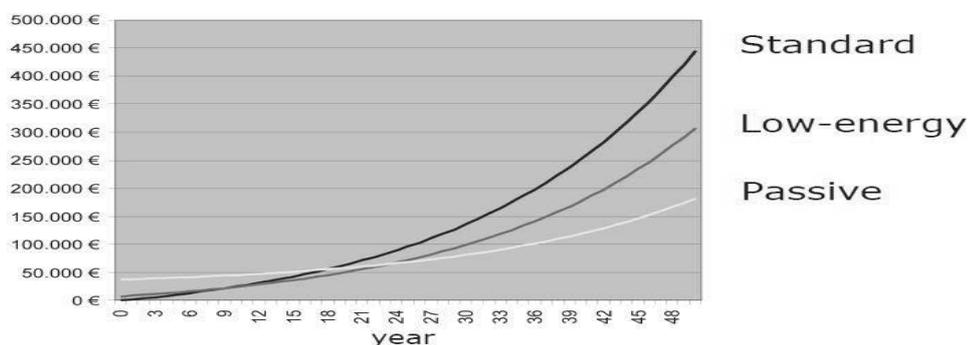


Figura 2.1 - Tempo de retorno de casas passivas na Bélgica (Audenaert *et al.*, 2008)

Como se pode atentar no gráfico, o tempo de retorno é de cerca de 18 anos, da casa passiva para a tradicional. Estes cálculos são feitos tendo em conta um crescimento anual de 10% nos preços da energia primária.

É necessária uma análise precisa do ciclo de vida do edifício, pois nem sempre a solução mais eficiente em termos energéticos é aquela que se revela mais económica (Pacheco *et al.*, 2011). Este facto pode ser contrariado através de uma maior facilidade de crédito por parte da banca e de apoios governamentais aos interessados em investir neste tipo de soluções, já que as famílias terão folgas mensais devido às poupanças energéticas.

2.2 Casas Passivas – Surgimento do Conceito

Com o passar dos anos, foram sendo adotadas medidas que aproximavam as casas daquilo que hoje se entende como casas passivas. Sem qualquer tipo de preocupação com o conceito, algumas casas tradicionais eram já pintadas com cores claras e orientadas a sul, beneficiando da maior incidência solar.

Em Sevilha, além da fachada branca, as ruas eram estreitas, provocando sombreamento, combatendo as elevadas temperaturas de Verão (Passive-On Project 2007a). No entanto, muitas destas medidas, como por exemplo, a adoção de paredes espessas ou paredes de Trombe, modifica muito a arquitetura tradicional.



Figura 2.2 - Rua estreita nas redondezas do Real Alcázar, Sevilha (Estações do Mundo@,2015)

Neste seguimento e como consequência da crise energética da década de 70, surgiram nos EUA, nesse mesmo período, diversos estudos sobre casas bastante isoladas (Cardoso et Ascenso, 2011). O surgimento do isolamento permite voltar a soluções arquitetónicas mais tradicionais.

O conceito de casa passiva surge na década seguinte (1988), pela mão dos professores Bo Adamsson (Lund University, Suécia) e Wolfgang Feist (Institut für Umwelt und Wohnen, Alemanha), fortemente impulsionado pela ajuda do estado alemão de Hessen, que permitiu a construção de quatro casas passivas. A primeira delas, em Darmstadt verificou poupanças de cerca de 90% de energia para climatização, quando comparado com as casas tradicionais da época da mesma zona (Cardoso e Ascenso, 2011).



Figura 2.3 - Primeira Passivhaus em Darmstadt (Passiv@, 2015)

Estas casas são a origem do “*Passivhaus Institut*” (PHI) em 1996, que traz consigo a norma “*Passivhaus*”, o passo seguinte na uniformização das medidas a adotar para as casas passivas.

Estes edifícios, também conhecidos por NZEB (“*Nearly zero energy buildings*”), assentam em alguns princípios base, a serem desenvolvidos posteriormente:

- Isolamento térmico, aplicado de maneira devida, fornecendo maior inércia térmica e eliminando as pontes térmicas;
- Aproveitamento eficiente da incidência solar, através de uma orientação inteligente para o local e com as aberturas devidamente colocadas;
- Ventilação, com recuperação do calor ventilado, e impermeabilidade, que estão relacionadas com o isolamento e a qualidade do ar interior, pois como se está perante soluções com elevada estanquidade, por vezes a ventilação unicamente pelas aberturas é insuficiente (Brandão, 2008).

Os três pontos referidos, aliados ao uso de energias amigas do ambiente quando é necessário optar por sistemas ativos, colmatando as remanescentes necessidades de energia, tanto para o uso de aparelho elétricos ou maiores necessidades de climatização, estão na origem desta solução de baixo consumo.

2.2.1 Norma “Passivhaus”

Vários países possuem legislação própria para casas passivas, como é o caso da Suíça e da Dinamarca. Contudo, a expansão da norma alemã a diversos países, nomeadamente aqueles que constituem a Europa do Sul, leva a que seja considerada a mais importante a nível europeu, possuindo medidas para os diferentes climas europeus. Em Frankfurt e na Áustria a adoção da norma é já uma obrigatoriedade (Cardoso e Ascenso, 2011).

A norma “*Passivhaus*” baseia-se essencialmente no estabelecimento de limites para o consumo de energia para climatização e em manter um bom ambiente interior, em termos de temperatura de conforto e qualidade do ar (Passive-On Project, 2007b).

Quadro 2.1 – Comparação de alguns dos principais requisitos da norma "*Passivhaus*" para as diferentes regiões europeias

Norma " <i>Passivhaus</i> "		
Valores Máximos	Europa	
	Centro	Sul
Aquecimento [kWh/m ² .ano]	15	15
Arrefecimento [kWh/m ² .ano]	-	15
Energia Primária para climatização, ventilação, água quente e electrrodomésticos [kWh/m ² .ano]	120	120
Temperatura Interior Mínima [°C]	17	-
Temperatura Interior Máxima [°C]	-	26
Permeabilidade ao ar [rph]	0,6	1
U - Envidraçados [W/m ² .K]	0,8	-
U - Envoltente Exterior [W/m ² .K]	0,15	-

De frisar que as necessidades expostas no quadro acima devem ser calculadas pelo software "*Passive House Planning Package*" (PHPP). Note-se a diferença nos limites do coeficiente de transmissibilidade térmica (U), dado que para o sul da Europa os valores máximos não se encontram estabelecidos.

A expansão para realidades diferentes, com climas mais quentes, ajustando a norma para esses países, levou a um enorme crescimento do mercado das denominadas "*Passivhaus*". Em 2011, existiam cerca de 32 mil casas por toda a Europa com esta classificação (15th Passive House International Conference, 2011).

Este forte crescimento pode também ser justificado em termos económicos. O projeto "*Passive-On*" (2007) estudou a viabilidade em termos financeiros das casas "*Passivhaus*", comparando os seus custos de construção com os custos da solução tradicional, para as diferentes regiões climáticas.

Quadro 2.2 - Comparação dos custos entre casas típicas e "Passivhaus" (Passive-On Project, 2007c)

País	Custo Médio de Construção [€/m ²]		Custo Extra [€]	Custo Extra [%]
	Casa Típica	Passivhaus		
França	1100	1203	103	9
Alemanha	1400	1494	94	6,71
Itália	1200	1260	60	5
Espanha [Granada]	720	744,1	24,1	3,35
Espanha [Sevilha]	720	740,5	20,5	2,85
Reino Unido	1317	1390	73	5,54

Pode-se concluir que o custo inicial extra é maior para os países com climas mais frios, dadas as suas maiores necessidades de isolamento. Nestes países para as "Passivhaus" chegaram a ser projetadas soluções com isolamento entre 50 a 90 cm, o que faz aumentar significativamente o preço, quando comparado com o sul da Europa, onde as necessidades de isolamento reduzem para metade (Ascenso, 2011). Mesmo assim, o custo não é muito superior ao de uma casa tradicional, sendo para o caso mais gravoso da Alemanha, apenas 9% superior.

Torna-se então necessário fazer uma análise ao ciclo de vida da habitação, como já referido anteriormente, percebendo também qual o período de retorno do capital inicial extra para cada país (Passive-On Project, 2007c).

Quadro 2.3 - Análise do ciclo de vida e período de retorno (Passive-On Project, 2007c)

País		França	Alemanha	Itália	Espanha [Granada]	Espanha [Sevilha]	Reino Unido
Custo Inicial Extra [€]		103	94	60	24,1	20,5	73
Custo Inicial Extra [%]		9	6,71	5	3,35	2,85	5,54
Poupança Energética Total [kWh/m ² .ano]		55	75	86	65,5	37,6	39,7
Poupança Energética Total [%]		45,0%	50,0%	65,4%	57,3%	40,7%	26,4%
Custo Ciclo de 10 anos [€]	Típica	143731	184716	193817	101828	98385	108337
	Passivhaus	152621	190104	190437	95676	96100	111988
Custo Ciclo de 20 anos [€]	Típica	160343	204942	221148	117928	108689	117875
	Passivhaus	160552	200579	198458	103647	102290	117256
Período de Retorno [anos]		19,5	19	8	4	5	19

Este estudo vai de encontro ao exposto na figura 2.1, relativa a uma análise semelhante realizada para uma casa passiva na Bélgica. Pode-se concluir que o período de retorno do capital inicial extra é ligeiramente inferior a 20 anos, para os países da Europa Central. Para os países do sul, o custo inicial extra devido à adoção de medidas passivas é mais reduzido, sendo obtidos períodos de retorno significativamente mais baixos. Para o caso de Sevilha, Espanha, o período de retorno da “*Passivhaus*” é de apenas 4 anos, com ganhos significativos aos 10 e 20 anos, comparativamente à casa tradicional.

2.3 Casas Passivas – Desenvolvimento em Portugal

Em Portugal, como noutros países, as medidas passivas começaram por ser usadas ainda sem a definição do conceito, apenas com o intuito de melhorar as condições interiores. Assim, na zona norte do país, era frequente a construção de casas de pedra, com o piso térreo ocupado por animais, aproveitando o calor libertado por estes para aquecer o piso acima no Inverno.

No sul de Portugal a realidade era bem diferente, pois a necessidade mais urgente era a de arrefecimento. Portanto, para tentar contrariar as elevadas temperaturas, as casas eram pintadas de branco, refletindo os raios solares, e normalmente tinham apenas um piso térreo, aproveitando a menor temperatura e maior inércia térmica do solo no Verão. Medidas mais sofisticadas também eram usadas, como o recuo das janelas em relação à fachada, criando sombreamento. Outro dado interessante era a colocação de uma ou duas telhas de vidro para possibilitar a entrada de luz natural.

Mais recentemente, a experiência portuguesa mostra que é possível construir edifícios de baixo consumo energético sem adotar medidas tão restritivas como a norma “*Passivhaus*” para a envolvente, nem mecanismos ativos de ventilação (Passive-On Project, 2007a). Tal é conseguido através de uma excelente ventilação natural, que ajuda a alcançar uma sensação de bem-estar para os ocupantes, mesmo quando as condições de temperatura e humidade são semelhantes no exterior (Pacheco et al, 2011).



Figura 2.4 - Edifício ventilado naturalmente em Lisboa (Passive-On Project, 2007a)

Apesar de não existir um estudo tão extenso para a realidade portuguesa, nomeadamente ao nível do custo extra inicial e do período de retorno da “*Passivhaus*”, existe já um estudo efetuado pelo “*Passive-On Project*”, que modelou, em 2007, uma casa deste tipo para a zona de Lisboa. O estudo elaborado comparou os gastos energéticos desta solução com os gastos de uma solução tradicional (Passive-On Project, 2007c).

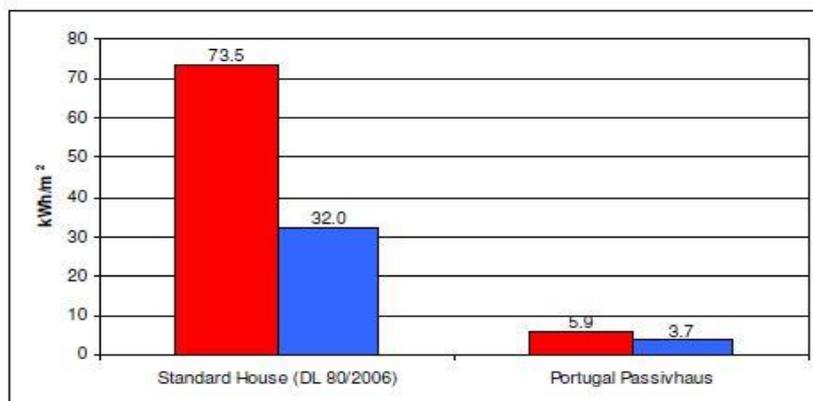


Figura 2.5 - Comparação dos gastos com aquecimento (Vermelho) e arrefecimento (Azul) de uma casa típica e de uma *Passivhaus* (Passive-On Project, 2007c)

Como se pode verificar as poupanças são energéticas são enormes, verificando as vantagens da norma alemã. Para se ter uma ideia, o consumo máximo permitido de energia útil para arrefecimento pelo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), na sua versão antiga, era de aproximadamente 105 kWh/m².ano, substancialmente superior aos 15 kWh/m².ano da norma “*Passivhaus*”. Em 2006, a revisão do regulamento português permitiu uma aproximação à norma alemã, com os valores de energia útil para arrefecimento a serem revistos para um máximo de 32 kWh/m².ano a aplicar a sul de Portugal, valor que diminui para as restantes regiões do território nacional.

Além do estudo realizado para a zona lisboeta, no ano de 2011 construiu-se a primeira “*Passivhaus*” em território nacional, localizada em Ílhavo, Aveiro. A casa obteve classificação energética A+.



Figura 2.6 - *Passivhaus* de Ílhavo a) em construção (Diário Aveiro@, 2015); b) Construída (*Passivhaus*@, 2015)

2.4 Futuro das Casas Passivas

De forma a desenvolver e enraizar o conceito de casas passivas, vários autores sugerem a introdução do conceito de desenho e projeto passivo nos programas curriculares de arquitetos e engenheiros. Além disto, seria importante a cedência de regalias financeiras a quem procura construir este tipo de soluções. O surgimento da Diretiva 2010/31/EU vai também obrigar a olhar mais para este tipo de solução, o que deverá provocar o seu maior desenvolvimento.

Neste momento, existe já o conceito de “*PlusEnergie Haus*”, ou seja, casas que podem produzir mais energia que aquela que consomem (Ascenso, 2012).

Neste seguimento, em Portugal, existe já uma empresa denominada de “Casas em Movimento” (CEM), que se baseia, como o próprio indica, no estudo de casas que rodam consoante a posição do sol, captando assim mais energia.



Figura 2.7 - Casa Autossuficiente com sistema girassol (Visão@, 2015)

A casa tem o potencial de reduzir substancialmente os custos de climatização, através deste sistema girassol, que inclina e roda 180° de dia, voltando à posição inicial durante a noite. Através da aplicação de painéis solares, a casa poderá produzir excedente de energia até cinco vezes o seu nível de consumo, podendo ser controlada à distância, em qualquer ponto do planeta. Assenta numa construção modular e o excedente energético produzido pode ser usado para carregar carros ou mesmo casas ao seu redor (Oliveira, 2015).

2.5 Construção Modular

O conceito de módulo está há muito enraizado no sector da construção, sendo o seu uso associado a construções datadas à antiguidade, como as pirâmides de Egito construídas em bloco. No entanto, a ideia de considerar a construção com blocos ou módulos como construção modular não é consensual, visto que muitos autores apenas a consideram como realmente é vista hoje em dia, ou seja, um sistema construtivo caracterizado pela sua padronização dimensional, conceção industrial com estandardização de processos e materiais (Castelo, 2008). Hoje em dia, vários autores utilizam termos alternativos como “coordenação modular” ou “coordenação dimensional modular” para se referirem à construção modular (Silva, 2014), o que só enfatiza a necessidade de normalização das dimensões e processos, já descrita como fundamental para o conceito.

A construção modular está efetivamente ligada ao conceito de pré-fabricação, sendo, no entanto, importante a distinção entre uma casa modular e uma casa pré-fabricada, já que em

comum estas apenas partilham o facto de o processo construtivo assentar numa produção industrial, ao invés da habitual construção tradicional. De facto, é a evolução tecnológica que possibilita o aparecimento da construção modular tal como hoje se conhece, com o primeiro grande marco a ser o palácio de Cristal, construído em Londres em 1851, para uma exposição universal (Freitas, 2014).



Figura 2.8 – Palácio de Cristal, Londres (Arquitetando@,2015)

A construção do palácio assentava em placas de vidro com estrutura em ferro, com todas as peças a serem produzidas industrialmente e posteriormente aplicadas no local (Freitas, 2014). O palácio foi posteriormente desmontado e reconstruído noutra local, o que realça a flexibilidade deste tipo de construção, dada a época e o contexto.

Atualmente é possível encontrar edifícios de todos os tipos, concebidos através de construção modular, sendo de destacar os principais tipos. Portanto, encontram-se na indústria da construção modular blocos completamente pré-fabricados, que apenas necessitam de transporte e aplicação no local devido. Em alternativa, pode-se recorrer a painéis, que após o transporte necessitam de ser ligados entre si.

A primeira das opções expostas é também conhecida por construção modular 3D, por oposição á segunda alternativa, conhecida por construção modular 2D, correspondendo ao modelo CoolHaven, analisado ao longo desta dissertação.

Os sistemas de construção modular são diversos, podendo a opção recair por sistemas abertos, fechados ou parcialmente abertos, variando com a necessidade. O facto de a construção estar completamente padronizada e mecanizada, também é bastante importante, visto que minimiza drasticamente os possíveis erros de construção, comparativamente ao sistema tradicional.

Além disso, existe uma grande flexibilidade criativa, que proporciona a obtenção das mais variadas configurações arquitetônicas, através das diferentes formas que podem ser atribuídas aos blocos.



Figura 2.9 – Transporte (esq.) e montagem (dir.) de uma moradia constituída por módulos e estrutura em LSF (Futureng@,2015)

A moradia representada, na figura 2.9 foi construída em Portugal pela *Futureng* e posteriormente enviada para Angola, para ser montada, sendo só um exemplo entre muitos.

Também já é possível a construção modular em altura, estando prevista a construção daquele que será o maior edifício modular do mundo. Projetado pelos escritórios da *ARUP*, o edifício será construído no bairro de Brooklyn, em Nova Iorque e terá um total de 32 pisos. O edifício será composto por cerca de 1000 blocos com 45 m², sendo que o sistema de pré-fabricação permitirá diminuir cerca de 90% os resíduos de construção e 70 % a energia gasta no processo, comparativamente ao sistema tradicional (Engenhariacivil@,2015).



Figura 2.10 – Futuro maior edifício modular do mundo, a construir em Nova Iorque
(Engenhariacivil@,2015)

No âmbito da presente dissertação, a importância da construção modular reside na sua enorme adaptabilidade, tanto em termos de forma como do sistema construtivo. Assim, será permitido partir de um modelo com uma arquitetura bastante expressiva e torná-lo num modelo compacto, estudando a importância que o fator de forma terá no comportamento térmico do edifício.

Além da versatilidade, a pegada ecológica deste tipo de soluções é bastante reduzida, quando comparada com a construção tradicional, reduzindo o impacto ambiental através da utilização de materiais naturais e recicláveis, cujas características permitem também um tempo de vida útil com baixo consumo energético (Modularsystem@,2015). De facto, a construção modular revela-se uma alternativa viável nos tempos que correm, tendo em conta a urgente necessidade de tornar o sector da construção num sector mais sustentável.

3 PRINCIPAIS FATORES NO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS

Este capítulo pretende expor a influência que parâmetros como a orientação, forma e compactidade do edifício, a envolvente exterior, ventilação, entre outros, têm no comportamento térmico das casas. Desta forma é feita a ponte com o próximo capítulo, onde se analisa com mais detalhe os componentes da envolvente e possíveis técnicas passivas a adotar.

3.1 Orientação

As necessidades de climatização e luz artificial representam uma grande fatia do consumo total energético de edifícios, sendo portanto essencial a captura de energia solar que permita reduzir o consumo energético. Neste sentido, a orientação tem um papel fundamental, pois define a quantidade de energia solar direta que incide no edifício, sendo por isso o parâmetro mais importante no desenho passivo e aquele que é mais estudado (Pacheco *et al.*, 2011).

No hemisfério norte é recomendável que a maior fachada do edifício seja orientada a sul, sendo que alguns estudos foram feitos de forma a comprovar esta mesma recomendação. O quadro seguinte representa os resultados de um estudo feito para a fachada mais envidraçada de um escritório, revelando os gastos extras com as orientações a este e oeste.

Quadro 3.1 - Estudo de orientação de um escritório (Pacheco *et al.*, 2012)

Consumo de energia comparativamente a Sul					
Orientação	Sul	Este	%	Oeste	%
Aquecimento [kWh/ano]	186	231	24%	219	18%
Arrefecimento [kWh/ano]	281	286	2%	369	31%
Total [kWh/ano]	467	517	11%	588	26%
Temperatura Máx [°C]	26,4	26,6	-	27	-

De notar que, além do custo extra para climatização, a temperatura máxima, apesar de ligeiramente, também é superior.

Apesar desta espécie de consenso geral na orientação a sul, alguns autores recomendam uma orientação de 20° a 30° em relação a este ponto cardinal, baseados nas relações entre os ganhos solares e necessidades de climatização.

Em suma, a escolha de uma boa orientação representa uma medida de baixo custo e que deve ser prevista logo na fase de desenho, dado que reduz a necessidade de optar por sistemas passivos mais complexos, aumentando ao mesmo tempo o desempenho dos adotados (Pacheco *et al.*, 2011). Representa também um aumento de luz natural, o que reduz a fatura energética, e maximiza igualmente os ganhos de sistemas de coletores solares.

3.2 Envolvente do Edifício

A envolvente do edifício, constituída pelas paredes, cobertura, envidraçados, fundações e portas, determina a qualidade do ambiente interior. É responsável pelas trocas de calor com o exterior, estimando-se que a adoção de melhores materiais para os seus componentes, em conjunto com a introdução de técnicas passivas, tenha um grande impacto na diminuição da fatura energética.

Assim, torna-se essencial um estudo isolado de cada um dos seus componentes, de forma a perceber a influência de cada um deles na manutenção de um ambiente interior de qualidade. É essencial perceber por onde se verificam as maiores trocas de energia, sendo que estas podem ocorrer por condução, convecção e radiação.

3.2.1 Parede e Cobertura – Importância do Isolamento térmico

As paredes e a cobertura correspondem à maior percentagem da superfície da envolvente, sendo de esperar que ocorram trocas significativas de energias entre o interior e exterior por estes componentes opacos. De forma a prevenir estas trocas, diferentes soluções passivas poderão ser usadas, com o intuito de melhorar a qualidade do ambiente interior. Exemplo disso é a parede de Trombe, há muito tempo usada para aumentar os ganhos de energia e que tem sofrido melhoramentos ao longo dos anos, adaptando-se também aos climas mais quentes.

Mais recentemente, tem sido crescente o uso de isolamento térmico, sempre com o objetivo de limitar as trocas de calor por condução. Na escolha deste isolamento as características do material a ter em conta deverão ser a condutividade e a inércia térmica, pois pretende-se diminuir substancialmente o coeficiente de transmissão térmica (U) das paredes e telhados. No Reino Unido, por exemplo, este coeficiente tem baixado com o passar dos anos e a introdução de novas técnicas e materiais de isolamento. De $0.45 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ em 1995 para $0.35 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ em 2000, representando uma redução de 22% na transmissibilidade térmica para as paredes (Sadineni *et al.*, 2011). A norma “Passivhaus” é ainda mais exigente na Europa Central, admitindo um máximo $0.15 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ para todas as componentes opacas.

Os materiais usados são geralmente porosos e de baixa densidade, aplicados na forma de placas ou espuma, por exemplo. Nomeiam-se alguns destes materiais:

- Poliestireno expandido (EPS);
- Poliestireno extrudido (XPS);
- Espuma de poliuretano (PUF);
- Aglomerado de cortiça (ICB);
- Lã mineral (MW).

A colocação do isolamento é fundamental, dado que irá influenciar largamente a sua eficácia. O melhor desempenho é atingido quando se coloca o isolamento na superfície da parede de entrada de calor (Sadineni *et al.*, 2011). Assim, em países com maiores capacidades de aquecimento, o isolamento deverá ser colocado pelo interior, ao passo que nos países com necessidades de arrefecimento a superfície a isolar deverá ser a exterior. No entanto, o isolamento pelo exterior, quando devidamente aplicado, permite evitar as pontes térmicas, já que a sua aplicação pode-se verificar em toda a superfície exterior, incluindo elementos estruturais e suas ligações. No caso de aplicação pelo interior não é possível eliminar na totalidade as zonas frias, visto não ser exequível aplicar o isolamento nas ligações de elementos estruturais ou da parede exterior com paredes interiores. Outra solução passa por aplicar o isolamento no interior da parede exterior, quando se trata de parede dupla.

Um exemplo de um sistema de isolamento pelo exterior é o sistema “Capoto”, aplicado sob a forma de placas, revestidas com rede e argamassa, além da pintura final. É também frequente o uso de buchas para ajudar a fixar as placas, funcionando como sistema de ancoragem.



Figura 3.1 - Esquema de Isolamento pelo exterior - Sistema Capoto (Flavi Rebocos@, 2015)

Como já referido, as características mais importantes na escolha do isolamento são a condutibilidade e inércia térmica do edifício, sendo que esta última é responsável por resistir às

variações de temperatura. Contudo, também é essencial definir corretamente a quantidade de isolamento, já que uma espessura exagerada pode acarretar custos excessivos e uma espessura demasiadamente reduzida traz consigo um déficit de isolamento. Portanto, é necessária uma análise de cada casa, tendo por base variáveis como o clima e localização. Alguns estudos foram elaborados, através de análises custo-benefício, verificando-se que a partir de certa espessura os ganhos energéticos não eram significativos (Pacheco *et al.* 2011).

A cobertura também deverá ser devidamente estudada, pois representa cerca de 60% das perdas térmicas (Sadineni *et al.*, 2011). Existe já um grande número de soluções passivas para telhados, como coberturas refletoras ou recorrendo a vegetação (“*Green Roofs*”), que permite reduzir os gastos com os sistemas de climatização.

Pode-se também optar por um sistema à base de isolamento, composto por uma camada de impermeabilização por cima da laje e a camada de isolamento, que se encontra coberta por blocos. Há ainda lugar a uma camada superior, que funciona como estrato drenante e é composta por materiais como seixos ou britas. O esquema descrito encontra-se na figura 3.2.

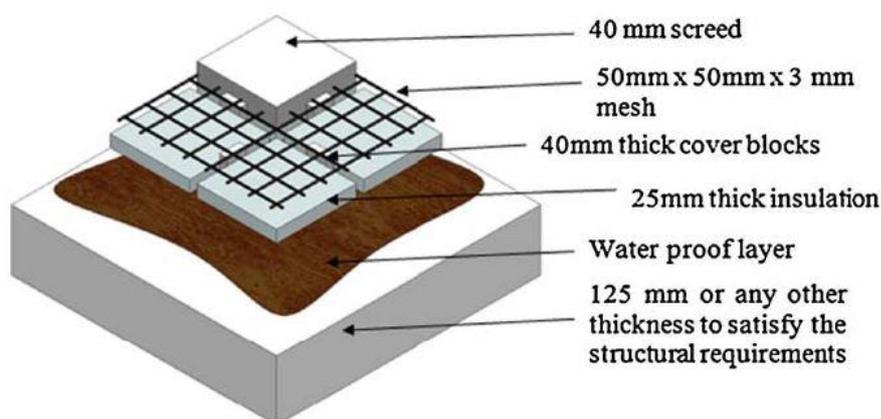


Figura 3.2 - Esquema de uma cobertura invertida (Sadineni *et al.*, 2011)

O sistema da figura 3.2 funciona como cobertura invertida, dado que o isolamento se encontra por cima da impermeabilização. Outras soluções são possíveis, como se ilustra de seguida.

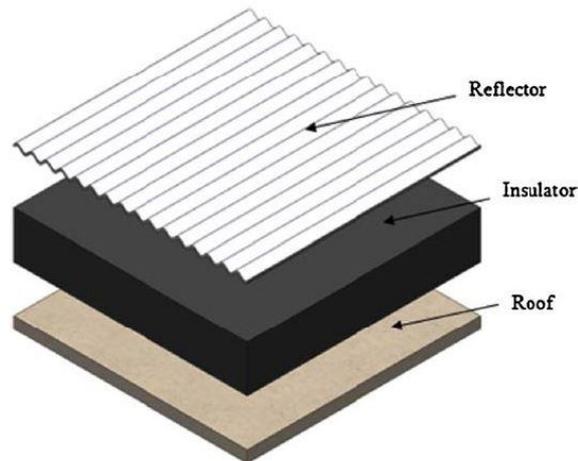


Figura 3.3 - Sistema com camada refletora por cima do isolamento - "Radiant-transmitive barrier" (Sadineni *et al.*, 2011)

Neste último caso é colocada uma superfície refletora por cima da camada de isolamento, atuando em simultâneo como "Radiant-transmitive barrier" (Sadineni *et al.*, 2011).

Por fim, os pavimentos também merecem atenção. Em pavimentos com contacto direto com a fundação pode ser aproveitada a maior inércia do solo, para funcionar como sistema de climatização, através de tubos e furos geotérmicos.

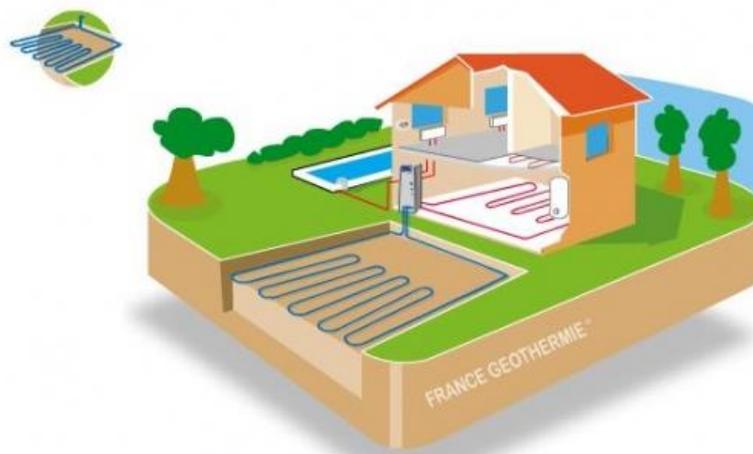


Figura 3.4 - Sistema de captação horizontal de energia geotérmica (Dern@, 2015)

Na figura 3.4 pode-se ver um sistema de captação de energia geotérmica, com tubos horizontais, que aproveita o facto de a temperatura no solo ser praticamente constante durante todo o ano.

Nos casos em que o pavimento tem ligação a uma área não isolada, como por exemplo uma garagem num piso inferior, deve-se ser estudado o isolamento a aplicar, evitando assim maiores transferências de calor entre as divisões.

3.2.2 Envidraçados – Área, Orientação e Sombreamento

As janelas e demais envidraçados trocam energia por radiação, convecção e condução, devendo ter especial atenção. Assim, o desenho passivo deverá ser capaz de projetar as zonas envidraçadas com a devida área e orientação, prevenindo ganhos ou perdas excessivos de energia por estes elementos, dado que se estima que 30% das necessidades de aquecimento acontecem por perdas de calor nos envidraçados (Isolani, 2008).

No seguimento do exposto, nos países do Norte e Centro da Europa, é recomendável a colocação de envidraçado entre 2/3 a 3/4 da área total da fachada orientada a Sul (Mendonça, 2005), maximizando assim os ganhos. No caso de Portugal, a área de envidraçados orientada a Sul não deverá exceder os 40% da fachada, dado que acima deste valor poderão ocorrer sobreaquecimentos na estação de Verão (Isolani, 2008).

A orientação a Este e Oeste não aumenta significativamente os ganhos no Inverno e no Verão provoca sobreaquecimento (Isolani, 2008), dado que a incidência da luz solar é praticamente perpendicular aos envidraçados. A Norte a área deve ser reduzida, evitando assim maiores perdas de calor no inverno.

Quanto ao sombreamento, os dispositivos devem ser móveis, ajustando-se de acordo com as necessidades de cada estação. Assim, no Verão evitam-se ganhos excessivos, não sendo os mesmos impedidos no Inverno. Existem diversas opções no mercado no que toca a dispositivos de sombreamento, nomeadamente estores ou rolos pelo exterior da fachada, onde é fácil controlar a área sombreada, palas, entre outros. A própria arquitetura pode proporcionar auto sombreamento (“*Self-Shading*”), como é o caso da Câmara Municipal de Tempe, no Arizona, ou do banco de Israel (Pacheco *et al.*, 2012).



Figura 3.5 - a) Tempe City Hall, Arizona (Azcentral@,2015); b) Banco de Israel (Reuters@, 2015)

Além da área envidraçada e do sombreamento, também se deve ter atenção à caixilharia e ao tipo de vidro. Para evitar grandes trocas de energia, a caixilharia pode ser isolada com o devido material, caso exista espaço. Quanto à própria caixilharia, os materiais com melhor desempenho térmico são a madeira, o PVC e o alumínio com corte térmico (Isolani, 2008).

A evolução tecnológica permitiu o aparecimento de várias inovações para os envidraçados, no sentido de melhorar o seu desempenho térmico. Neste momento já é possível optar por vidros que escurecem consoante a incidência solar, através de painéis electrocrómicos, reduzindo os ganhos. Pode também optar-se por colocar uma película de partículas suspensas (SPD – “*Suspended particle devices*”) entre dois painéis de vidro, que captam a luz solar. Envidraçados com vácuo entre dois painéis (“*Vacuum Glazing*”), que eliminam as trocas de energia por convecção e condução também já se encontram no mercado. No entanto, estas soluções apresentam algumas desvantagens, nomeadamente o seu custo, redução da luz natural no interior e, para o caso das últimas duas, um curto período de vida (Sadineni *et al.*, 2011).

3.3 Ventilação

O aproveitamento correto da ventilação natural tem um efeito duplamente compensador, dado que permite reduzir os custos de climatização no Verão e melhorar a qualidade do ar e do ambiente interior.

Neste contexto, devem ser criadas condições para a ocorrência deste tipo de ventilação. Assim, deverão ser estudados os ventos da região, percebendo-se as direções em que este é mais forte e frequente. Posteriormente, o projeto de arquitetura deverá providenciar “caminhos”, colocando pelo menos duas janelas em fachadas opostas, que leva a uma diferença de pressão entre as duas fachadas, otimizando a ventilação (Isolani, 2008).

A figura seguinte representa um esquema de ventilação natural, onde a diferença de temperatura e densidade do ar, em conjunto com o efeito chaminé na parte central, facilitam o processo.

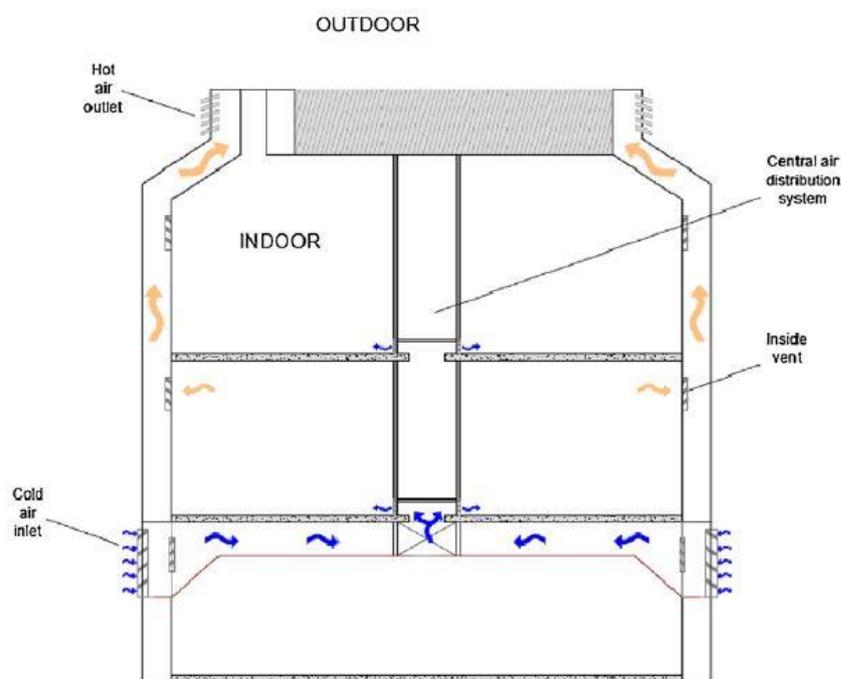


Figura 3.6 - Esquema de ventilação natural (Pacheco *et al.*, 2012)

O sistema possui também umas condutas que permitem a saída do ar quente, que caso exista um sistema de recuperação de calor, pode ser usado para aquecer a casa.

Em casas em que a ventilação natural não é possível, esta deve ser efetuada por sistemas mecânicos, pois a ausência desta facilita a criação de humidades e consequentes bolores e fungos, fortemente prejudiciais para a qualidade do ar interior e para a saúde dos ocupantes. Em casas isoladas, onde a impermeabilidade poderá ser maior, em situações de humidade ambiente elevada, superior a 80%, existe forte possibilidade de condensação na superfície das paredes. Tal reduz fortemente a qualidade do ambiente interior e degrada a própria parede (Sadineni *et al.*, 2011).

3.4 Localização do edifício

A localização do edifício terá, de forma clara, grande influência em todos os aspetos do projeto a tratar. Ao longo do exposto, várias vezes se abordou as diferenças das medidas a adotar para cada região. Com um foco especial no território europeu, as diferenças climáticas entre as regiões do Norte e Sul do continente são, de facto, enormes. Tal tem influência principais necessidades de cada edifício, sendo que os países do Norte têm extremas necessidades de

aquecimento, enquanto que no Sul da Europa imperam as preocupações com o arrefecimento no Verão.

Cabe assim a cada país, como explícito na Diretiva 2010/31/EU, definir os limites de consumo, para considerar os seus novos edifícios, construídos a partir de 2020, “edifícios com necessidades quase nulas de energia”. A norma alemã “*Passivhaus*” já deu um passo nessa direção, aquando da criação de regras diferentes para casas construídas no Sul da Europa.

Noutro âmbito, a localização do edifício num meio urbano pode trazer consigo problemas de excessivo sombreamento, proveniente dos edifícios adjacentes. Isto irá causar problemas com a iluminação natural e com ganhos energéticos. A figura seguinte representa a obstrução provocado por um edifício vizinho:

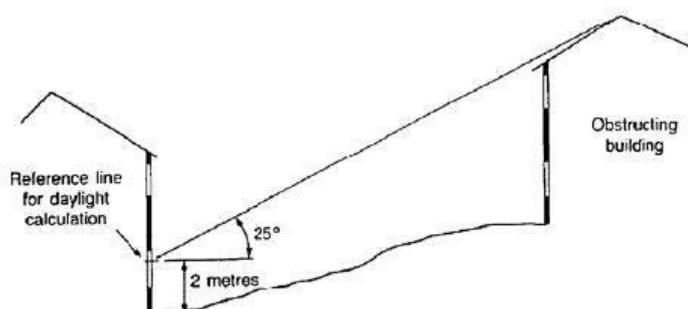


Figura 3.7 - Esquema de obstrução da luz solar (Pacheco *et al.*, 2012)

Devido ao forte impacto negativo que este bloqueio solar pode ter, torna-se necessário perceber qual o ângulo de obstrução máximo de cada região, sendo este aquele que ainda permite ao edifício receber energia solar suficiente (Pacheco *et al.*, 2012). Um estudo foi já realizado, relacionando o ângulo de obstrução com a latitude:

Quadro 3.2 - Ângulo de obstrução máximo em função da latitude (Littlefair, 2001)

Latitude	Clima	Ângulo de Obstrução Máximo
35	Mediterrâneo	40
40	Mediterrâneo Quente	35
45	Temperado	30
50	Temperado	25
55	Moderadamente Frio	22
60	Sub Ártico	20

A próxima figura é ainda mais ilustrativa do prejuízo provocado por elevado ângulo de obstrução:

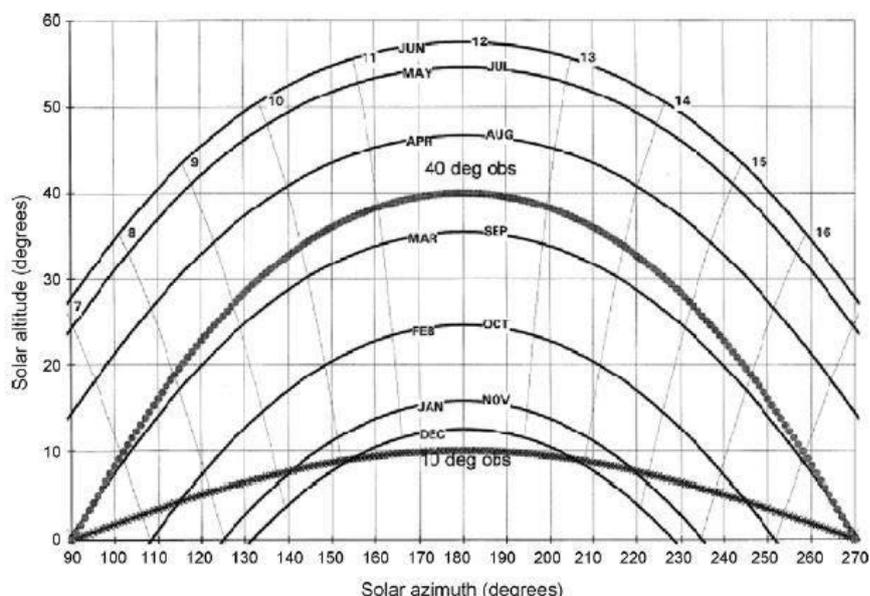


Figura 3.8 - Diagrama Solar para uma latitude de 55° (Pacheco *et al.*, 2012)

Como é possível visualizar, um sombreamento com ângulo de obstrução de 40° impede a incidência do sol na fachada de Setembro a Março, que é extremamente prejudicial, obrigando a gastos superiores, tanto em iluminação como climatização. Devido a isto, alguns autores defendem que o acesso a luz solar por parte de cada edifício de via ser protegido pelos planos municipais (Littlefair, 1998).

3.5 Forma e Compacidade

A superfície total do edifício, constituída por todas as fachadas e pela cobertura, tem enorme influência nas necessidades energéticas, pois é através desta envolvente que se realizam todas as trocas de calor com o exterior.

Como tal, o estudo do fator de forma, isto é, o rácio entre área total exposta e volume do edifício (S/V), tem grande importância. Edifícios com elevado fator de forma são menos compactos e, devido à maior superfície exposta, aumentam as trocas de energia com o exterior.

Nos denominados climas frios isto tem especial importância, pois a perda de calor para o exterior é substancialmente maior que os ganhos derivados da maior área exposta, gerando maiores necessidades energéticas para aquecimento. Assim, torna-se essencial a preocupação com a eficiência energética desde a fase de desenho do projeto de arquitetura (Geletka e

Sedláková, 2012), dado que existe uma proporcionalidade entre o fator de forma e as necessidades energéticas, fazendo deste um bom indicador para estimar os consumos de edifícios. Em países com climas mais quentes e moderados, deixa de existir esta proporcionalidade direta, fazendo com que a compactidade deixe de ser essencial para o desempenho (Depecker *et al.*, 1998).

No seguimento do exposto e no âmbito deste trabalho, o estudo do fator de forma será realizado para as várias regiões climáticas europeias, partindo de um modelo base, uma moradia em Coimbra (região climática Csb), e aproveitando a facilidade de adaptação arquitetónica oferecida pela construção modular para, mantendo o volume, estudar a importância da sua compactidade.

4 CASO DE ESTUDO – IMPORTÂNCIA DO FATOR DE FORMA NOS DIFERENTES CLIMAS EUROPEUS

4.1 Objetivos

Nesta fase inicial do importa descrever todos os procedimentos que permitem efetuar o estudo do fator de forma, para cada uma das principais regiões climáticas europeias. Como já foi referido, o fator de forma é a relação entre a área da envolvente exterior do edifício em estudo e o volume que este ocupa, tal como indicado na expressão (4.1).

$$FF = \frac{\text{Envolvente Exterior}(m^2)}{\text{Volume Interior}(m^3)} \quad (4.1)$$

Através do estudo efetuado será possível avaliar a influência que este parâmetro possui nas condições interiores, nomeadamente na temperatura do ar, para cada um dos climas a estudar. De realçar, que o volume interior será o mesmo para todos os modelos, variando apenas a área de implantação.

Quanto ao processo de análise, primeiramente será feita uma alusão à metodologia usada, onde será exposto o modelo original, retirando toda a informação necessária para recriar devidamente novos modelos, que variem apenas o fator de forma.

Seguidamente, será feita uma abordagem ao *software* utilizado, especificando as principais configurações usadas e as propriedades construtivas da envolvente exterior, partindo de modelos previamente elaborados, nomeadamente para outros estudos de avaliação de técnicas passivas.

O último passo antes de partir para o estudo e exposição dos resultados obtidos, passa por uma breve descrição das diferentes regiões climáticas, sendo estudada uma cidade para cada um dos principais climas europeus.

Para estudar a influência da orientação no desempenho térmico da moradia original, será feito um estudo para a cidade de Coimbra, onde esta se encontra implementada.

4.2 Metodologia

O ponto de partida passou por uma detalhada análise da geometria do modelo que servirá de base a este estudo. Trata-se de uma moradia da *CoolHaven*, cujo conceito inovador assenta na construção modular, que oferece uma enorme flexibilidade no processo de construção,

permitindo aumentar ou reduzir o edifício, ou mesmo mudar o local de implantação. É possível visualizar o modelo na figura 4.1, sendo que se encontra orientado 22° a sudoeste.

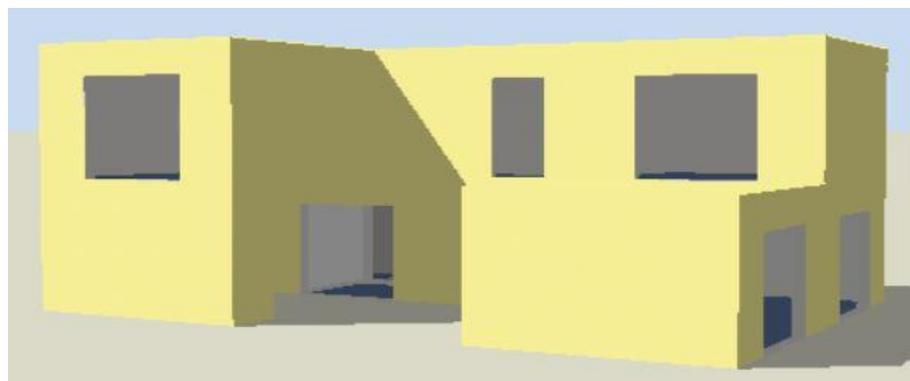


Figura 4.1 - Modelo computacional da moradia original

Trata-se de uma moradia T3 constituída por dois pisos, cujas plantas também se apresentam:

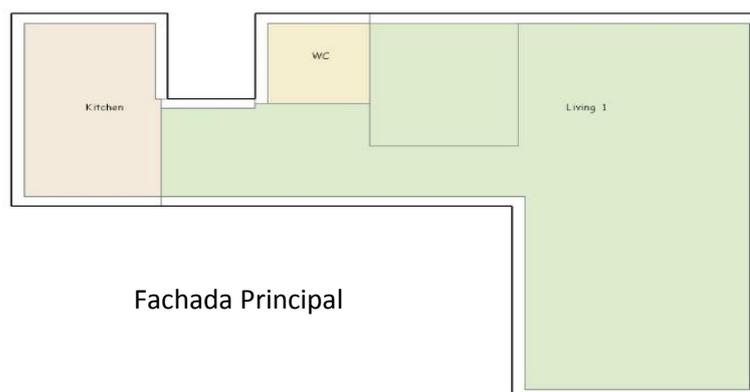


Figura 4.2 – Planta do piso 0 da moradia CoolHaven

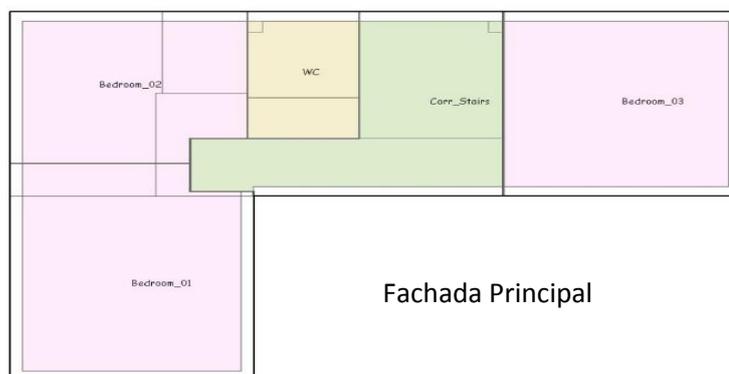


Figura 4.3 Planta do piso 1 da moradia CoolHaven

Importa frisar que esta moradia já se encontra construída em Coimbra, sendo que se ilustra na figura seguinte.



Figura 4.4 - Moradia *CoolHaven* (Coolhaven@, 2015)

O sistema construtivo da *CoolHaven* assenta numa estrutura leve em aço (LSF – Light Steel Framing) e um isolamento térmico com dupla camada de lã de rocha, protegido por placas de madeira orientadas (OSB – Oriented Strand Board). Assim, tem-se uma construção modular 2D, constituída por diversos painéis.

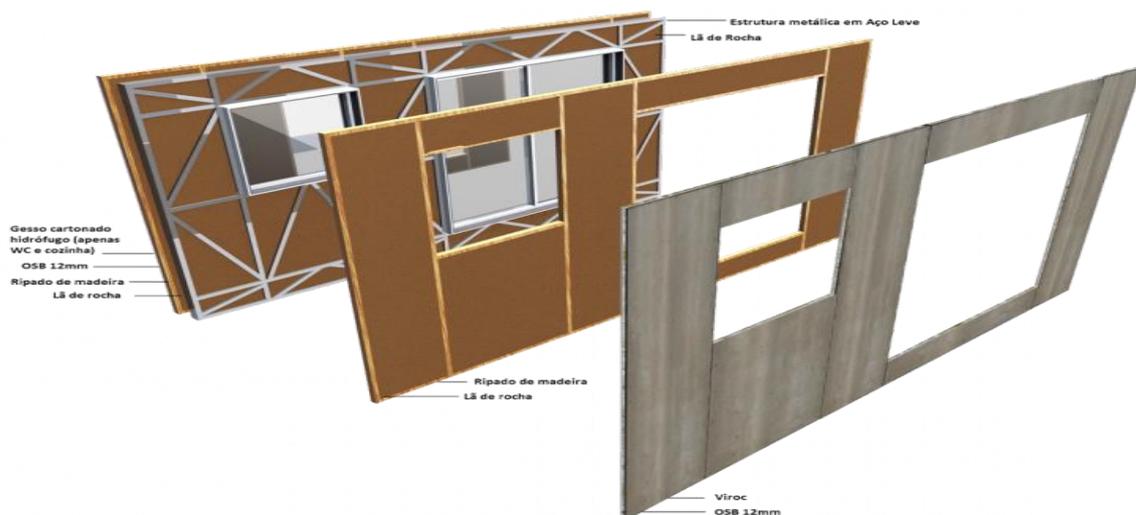


Figura 4.5 - Pormenor construtivo do painel da parede exterior para o clima Csb (Coolhaven@,2015)

O modelo acima corresponde ao modelo a estudar para a cidade de Coimbra, localizada na região climática Csb. Para as restantes cidades a estudar, manter-se-á apenas a arquitetura do modelo da *CoolHaven*, sendo ajustados os materiais e sua disposição de acordo com o expectável para cada clima através de modelos já criados para cada condição, dado que o foco principal deste trabalho passa por determinar a influência do fator de forma em diferentes circunstâncias.

Estando o modelo base apresentado, o passo seguinte assenta em analisar toda a área envolvente do edifício, separando as superfícies opacas das envidraçadas e escalonando a informação em função do tipo (fachada, telhado, fundação, etc) e da orientação. O quadro 4.1 ilustra de forma expressiva todas as medições efetuadas para as fachadas.

Quadro 4.1 – Envolvente exterior - área das fachadas (total, opaca e envidraçada)

Fachada	Área Total (m ²)	Área Opaca		Área Envidraçada	
		m ²	%	m ²	%
Norte	99,1	85,9	86,68%	13,2	13,32%
Este	57,6	46,8	81,25%	10,8	18,75%
Sul	86,4	65,4	75,69%	21,0	24,31%
Oeste	57,6	44,1	76,56%	13,5	23,44%
Total	300,7	242,2	80,54%	58,5	19,46%

Os modelos criados terão as mesmas percentagens de área opaca e envidraçada em cada fachada, mantendo assim a coerência relativamente ao modelo original, algo bastante importante, visto que pelos envidraçados passam habitualmente as maiores trocas de energia do interior com o exterior. Pretendeu-se ainda manter constante o volume interior da moradia, diminuindo apenas a área da envolvente exterior.

A envolvente não é apenas constituída pelas fachadas, faltando portanto quantificar a área de implantação, a cobertura e ainda a zona da garagem, correspondente à laje de um dos quartos do piso 1 e que também faz parte da envolvente exterior.

Quadro 4.2 - Restante envolvente exterior

Envolvente	Área Total (m ²)	Área Opaca		Área Envidraçada	
		m ²	%	m ²	%
Implantação	88,6	88,6	100%	-	-
Telhado Piso 0	23,0	23,0	100%	-	-
Telhado Piso 1	92,2	92,0	99,80%	0,18	0,20%
Garagem	23,0	23,0	100%	-	-

A cobertura plana da moradia possui duas claraboias, quadradas com 30 centímetros de lado, que, apesar de representarem uma percentagem residual desta envolvente específica, foram recriados nos restantes modelos.

As medições efetuadas permitem obter o fator de forma da moradia original e criar novos modelos, reduzindo o fator de forma, mas mantendo a razão entre envidraçados e áreas opacas, para cada fachada da envolvente, bem como a orientação e o volume e área de construção. Estas medidas permitirão a génese de modelos fiéis ao original, permitindo uma comparação direta dos resultados dos diferentes modelos.

Quadro 4.3 - Medições totais e fator de forma do modelo original

Envolvente	Total (m ²)	Área Opaca		Área Envidraçada	
		m ²	%	m ²	%
Coimbra	527,6	468,9	88,9%	58,7	11,1%
Totais					
Área de Construção (m ²)			Volume de Construção (m ³)		
180,8			542,3		
Fator de Forma Modelo Original (m ⁻¹)			0,97		

A partir dos dados presentes nas tabelas apresentadas é possível obter o fator de forma para cada um dos modelos criados, sendo que a sua modelação, de forma a ser o mais aproximada possível à moradia em estudo, teve em consideração a existência de todos os compartimentos, mantendo as respetivas áreas, como se pode ver na figura seguinte.

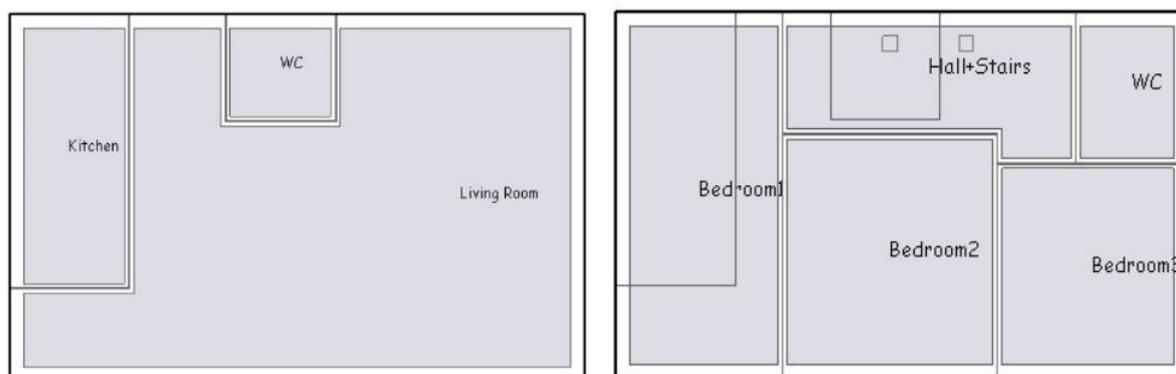


Figura 4.6 – Plantas do piso 0 (esq.) e planta do piso 1 (dir.) do modelo compacto 12x7.5

Existiu também o cuidado de colocar a área envidraçada correta em cada modelo, não só pela fachada, mas também em cada compartimento e por piso. Exemplo disso é a inexistência de portas ou janelas no piso 1 da fachada norte, tal como acontece para o modelo base.

Os fatores de forma de todos os modelos a estudar, incluindo a moradia original, são visíveis no quadro 4.4.

Quadro 4.4 - Fatores de forma dos modelos criados

Modelos	FF (m ⁻¹)
12x7.5	0,77
13x7	0,77
14x6.5	0,79
15x6	0,80
18x5	0,84

Através da adoção de contornos regulares para a arquitetura da casa, com o uso de plantas retangulares, é possível reduzir cerca de 20% o fator de forma, comparativamente ao modelo original. O fator de forma mínimo aconteceria para uma casa com uma implantação quadrada que, no entanto, traria problemas relacionados com a orientação, dada a igual área de exposição solar de cada uma das fachadas. Além disso, a diferença no fator de forma seria mínima, cerca de 0.02 m⁻¹, em relação aos modelos estudados.

A razão da criação de modelos com fatores de forma tão semelhantes está na possível comparação que poderá ser efetuada entre estes, permitindo aferir da qualidade dos resultados, já que se espera que sejam semelhantes, e verificar se apenas pequenas alterações a este coeficiente gera resultados visíveis.

Em anexo apresentam-se quadros com os restantes dados de cada modelo, nomeadamente as áreas da envolvente e os envidraçados a colocar em cada fachada, bem como a composição de todos os elementos construtivos, para cada região climática.

4.2.1 Modelação

Para modelar e configurar cada um dos modelos recorreu-se ao “*Design Builder v4.2*”, um *software* bastante simples que permite interligação com o programa “*EnergyPlus 8.1*”, desenvolvido pelo departamento de energia norte-americano (DOE), para simular o comportamento energético de edifícios.

As potencialidades de ambos os *softwares* vão muito para além do âmbito desta tese, permitindo, por exemplo, calcular sistemas ativos de AVAC, verificando todos os custos associados e o comportamento energético e térmico dos edifícios.

Dentro do âmbito desta tese, focada em soluções passivas, importa a correta modelação da geometria, orientação e dos materiais constituintes da envolvente, ignorando todas as técnicas mecânicas que permitem melhorar o ambiente interior, pois importa precisar o efeito singular das várias medidas passivas.

Para o estudo dos diferentes climas, recorre-se a modelos já ajustados a cada um desses climas, nomeadamente no que concerne aos materiais de construção adotados para todos os componentes da moradia, mantendo assim todos os pormenores construtivos para os diferentes modelos, variando apenas o fator de forma de modelo para modelo.

A configuração da área envolvente, nomeadamente os materiais que constituem as paredes interiores, exteriores e os envidraçados pode ser consultada em anexo, sendo que a principal variação de clima para clima está na adoção de diferentes espessuras para a camada de isolamento das paredes.

Como seria de esperar, para os climas mais frios a espessura da camada de isolamento é maior, chegando a 30 cm de lã de rocha em Tampere (clima Dfc), contrastando com cerca de 12 centímetros de espessura de lã de rocha em Atenas (Csa), sendo que os dados se referem às paredes exteriores.

Para se ter uma ideia mais quantitativa dos efeitos das duas configurações, a diferença do coeficiente de transmissão térmica da envolvente exterior opaca é de cerca de uma décima entre os dois climas referidos, com **0.108 W/(m².K)** para Tampere e **0.210 W/(m².K)** para Atenas.

Na cidade de Coimbra, pertencente à região climática Csb, adota-se por completo o modelo da *CoolHaven*, alterando portanto a configuração da envolvente, que também se poderá consultar em anexo. Tal não interfere com o estudo relativo ao fator de forma, pois todos os modelos calculados possuem a mesma configuração, dentro do clima em que estão a ser estudados.

O “*EnergyPlus*” necessita de um ficheiro climático para efetuar os cálculos, sendo que se utilizará um ficheiro IWEC (*International Weather for Energy Calculations*), presente na base de dados do programa, para cada clima.

4.2.2 Regiões Climáticas

O estudo efetuado pretende analisar o efeito do fator de forma para os diferentes climas europeus, seguindo as recentes diretivas europeias (referidas anteriormente) que apontam num futuro de construção maioritariamente passiva, sendo que algumas delas se encontram já em vigor.

Deste modo, consideram-se as cinco principais regiões climáticas do continente europeu, classificadas através do sistema Köppen-Geiger, sendo que a divisão climática da Europa é visível na figura 4.7.

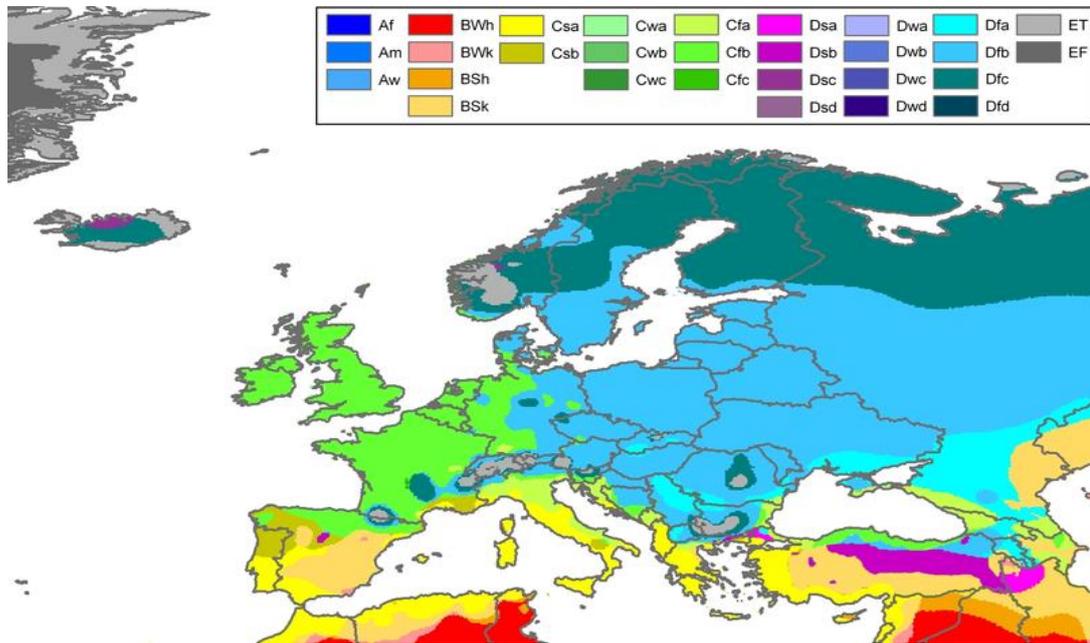


Figura 4.7 - Mapa climático europeu segundo Koppen-Geiger (Wikipedia@,2015)

A classificação é dividida em cinco grupos principais, correspondentes à primeira letra:

- A - Clima Tropical/Equatorial;
- B - Clima Árido;
- C - Clima Temperado ou Temperado Quente;
- D – Clima Continental ou Temperado Frio;
- E - Clima Polar.

Existem ainda duas subclassificações, correspondentes à segunda e terceira letras. Para cada uma das regiões climáticas foi selecionada uma cidade considerada como representativa. Assim, os climas estudados no âmbito deste trabalho, já com a correspondente cidade de referência, são os seguintes:

- Csa - Clima temperado húmido com Verão seco e quente - Atenas;
- Csb - Clima temperado húmido com Verão seco e temperado - Coimbra;
- Cfb - Clima temperado húmido com Verão temperado - Paris;
- Dfb - Clima temperado frio sem estação seca e com Verão temperado - Kiev;
- Dfc - Clima temperado frio sem estação seca e com Verão curto e fresco - Tampere.

De notar que as letras Cs, presentes nas cidades de Atenas e de Coimbra, correspondem a um clima mediterrâneo. A segunda letra da classificação é indicadora do tipo, com “f” reservado para climas húmidos e “s” indicador Inverno chuvoso. A terceira letra da classificação diz

respeito ao Verão, sendo que a corresponde “a” um Verão quente e seco, “b” revela um Verão temperado e “c” aplica-se a zonas com estação de arrefecimento curta e fresca.

Atentando no mapa climático da Europa, é possível concluir que os cinco climas estudados perfazem praticamente a totalidade do território europeu, garantindo assim uma elevada abrangência do estudo para o continente.

4.3 Estudo do Fator de Forma

O estudo foi efetuado para as estações de Inverno e Verão, sendo que os resultados apresentados correspondem a uma análise efetuada para a semana de projeto de cada estação, cujas temperaturas exibem valores mais condicionantes, sendo obtidas através da média de um conjunto de leituras de 30 anos. Os dados encontram-se nos já referidos ficheiros IWEC.

Os detalhes dos modelos compactos previamente descritos, nomeadamente as suas características geométricas, são apresentados em anexo.

A criação destes modelos teve por objetivo diminuir a área da envolvente exterior do edifício, por onde ocorrem perdas de calor indesejadas, mantendo sempre a mesma área interior e o respetivo volume de construção.

Com o objetivo de perceber para que região o fator de forma se revela mais importante, é necessário alterar algumas configurações no programa, variáveis entre os diferentes climas ou de estação para estação, mas nunca entre modelos que levarão a comparação direta. Estas vão desde a quantidade de ar que é renovado por hora, permitindo criar ambientes mais ou menos estanques, até aos dispositivos de sombreamento e os horários em que estes se encontram ativos. Serão apresentadas ao longo da análise de cada região climática.

4.3.1 Clima Csb – Coimbra, Portugal

O clima mediterrâneo Cs ocupa uma área bastante significativa do continente europeu. Na sua vertente Csb, correspondente a um Verão temperado, foram utilizados os dados meteorológicos da cidade de Coimbra. Visto que o modelo original, a moradia CoolHaven, se encontra edificado nesta cidade, além de se utilizar a sua arquitetura, utiliza-se também todo o seu projeto construtivo, divergindo dos restantes climas. As diferenças encontram-se nos materiais e na disposição destes na envolvente, sendo que em anexo se apresentam os pormenores construtivos para os modelos de cada região.

Para todos os climas estudam-se as estações de Inverno e Verão, sendo a análise feita através dos ficheiros IWEC e para as semanas de projeto de cada uma das referidas estações, cujos dados meteorológicos apresentados resultam de uma média de 30 anos de leituras.

No que toca à análise efetuada para a região Csb, e estando perante um clima em que a média da temperatura ambiente durante a semana de projeto de Inverno ronda os 8 °C, admite-se uma permeabilidade de 0.6 renovações por hora, visto não se correr o risco de obter temperaturas demasiado baixas no interior dos modelos.

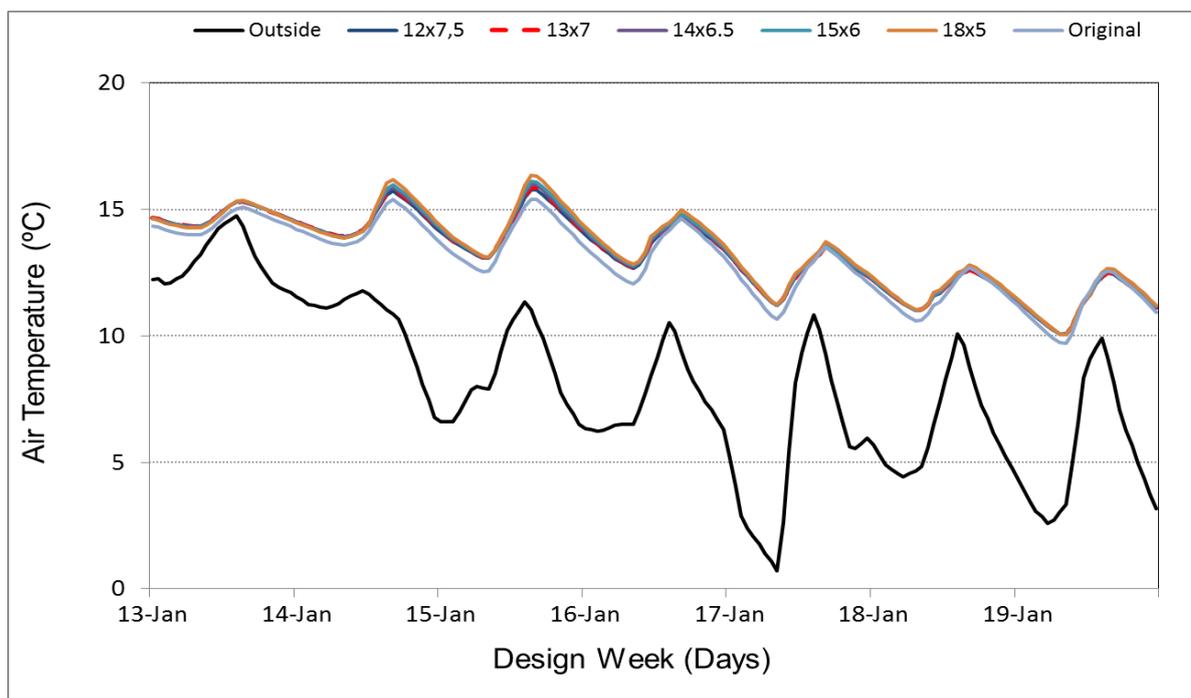


Figura 4.8 - Variação da temperatura interior para a estação de Inverno, com uma taxa de renovação do ar interior de 60% (Clima Csb)

Numa análise gráfica do andamento das curvas de temperatura ao longo da semana de projeto, atentando na figura 4.17, é possível verificar que o modelo original apenas se distancia dos restantes nos picos das baixas temperaturas, que acontecem no período noturno. Analisando a média das temperaturas interiores obtidas para essa semana, a diferença é de apenas 0.42 °C entre o modelo compacto de média mais elevada e a moradia original, que demonstra uma influência pequena do fator de forma para este clima. Para comprovar isto mesmo, analisa-se também a hipotética situação de estanquidade total para o clima Csb.

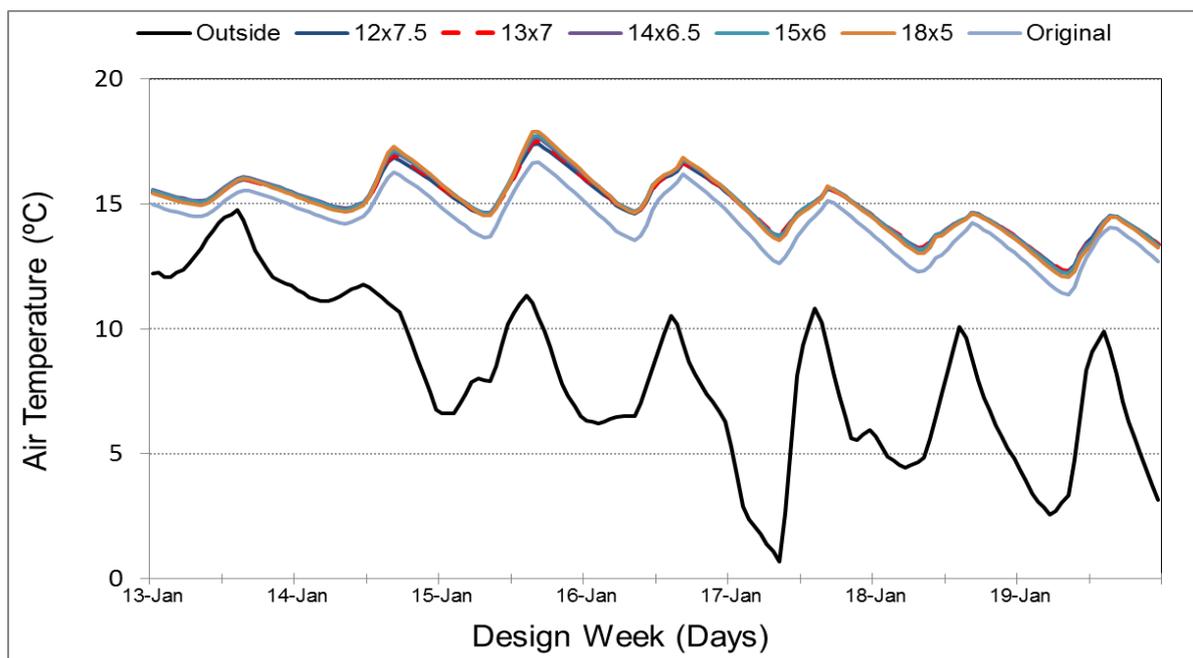


Figura 4.9 - Variação da temperatura interior para a estação de Inverno, sem renovação do ar interior (Clima Csb)

Comparando as duas situações estudadas, verifica-se que não existe um crescimento acentuado da influência da compacidade para níveis de maior estanquidade neste clima, dado que a temperatura média obtida nos modelos compactos, para uma situação em que não se admitem renovações horárias do ar interior, é apenas 0.75°C superior à temperatura média na moradia original.

Quadro 4.5 - Temperaturas médias no interior dos modelos para as diferentes situações da estação de Inverno (Clima Csb)

Situação	Temperatura Média (°C)						
	Exterior	Modelo					
		12x7.5	13x7	14x6.5	15x6	18x5	Original
SP - 0 r/h	8,14	14,98	15,00	15,04	15,03	14,98	14,29
SP - 0.6 r/h	8,14	13,28	13,31	13,32	13,35	13,41	12,99

No quadro 4.5 “SP” representa a sigla para a semana de projeto, sendo “r/h” a unidade para as renovações horárias do ar interior (renovações/hora). Analisando os valores podem ser retiradas as variações máximas da temperatura interior entre os modelos compactos e o original, para cada umas das situações.

Quadro 4.6 - Variação máxima da temperatura interior entre os modelos compactos e o modelo original (Clima Csb)

Situação	$\Delta T_{\text{máx}}$ (°C)
SP - 0 r/h	0,75
SP - 0.6 r/h	0,42

Continuando ainda na região climática Csb, usufruindo também do mesmo ficheiro IWEC, com os dados climáticos da cidade de Coimbra, é importante estudar a estação de Verão, verificando se existe influência da adoção de diferentes fatores de forma para esta estação.

Algumas alterações ao modelo revelam-se necessárias, para adaptar o mesmo às condições de uma diferente estação. Começando pela renovação do ar interior, dadas as maiores temperaturas da estação de Verão, admite-se que a cada hora 60% do ar interior é renovado. Para os dispositivos de sombreamento, opacos e colocados do lado exterior dos envidraçados, considera-se que estão completamente corridos se a radiação solar for superior a **100 W/m²**, valor escolhido consoante o clima, para não provocar um sobreaquecimento elevado no interior dos modelos, já que a temperatura interior de conforto máxima para a estação de arrefecimento é de 25 °C.

Para esta estação verifica-se uma sobreposição nas curvas de temperatura para todos os modelos, ao longo da semana de projeto.

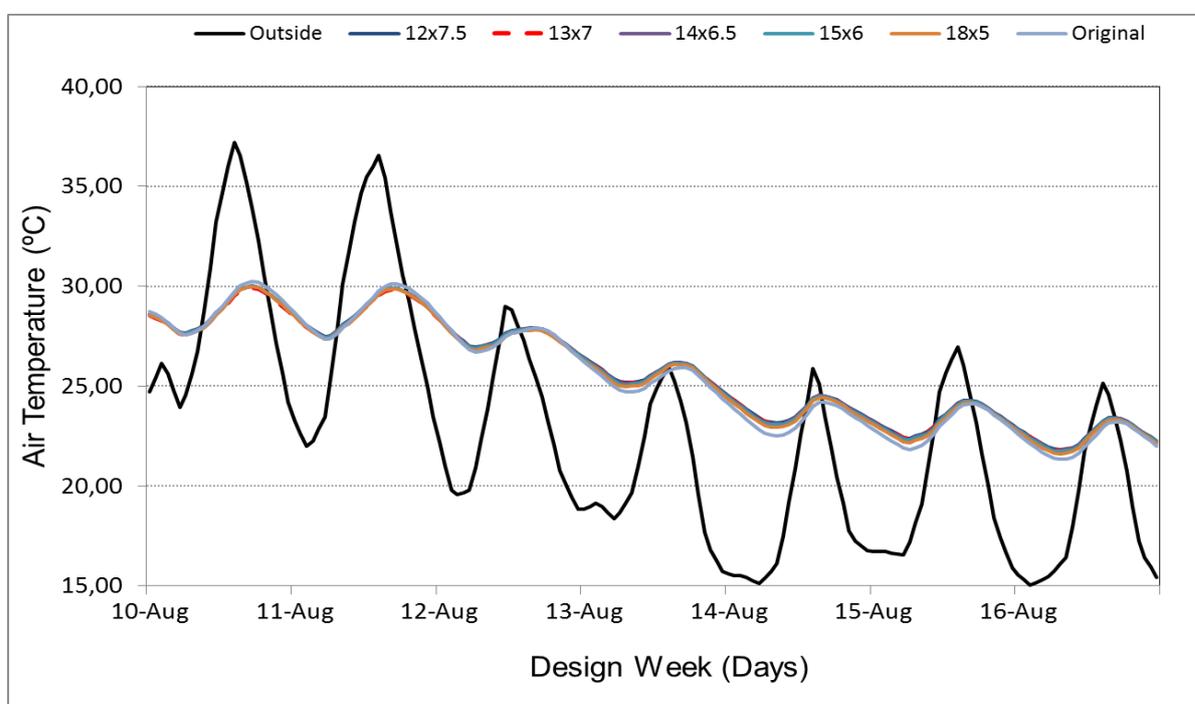


Figura 4.10 - Variação da temperatura interior para a estação de Verão, com 60% de taxa horária de renovação do ar interior (Clima Csb)

Quanto às temperaturas médias semanais no interior de cada modelo, como consequência do andamento das curvas de temperatura, são também bastante similares.

Quadro 4.7 - Temperaturas médias no interior dos modelos para a semana de projeto da estação de Verão (Clima Csb)

Temperatura Média (°C)						
Exterior	Modelo					
	12x7.5	13x7	14x6.5	15x6	18x5	Original
22,76	25,77	25,72	25,74	25,70	25,63	25,55

É possível verificar que o modelo original é aquele que apresenta a temperatura média mais baixa, sendo as diferenças residuais para os restantes modelos.

Pode-se concluir que, para o clima em questão e perante os resultados obtidos, a opção por edifícios mais compactos não traz benefícios que possam ser encarados como fundamentais, residindo nas temperaturas amenas de Coimbra a razão para o exposto.

4.3.1.1 Importância da orientação para a moradia CoolHaven, Coimbra

Neste subcapítulo será efetuado um estudo acerca da importância da orientação, uma medida passiva eficaz e implementada logo desde a fase inicial, aquando do projeto de arquitetura. A análise será efetuada para a moradia original da CoolHaven, que também serviu de base ao estudo da compactidade, edificada na cidade de Coimbra.

A fachada principal é aquela que apresenta a maior área de envidraçados, sendo também aquela que serve de envolvente exterior a dois dos quartos e à sala de estar, zonas consideradas mais relevantes devido à sua maior taxa de ocupação. Pode ser vista nas figuras 4.1 a 4.4 da presente dissertação.

A orientação adotada para o modelo, já implantado no terreno, foi de 23° a sudoeste, passando o objetivo por comparar esta orientação com o estudo agora efetuado para os quatro principais pontos cardeais. Os resultados obtidos são ilustrados de forma semelhante ao capítulo anterior, através de gráficos com a oscilação das temperaturas ao longo da semana de projeto.

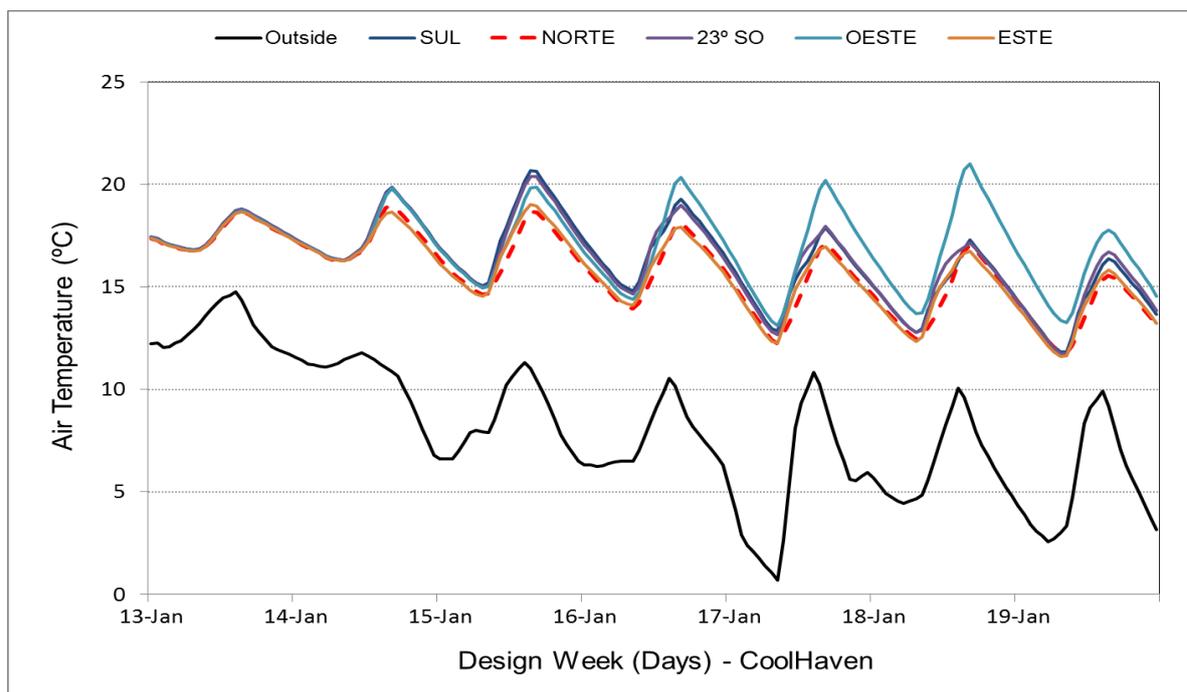


Figura 4.11 - Variação da temperatura interior na estação de Inverno para as diferentes orientações (Moradia Completa)

Os resultados apontam que uma orientação a oeste da fachada principal traz consigo um aumento ligeiro da temperatura no interior da moradia, isto em termos globais. O aumento é, em termos médios, de 0.6°C relativamente a sul e a sudoeste (23°SO) e de 1.2°C comparativamente a norte e este.

Apesar dos resultados apontarem para uma melhoria em termos da temperatura no interior recorrente das orientações a oeste e sul, no contexto da moradia no seu todo, é importante estabelecer também uma comparação em termos de compartimentos, com os quartos a 1 e 3 a serem os escolhidos. A justificação desta escolha reside no facto de ambos os quartos possuírem a sua janela na fachada principal o que, aliado à questão se terem uma elevada taxa de ocupação, faz destes compartimentos barómetros bastantes fiáveis para o estudo da orientação.

Para o quarto número 1, aquele que apresenta maior área, a orientação para o qual este apresenta uma temperatura média superior é a sul, com a orientação adotada na realidade a produzir resultados praticamente idênticos.

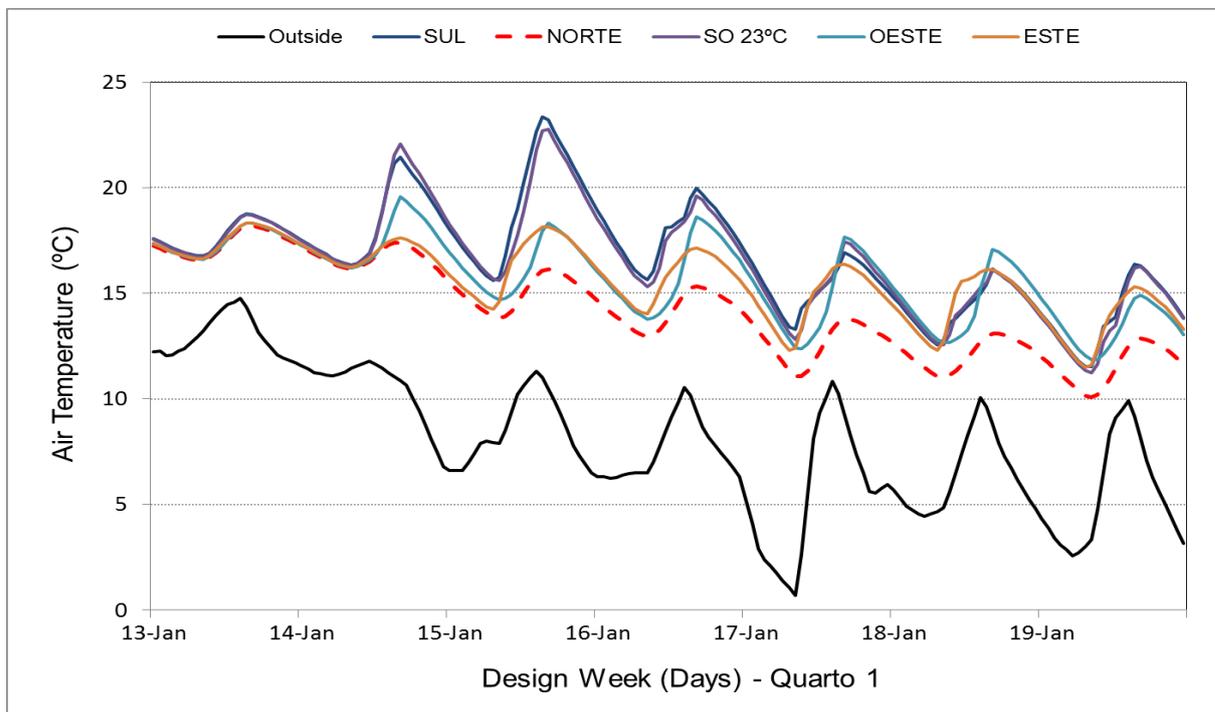


Figura 4.12 - Variação da temperatura interior na estação de Inverno para as diferentes orientações (Quarto 1)

Para esta situação a diferença máxima é de 2.45°C, com os piores resultados a serem verificados a norte e bem visíveis na figura 5.2. Para o quarto 3 os resultados foram semelhantes, o que só ilustra a importância de orientar adequadamente os compartimentos que terão maior taxa de ocupação, sendo que a área de envidraçados em cada fachada deve ser também estudada com detalhe, garantindo que a norte esta seja mais reduzida.

Quadro 4.8 – Temperaturas médias e variações máximas para as diferentes orientações e compartimentos, na estação de Inverno (Clima Csb)

Compartimento	Temperatura Média (°C)						$\Delta T_{\text{máx}}$ (°C)
	Exterior	Orientação					
		Sul	Norte	23° SO	Oeste	Este	
Morada_CH	8,14	16,37	15,76	16,37	16,95	15,80	1,19
Quarto 1		16,70	14,25	16,58	15,74	15,63	2,45
Quarto 3		17,47	15,30	17,66	17,42	15,79	2,37

Note-se também que o quarto 3 apresenta uma temperatura superior ao quarto 1. Tal sucede devido às perdas de calor superiores verificadas para o quarto 1, provocadas pela maior área da sua envolvente exterior, dada a proximidade com a zona da garagem.

Para a estação de Verão as diferenças verificadas não são significativas, sendo que para o estudo se admitiu que os dispositivos de sombreamento colocados pelo exterior eram de textura opaca mediana, cobrindo 75% da área dos envidraçados na altura de maior calor.

Quadro 4.9 – Temperaturas médias e variações máximas para as diferentes orientações e compartimentos, na estação de Verão (Clima Csb)

Compartimento	Temperatura Média (°C)					$\Delta T_{\text{máx}}$ (°C)	
	Exterior	Orientação					
		Sul	Norte	23° SO	Oeste		Este
Moradia_CH	22,76	25,19	25,09	25,18	25,10	25,14	0,10
Quarto 1		25,10	24,75	25,09	24,90	24,93	0,36
Quarto 3		25,05	24,68	25,09	25,09	24,90	0,41

Como se pode ver as diferenças não são muito significativas e as temperaturas verificadas são próximas do limite desejável para o interior das habitações na estação de arrefecimento, cerca de 25°C.

É possível concluir que a orientação adotada para a implementação da moradia *CoolHaven* é de facto a melhor opção, sendo que uma orientação a sul seria igualmente benéfica. Por outro lado, uma orientação a norte ou este, nos meses de Inverno, traria uma indesejável baixa de temperaturas no interior, principalmente nos quartos, apresentando uma redução superior a 2°C na sua temperatura.

4.3.2 Clima Csa – Atenas, Grécia

Trata-se também de um clima mediterrâneo, estando na existência de um Verão quente, segundo a classificação climática de Koppen-Geiger, a grande diferença. Este clima pode também ser encontrado no sul do território nacional.

Os modelos analisados para esta região são semelhantes aos das regiões Dfc, Dfb e Cfb, sendo que a principal diferença reside na espessura da camada de isolamento interior, em lã de rocha, que apresenta a espessura mais reduzida considerando as regiões referidas. Para se ter uma ideia, para a área opaca das fachadas, tem-se uma camada de 12 centímetros de isolamento em lã de rocha, o que se reflete num coeficiente de transmissão térmica de **0.210 W/(m².K)**.

As considerações da análise, para a estação de Inverno, seguiram o delineado para o clima Csb, sendo o estudo efetuado para as mesmas situações (SP – 0 r/h e SP – 0.6 r/h).

Dadas as diferenças construtivas relativamente aos modelos adotados para Coimbra, torna-se difícil a comparação direta com os resultados obtidos anteriormente para o clima Csb. Para contornar este obstáculo, calcula-se o modelo admitido para o clima Csa com o ficheiro IWEC

pertencente à cidade de Coimbra, para uma situação sem infiltrações de ar, de modo a garantir um comportamento térmico mais dependente da envolvente.

Antes de prosseguir para a comparação dos climas referidos, procede-se a uma análise para aquele que se considera como situação corrente para a cidade de Atenas.

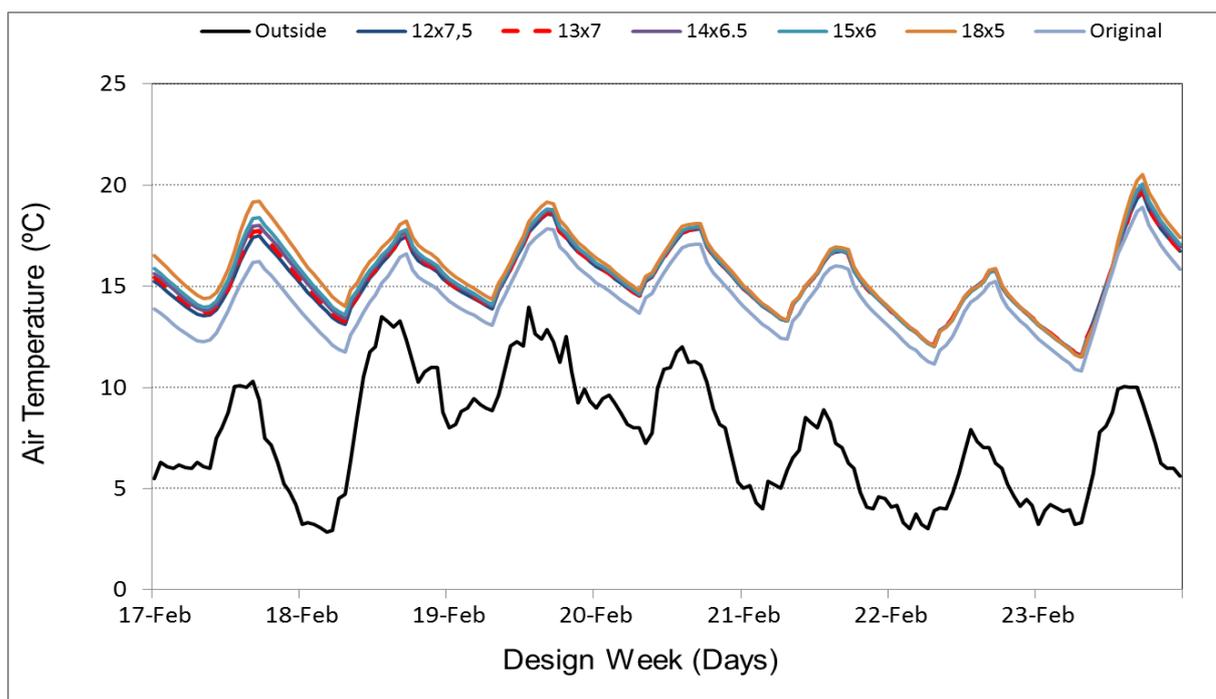


Figura 4.13 - Variação da temperatura interior para a estação de Inverno, com uma taxa de renovação do ar interior de 60% (Clima Csa)

Se for considerada a diferença da arquitetura da moradia *CoolHaven* em estudo para o modelo mais compacto (12x7.5), tem-se ganhos de 0.88 °C na temperatura média da semana de projeto para o modelo compacto. Contudo, os modelos compactos mais alongados, neste caso 18x5 e 15x6, beneficiam mais da orientação, dado que a área total da fachada principal orientada a sudoeste (23°) é maior, levando a uma subida ligeira da média da temperatura do meio interior e a que sejam aqueles com melhor comportamento térmico. Esta influência da orientação verifica-se devido à forte radiação solar verificada em Atenas.

Para a situação em que não se consideram renovações horárias do ar interior, as diferenças acentuam-se entre os modelos compactos e o original, para o clima Csa. Estes ganhos de temperatura derivados da preferência por modelos compactos podem ser justificados pelas condições extremas do clima de Atenas, que contrastam com a amenidade do clima de Coimbra.

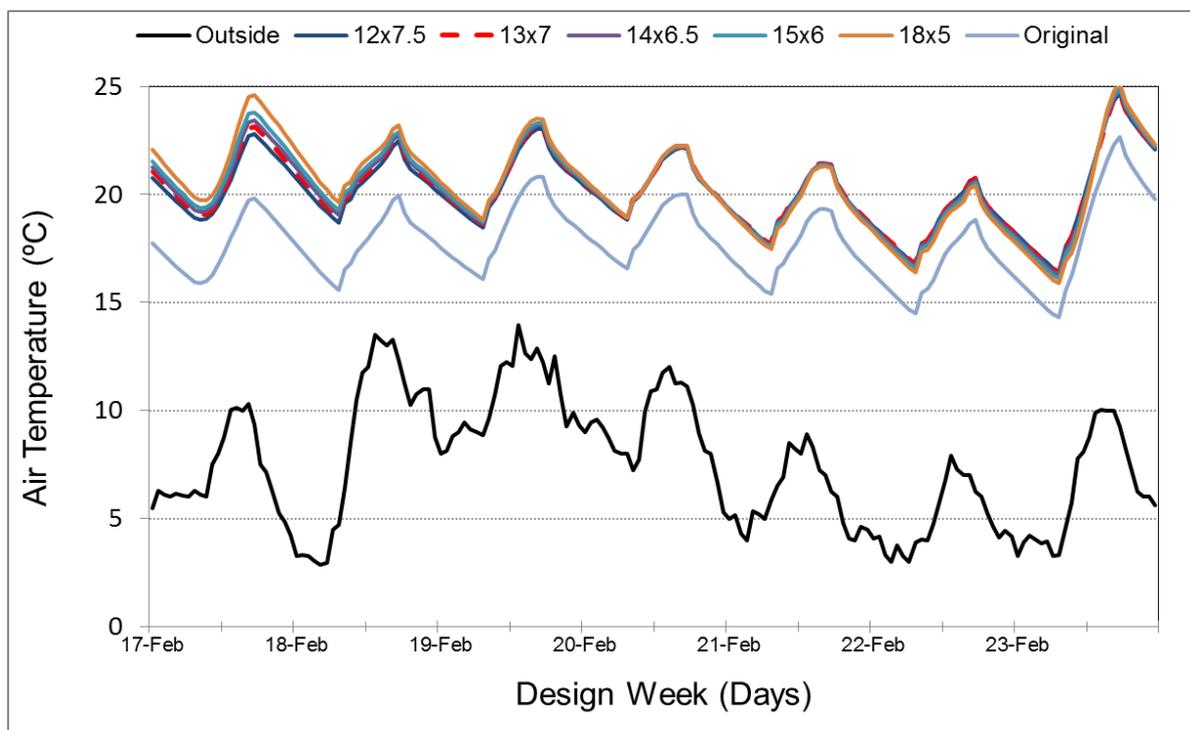


Figura 4.14 - Variação da temperatura interior para a estação de Inverno, sem renovação do ar interior (Clima Csa)

Em termos de temperatura média no interior dos modelos, verifica-se uma diferença máxima de 2.63°C em prol dos modelos compactos, para a situação sem infiltrações. Como já foi referido, o mesmo modelo construtivo foi testado para o clima Csb, sendo que a variação máxima obtida é de apenas 0.94°C para a situação completamente isolada do exterior, novamente em benefício dos modelos compactos.

A comparação entre os dois climas, em igualdade de circunstância, permite concluir que a compactidade, como medida passiva para a melhoria do comportamento térmico de edifícios, é mais eficiente no clima Csa.

Para o clima em estudo, as médias semanais rondam os 15°C para a situação considerada como corrente (0.6 r/h), o que significa a existência de um fosso considerável para a temperatura de conforto da estação de aquecimento, de 20°C.

Quadro 4.10 - Temperaturas médias no interior dos modelos para as diferentes situações da estação de Inverno (Clima Csa)

Situação	Temperatura Média (°C)						
	Exterior	Modelo					
		12x7.5	13x7	14x6.5	15x6	18x5	Original
SP - 0 r/h	7,54	20,11	20,20	20,24	20,27	20,38	17,75
SP - 0.6 r/h	7,54	15,27	15,33	15,40	15,48	15,73	14,39

Como é possível verificar, os modelos compactos mais alongados continuam a tirar partido da sua orientação, embora com as diferenças minimizadas em relação aos modelos compactos de menor fator de forma, apresentando temperaturas superiores também para a situação de 0 r/h.

Quadro 4.11 - Variação máxima da temperatura interior entre os modelos compactos e o modelo original (Clima Csa)

Situação	$\Delta T_{\text{máx}}$ (°C)
SP - 0 r/h	2,63
SP - 0.6 r/h	1,35

Com ganhos de 1.35 °C, para a situação corrente, na média de temperatura interior dos modelos mais compactos, pode-se considerar que a opção por fatores de forma mais reduzidos constituem uma boa medida passiva para edifícios na região climática Csa.

Por fim, para a estação de Verão verifica-se a mesma situação que para o clima anterior, sendo a média das temperaturas interiores bastante semelhante para todos os modelos, não tendo qualquer influência as diferenças arquitetónicas e não se podendo considerar a redução do fator de forma uma medida passiva eficiente.

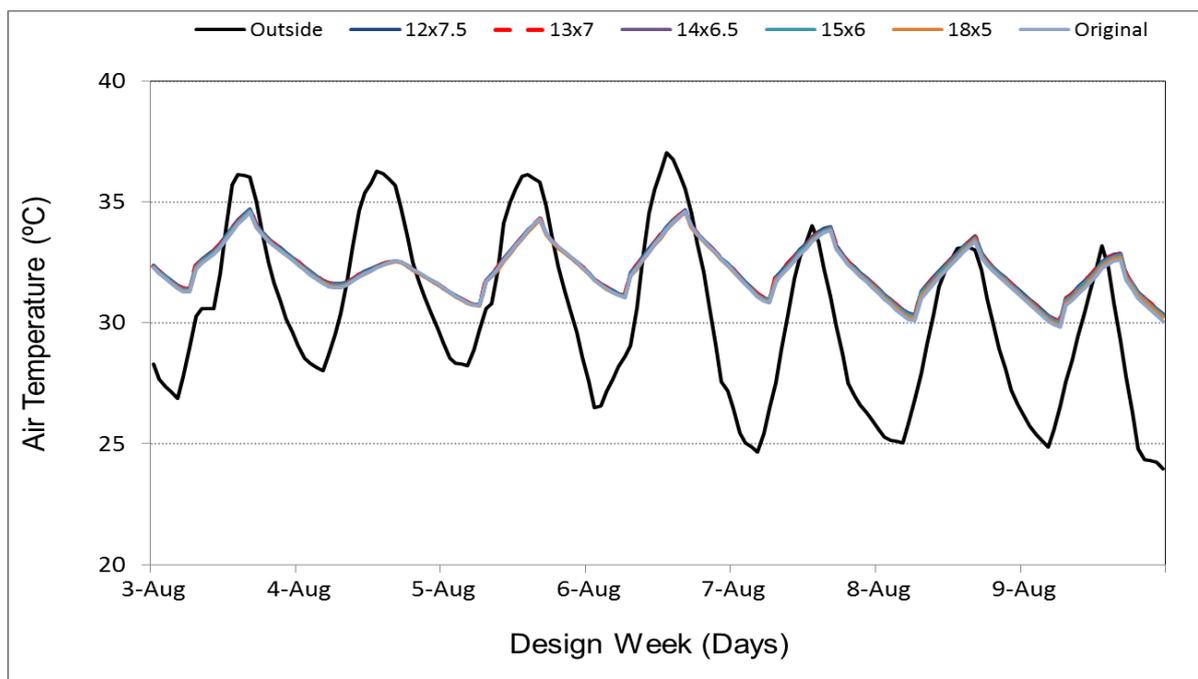


Figura 4.15 - Variação da temperatura interior para a estação de Verão, com 60% de taxa horária de renovação do ar interior (Clima Csa)

Importa destacar que, devido às elevadas temperaturas verificadas em Atenas na estação de arrefecimento, se considera que os dispositivos de sombreamento estão constantemente ativos, minimizando os ganhos energéticos e possibilitando temperaturas interiores mais confortáveis.

Mesmo assim, tem-se temperaturas elevadas, bastante superiores à temperatura de conforto de 25°C para a estação de arrefecimento, pelo será de prever o recurso a sistema de ventilação mecânica.

4.3.3 Clima Cfb – Paris, França

Para analisar esta região climática procedeu-se de forma análoga aos restantes climas, sendo que devido à existência de um Inverno mais rigoroso, com temperaturas mais baixas se admitem níveis inferiores de infiltração do ar, com cerca de 30% de renovação horária para a situação de base. Contudo, seguindo a linha dos climas já analisados, também se procede ao cálculo com diferentes níveis de permeabilidade.

Em termos gerais, no que concerne ao conjunto de medidas passivas adotadas e comparativamente ao clima Csa, que adota uma composição semelhante do modelo construtivo, ocorre um aumento da espessura da camada de lã de rocha, colocada envolvente exterior, reduzindo o coeficiente de transmissão térmica da envolvente exterior opaca das fachadas, por exemplo, para **0.190 W/(m².K)**.

Quanto aos resultados obtidos, estes revelam uma importância do fator de forma semelhante ao obtido para o clima Csa, comparando apenas as situações de similar permeabilidade. Primeiramente, apresenta-se a situação admitida como corrente para este clima.

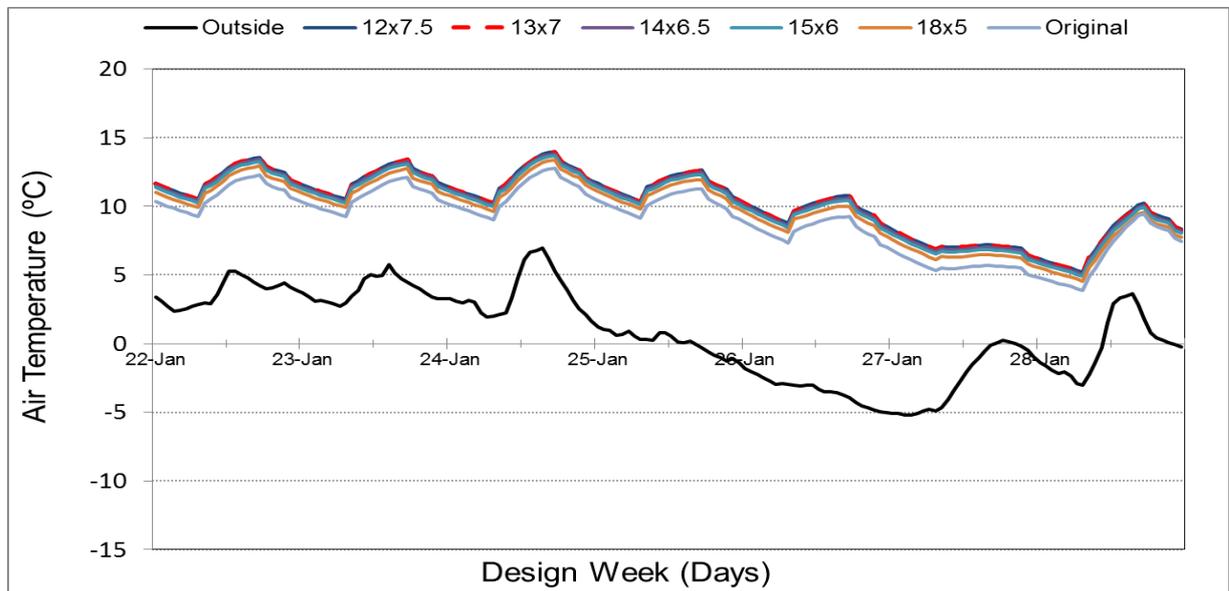


Figura 4.16 - Variação da temperatura interior para a estação de Inverno, com uma taxa horária de renovação do ar interior de 30% (Clima Cfb)

Admitindo uma situação corrente em que apenas 30% do ar é renovado a cada hora, visto que as temperaturas exteriores são inferiores, quando comparadas com as temperaturas dos climas mediterrâneos, tem-se ganhos médios na ordem dos 1.3°C.

Novamente é possível um paralelismo com os climas anteriores, sendo que se pode verificar que a efetividade do fator de forma como medida passiva depende não só do clima, mas também do restante conjunto de medidas passivas, nomeadamente na composição da envolvente exterior. Tal pode ser comprovado analisando a situação sem renovação horária do ar interior.

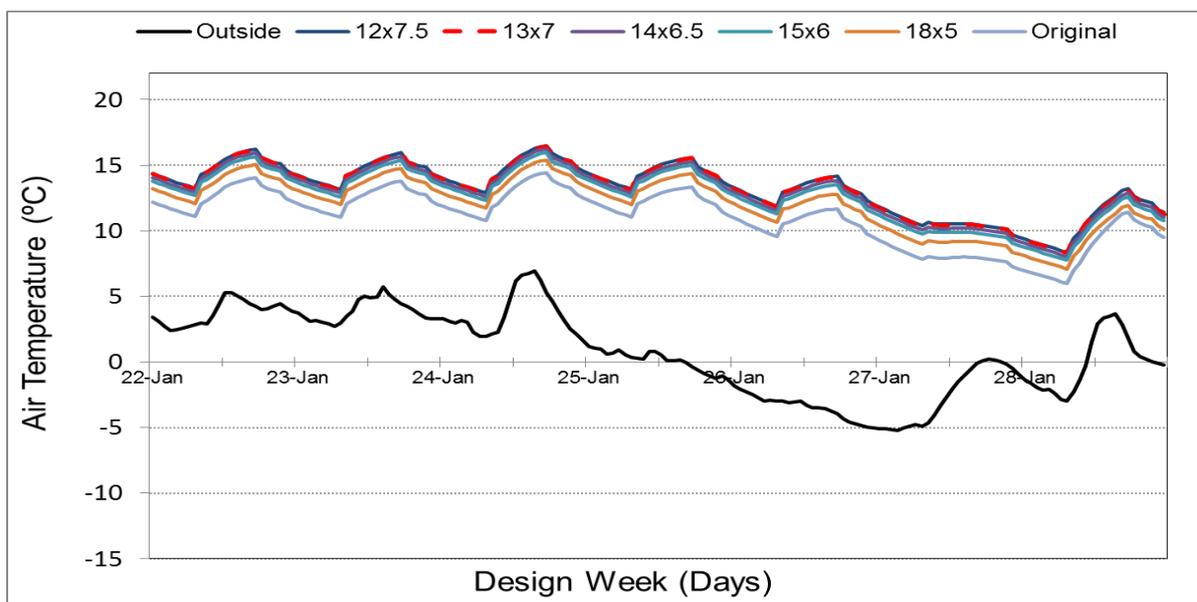


Figura 4.17 - Variação da temperatura interior para a estação de Inverno, sem renovação do ar interior (Clima Cfb)

Considerando a situação de estanquidade máxima e aumentando a importância da envolvente, é possível notar que para o clima Cfb os resultados se aproximam uma vez mais dos obtidos para o clima Csa, em Atenas, com ganhos de 2.24°C nos modelos compactos em Paris.

Outro dado que importa ressaltar dos gráficos das figuras 4.16 e 4.17 é a diminuição de temperatura que ocorre para todos os modelos, proporcional ao aumento do fator de forma, sendo a diferença entre os modelos compactos mais pequena, comparativamente ao destaque da moradia original.

Quadro 4.12 - Temperaturas médias no interior dos modelos para as diferentes situações da estação de Inverno (Clima Cfb)

Situação	Temperatura Média (°C)						
	Exterior	Modelo					
		12x7.5	13x7	14x6.5	15x6	18x5	Original
SP - 0 r/h	0,79	13,28	13,22	12,97	12,68	12,04	11,04
SP - 0.3 r/h	0,79	10,36	10,33	10,19	10,04	9,69	9,04
SP - 0.6 r/h	0,79	8,66	8,64	8,56	8,46	8,25	7,78

De acordo com o quadro 4.12 é possível obter as variações máximas entre os modelos compactos e o original, para cada situação.

Quadro 4.13 - Variação máxima da temperatura interior entre os modelos compactos e o modelo original (Clima Cfb)

Situação	$\Delta T_{\text{máx}}$ (°C)
SP - 0 r/h	2,24
SP - 0.3 r/h	1,32
SP - 0.6 r/h	0,88

A situação de Verão revela novamente que a compactidade do edifício não tem papel fundamental nas temperaturas verificadas, com a diferença a ser mínima entre os vários modelos.

Quadro 4.14 – Temperaturas médias no interior dos modelos para a semana de projeto da estação de Verão (Clima Cfb)

Temperatura Média (°C)						
Exterior	Modelo					
	12x7.5	13x7	14x6.5	15x6	18x5	Original
20,99	27,65	27,63	27,58	27,53	27,43	27,37

Os valores foram obtidos considerando que os dispositivos de sombreamento, colocados pelo exterior na zona dos envidraçados, se encontravam funcionais sempre que a radiação solar excedia os 100 W/m², como efetuado para o clima Csb. Assumiu-se também uma taxa de permeabilidade de 0.6 r/h.

4.3.4 Clima Dfc – Tampere, Finlândia

Procedeu-se a uma análise para determinar a temperatura do ar no interior dos diferentes modelos. Escolheu-se a cidade de Tampere, na Finlândia, como representativa do clima Dfc, um dos principais dentro da realidade europeia. O estudo focou-se nas estações de Inverno e Verão, sendo que para cada uma delas se analisou a semana de *design*.

Para a semana de projeto de Inverno, a variação das temperaturas interiores é dada pelo gráfico da figura 4.8, com temperaturas do ambiente exterior extremamente reduzidas, chegando mesmo a ser inferiores a -25°C.

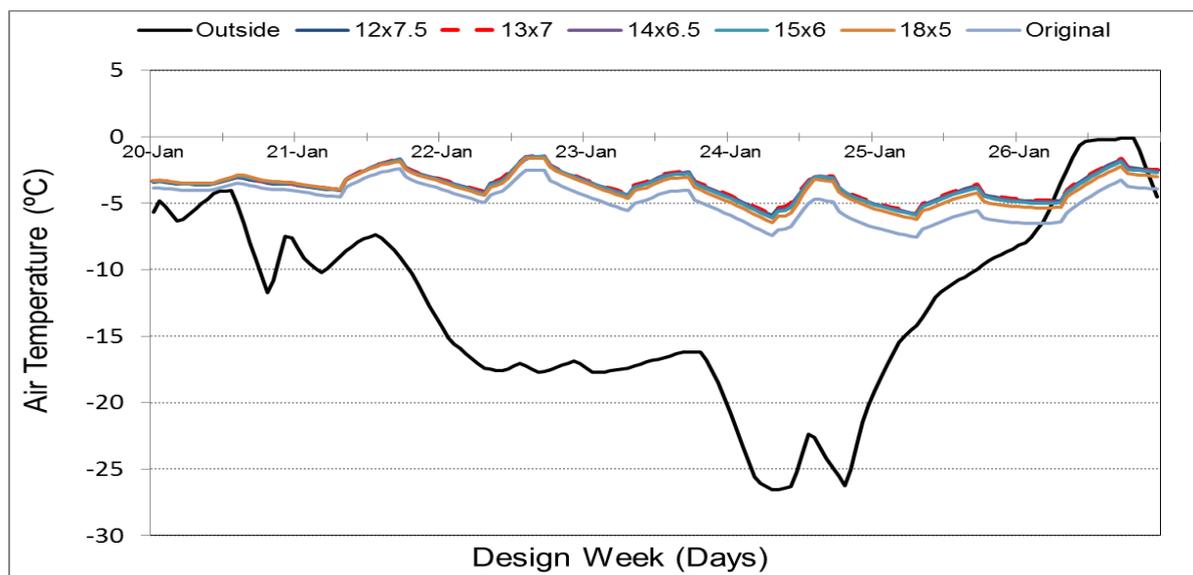


Figura 4.18 - Variação das temperaturas interiores na semana de projeto de Inverno, para uma taxa horária de renovação do ar interior de 10% (Clima Dfc)

Como é possível verificar no gráfico apresentado, a temperatura interior para o modelo denominado como original, com um fator de forma de 0.97 m^{-1} , é inferior aos modelos restantes ao longo de toda a semana de projeto.

A legenda, presente na parte superior do gráfico, está organizada por ordem crescente do fator de forma, sendo que os primeiros quatro modelos possuem fatores de forma muito semelhantes o que, aliado aos resultados obtidos, permite validar os modelos, já que as temperaturas interiores destes modelos são praticamente idênticas. O quinto modelo, com dimensões em planta de 18x5 metros (a amarelo), apresenta um fator de forma de 0.84 m^{-1} , apenas 0.07 m^{-1} superior ao menor em estudo, sendo que existe apenas um ligeiro destaque em relação aos primeiros modelos.

É também importante frisar que se verificam temperaturas negativas no interior de cada um dos modelos, isto apesar da significativa melhoria possibilitada pela adoção de um conjunto de medidas passivas. Tal facto enfatiza a necessidade de recorrer a sistemas ativos para criar ambientes interiores confortáveis neste clima continental, sendo essa “necessidade” ligeiramente reduzida com a adoção de edifícios compactos.

O estudo foi realizado para duas diferentes situações. Portanto, além da situação já exposta com 0.1 r/h, estuda-se a hipótese que remete para um ambiente interior completamente isolado, sem renovações horárias (r/h) do ar interior. De facto, aumentando a estanquidade e admitindo que o ar no interior não era renovado, os resultados são diferentes, subindo ligeiramente a temperatura no interior, aumentando a importância do fator de forma, em conformidade com aquilo que se considera expectável.

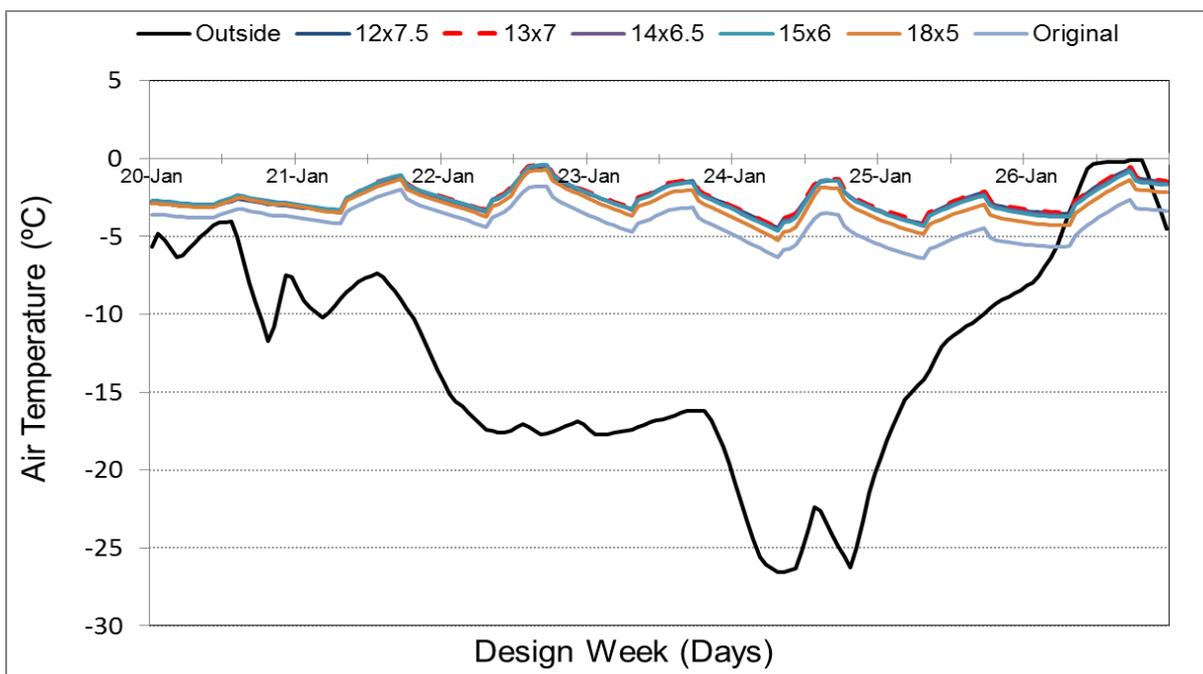


Figura 4.19 - Variação da temperatura interior para a estação de Inverno, sem renovação do ar interior (Clima Dfc)

Passando para uma análise mais quantitativa, é possível apresentar a temperatura interior média para cada modelo e situação, juntamente com média da temperatura exterior:

Quadro 4.15 – Temperatura média para a semana de projeto de Inverno (Clima Dfc)

Situação	Temperatura Média (°C)						
	Exterior	Modelo					
		12x7.5	13x7	14x6.5	15x6	18x5	Original
SP - 0 r/h	-12,80	-2,58	-2,50	-2,61	-2,60	-3,00	-4,08
SP - 0.1 r/h	-12,80	-3,66	-3,58	-3,65	-3,71	-3,90	-4,82

As diferenças para o modelo original traduzem-se numa subida máxima de 1.58 °C na média semanal da temperatura interior nos modelos compactos. Para as regiões com temperaturas muito baixas, como é o caso, é importante manter o ambiente interior isolado do exterior, pois caso ocorra uma excessiva infiltração do ar frio do exterior para o interior, as temperaturas nos compartimentos das habitações diminuem drasticamente. Contudo, uma estanquidade excessiva leva a uma deterioração do ar interior, que deve também ser tida em conta, levando a que nestas regiões os gastos com ventilação mecânica sejam bastante elevados.

Quando se comparam os resultados do clima da cidade de Tampere (Dfc) com os obtidos para Paris (Cfb), conclui-se que a importância do fator de forma é ligeiramente superior para a região Cfb, dado que, admitindo um ambiente interior perfeitamente estanque, há uma variação máxima de 2.24 °C da temperatura interior, comparando os modelos compactos ao original.

Para o clima Dfc, nas mesmas condições de estanquidade, o aumento máximo da temperatura foi de **1.58 °C** nos modelos de maior compacidade.

A diferença pode ser explicada pelas temperaturas negativas extremas verificadas em Tampere, o que intensifica as perdas de calor para o exterior. Este facto minimiza o efeito do conjunto das medidas passivas, já que, para a região Dfc, a temperatura no meio interior é, na média de todos os modelos calculados, 8.91 °C superior à temperatura ambiente, considerando uma situação sem renovação do ar interior. Em Paris (clima Cfb) este valor cresce para 11.75°C.

Para terminar a estação de Inverno, no âmbito do clima Dfc, pode-se concluir que, apesar da menor influência revelada comparativamente aos climas anteriores, a opção por modelos mais compactos, diminuindo o fator de forma, possibilita a subida da temperatura média interior, sendo que essa subida tem mais impacto para níveis de estanquidade mais elevados, como expectável.

Quadro 4.16 - Variação máxima da temperatura entre os modelos compactos e o original (Clima Dfc)

Situação	$\Delta T_{\text{máx}}$ (°C)
SP - 0 r/h	1,58
SP - 0.1 r/h	1,24

Como as temperaturas exteriores apresentam valores tão reduzidos, não se analisou a situação em que 60% do ar interior era renovado a cada hora, dado que, como exposto anteriormente, as temperaturas no interior iriam diminuir drasticamente.

Para a situação de Verão, considerou-se uma análise similar à efetuada para o clima Cfb e Csb, no que toca a dispositivos de sombreamento e ventilação.

Procedendo com o cálculo, os resultados obtidos revelam uma uniformidade na variação das temperaturas para todos os modelos, incluindo o original, com maior fator de forma.

Quadro 4.17 - Temperatura média para a semana de projeto de Verão (Clima Dfc)

Temperatura Média (°C)						
Exterior	Modelo					
	12x7.5	13x7	14x6.5	15x6	18x5	Original
18,65	25,54	25,52	25,49	25,47	25,42	25,52

As médias obtidas para a temperatura interior de cada modelo podem ser acompanhadas da análise gráfica, na qual se verifica uma sobreposição das diferentes curvas de temperatura interior ao longo da semana de projeto de Verão. Tal indica que a compacidade não tem influência nesta estação para o modelo construtivo estudado.

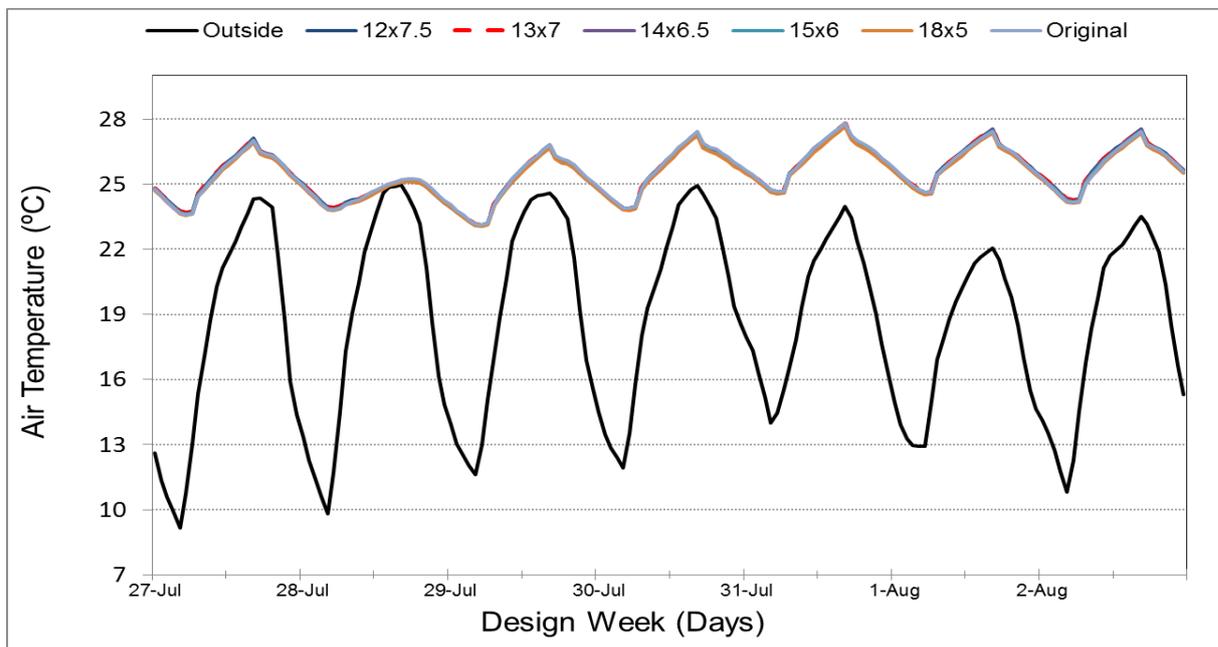


Figura 4.20 - Variação das temperaturas interiores na semana de projeto de Verão, com uma taxa horária de renovação do ar interior de 60% (Clima Dfc)

Apesar da média semanal se apresentar bastante próxima da temperatura máxima de conforto de 25 °C já referida, verifica-se que ao longo da semana de projeto esta anda quase sempre acima deste valor, com um pico máximo de cerca de 28°C.

É possível verificar que os resultados obtidos confirmam o que vinha a ser revelado pelos restantes climas, com a influência da compactidade para a estação de Verão a ser bastante reduzida.

Analisado o clima Dfc, importa agora transportar o estudo para a última das regiões, verificando a influência que o fator de forma possui para o clima Dfb.

4.3.5 Clima Dfb - Kiev, Ucrânia

O clima Dfb caracteriza-se por possuir um Verão temperado e um Inverno com temperaturas ligeiramente superiores ao clima Dfc, continuando, no entanto, em níveis bastantes baixos, razão pela qual também se admite uma espessura bastante considerável para a camada de isolamento da envolvente exterior.

No estudo elaborado para a estação de Inverno admitem-se diferentes taxas de renovação do ar interior, para poder voltar a analisar a sua influência na variação das temperaturas interiores, para os diferentes fatores de forma. Assim, tem-se uma estanquidade crescente, com três níveis de renovação horária. Começa-se por simular um ambiente completamente isolado, seguido de um ambiente com 20% do ar renovado a cada hora, passando, finalmente, para uma taxa de 60%, possibilitando a comparação de três diferentes grupos, constituídos pelos modelos já

explanados. Como já referido, as temperaturas de Inverno são ligeiramente superiores ao clima Dfc, possibilitando o estudo considerando níveis menores de estanquidade.

Considerando que a melhor das três situações é aquela com uma taxa de renovação horária do ar interior de 20%, visto ser a situação que melhor conjuga o binário temperatura interior e respetiva qualidade do ar, ilustra-se a variação de temperaturas ao longo da semana de projeto em Kiev.

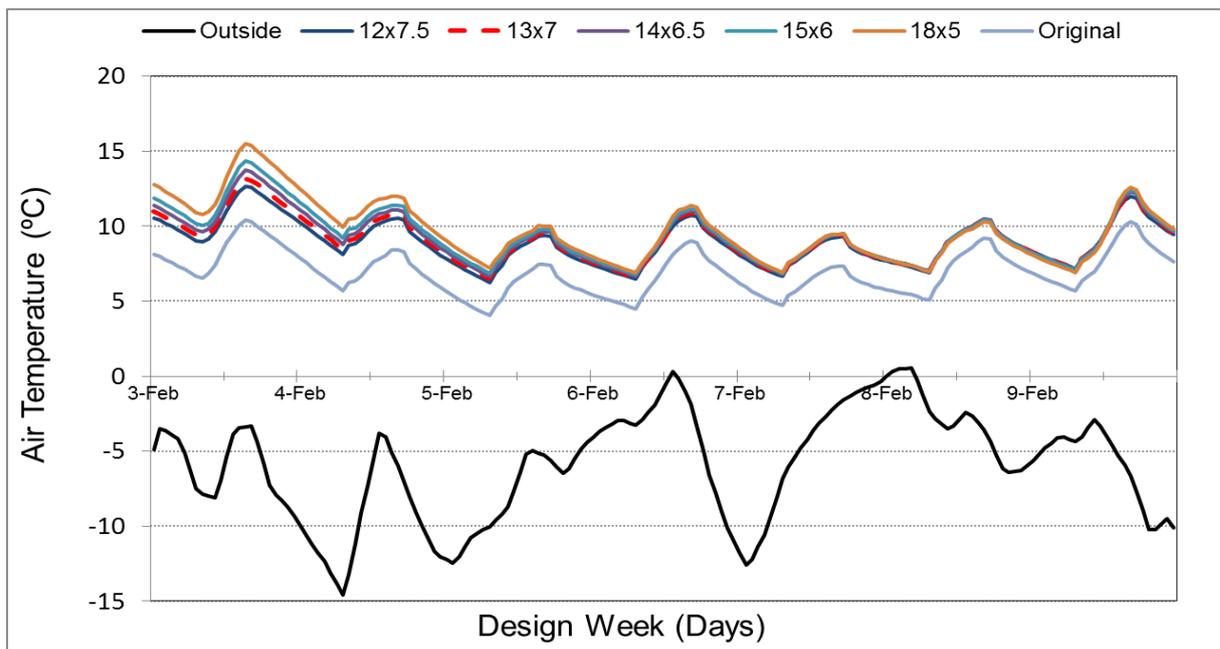


Figura 4.21 - Variação da temperatura interior para a estação de Inverno, com uma taxa horária de renovação do ar interior de 20% (Clima Dfb)

Novamente, é visível a diferença das temperaturas interiores entre o modelo original, com um fator de forma mais elevado, e os restantes modelos. Esta diferença é ainda mais acentuada se considerarmos um ambiente interior ainda mais isolado, sem renovação do respetivo ar.

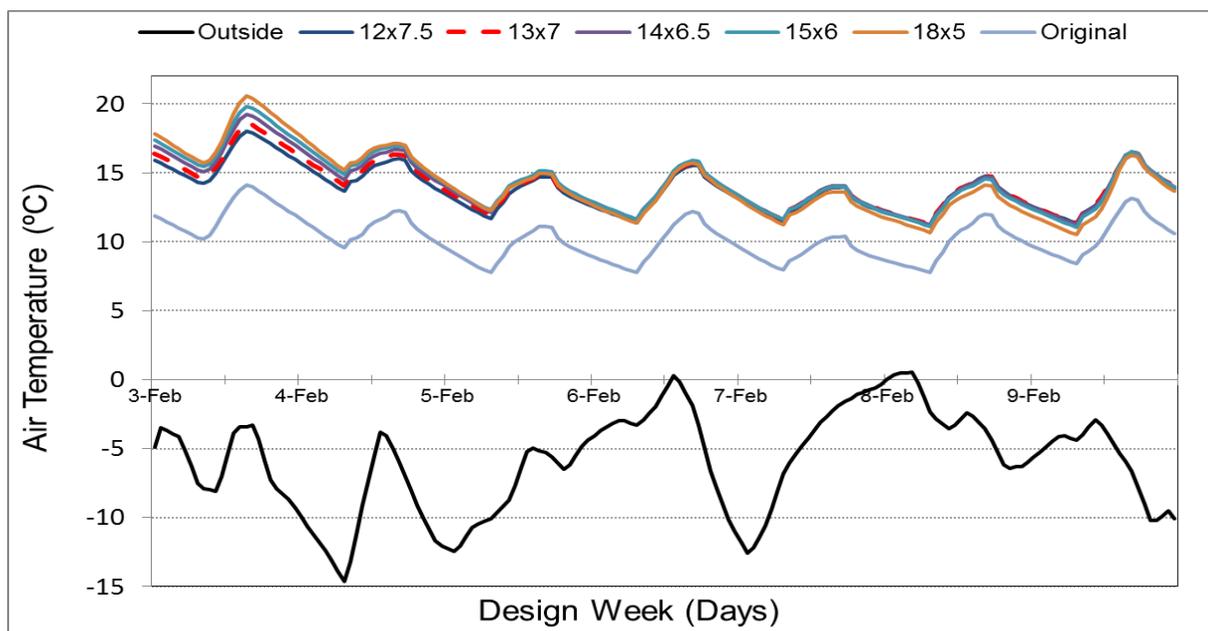


Figura 4.22 - Variação da temperatura interior para a estação de Inverno, sem renovação do ar interior (Clima Dfb)

Além da influência crescente do fator de forma com o aumento nível do nível de estanquidade, revela-se também uma subida das temperaturas do meio interior, estando de acordo com os resultados obtidos para o clima Dfc. Contudo, para ambientes muito isolados existe uma deterioração da qualidade do ar, com possíveis danos para a saúde dos ocupantes. Por oposição, nos climas mais frios uma ventilação natural excessiva, através da abertura de janelas por exemplo, reduz substancialmente a temperatura no interior, como seria expectável, aproximando-a da temperatura exterior (a preto na figura 4.23).

Como é possível atentar na figura 4.23, revela-se também um distanciamento dos modelos que possuem fachadas principais de maior dimensão, beneficiando da orientação a sul dessas mesmas fachadas para apresentarem temperaturas interiores superiores aos restantes modelos (caso do modelo 18x5 metros e 15x6 metros), dado verem ligeiramente minimizadas as suas perdas de calor através da envolvente durante a estação de aquecimento. A importância da orientação pode ser verificada com mais detalhe no estudo realizado para o modelo original da CoolHaven e para a cidade de Coimbra.

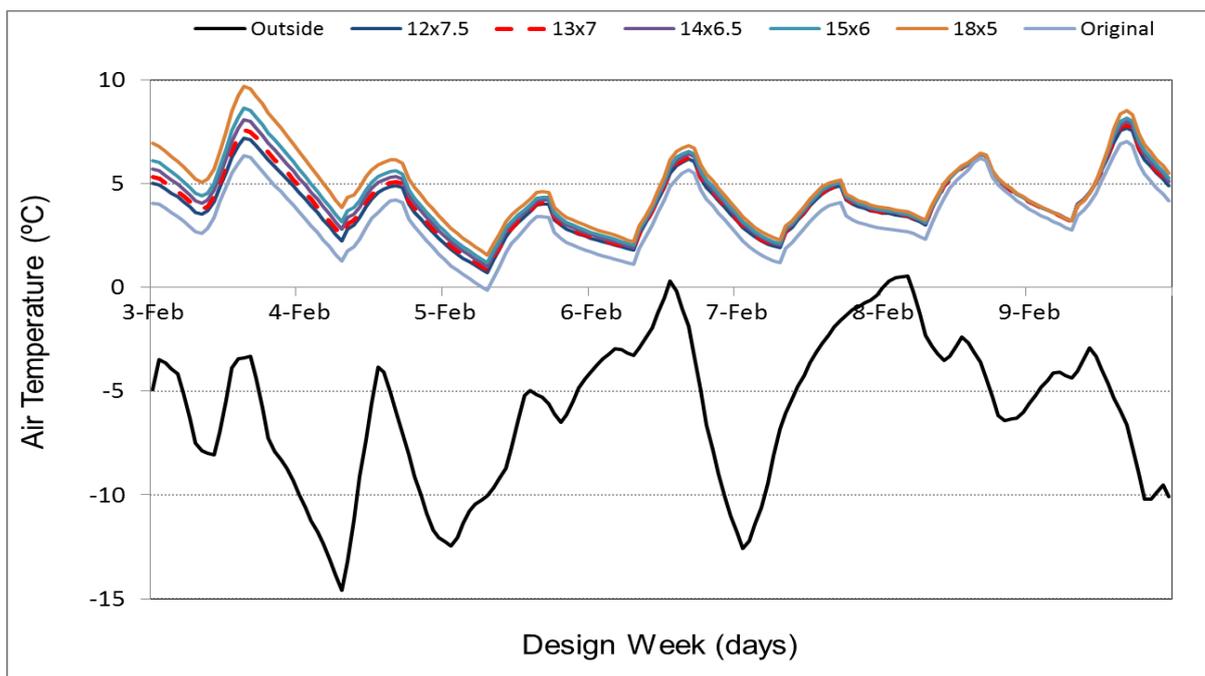


Figura 4.23 - Variação da temperatura interior para a estação de Inverno, com uma taxa horária de renovação do ar interior de 60% (Clima Dfb)

Novamente, servindo de complemento à análise gráfica, é importante apresentar os valores médios obtidos para a temperatura interior de cada modelo, para cada uma das diferentes situações, considerando apenas a estação de Inverno.

Quadro 4.18 - Temperaturas médias no interior dos modelos para as diferentes situações da estação de Inverno (Clima Dfb)

Situação	Temperatura Média (°C)						
	Exterior	Modelo					
		12x7.5	13x7	14x6.5	15x6	18x5	Original
SP - 0 r/h	-5,91	13,83	14,04	14,20	14,27	14,15	10,25
SP - 0.2 r/h	-5,91	8,91	9,09	9,25	9,41	9,68	6,94
SP - 0.6 r/h	-5,91	4,04	4,16	4,32	4,48	4,81	3,34

Apresentam-se também as variações máximas da temperatura média entre os modelos criados e o modelo original, sendo de notar que o clima Dfb é aquele em que a adoção de modelos mais compactos tem mais eficácia, dado que permite um aumento de 4.03 °C, considerando a situação de estagnação máxima, comparativamente ao modelo original.

Quadro 4.19 - Variação máxima da temperatura interior entre os modelos compactos e o modelo original (Clima Dfb)

Situação	$\Delta T_{\text{máx}}$ (°C)
SP - 0 r/h	4,03
SP - 0.2 r/h	2,74
SP - 0.6 r/h	1,47

Analisando os dois climas continentais estudados, respetivamente Dfc e Dfb, revela-se que a opção por um fator de forma mais reduzido pode ser considerada uma medida passiva bastante efetiva, comprovada no aumento da temperatura do ambiente interior, como por exemplo, o incremento de 2.74 °C na temperatura interior para os modelos mais compactos, considerando a situação corrente (SP – 0.2 r/h) do clima Dfb.

Ainda assim, existem diferenças para os dois climas. A cidade que serviu de base ao clima Dfc, Tampere na Finlândia, possui menor exposição solar que Kiev, que serviu de base para o clima Dfb. Para se ter uma melhor ideia, os dias em Tampere variam de 5h32 minutos a 7h36 minutos, respetivamente no início e fim de Janeiro. Em Kiev os dias são maiores, variando de 8 a 9 horas durante o mesmo mês de Janeiro, o que representa uma maior exposição solar. Este facto é consequência das diferentes latitudes, menor para a cidade ucraniana, que influencia também a inclinação dos raios solares (igualmente menor), ajudando a explicar o efeito mais significativo do conjunto das medidas passivas para Kiev, evidente na maior diferença entre a temperatura exterior e interior nos vários modelos, uma vez que são mais limitadas as perdas de calor.

Para o Verão os resultados obtidos são em tudo semelhantes aos obtidos para os climas anteriores, com o fator de forma a não ter qualquer influência ao nível das temperaturas verificadas nesta estação.

Quadro 4.13 - Temperatura média para a semana de projeto de Verão (Clima Dfb)

Semana Projeto - Temperatura Média (°C)						
Exterior	Modelo					
	12x7.5	13x7	14x6.5	15x6	18x5	Original
22,22	28,74	28,72	28,68	28,63	28,49	28,62

Assumi-se uma taxa de renovação horária do ar interior de 60%, sendo que quando esta é aumentada a temperatura no interior, como seria expectável, se aproxima da temperatura do ar exterior, dado que o comportamento térmico passa a ser mais influenciado pela ventilação, diminuindo a importância da envolvente exterior e, consequentemente, do fator de forma.

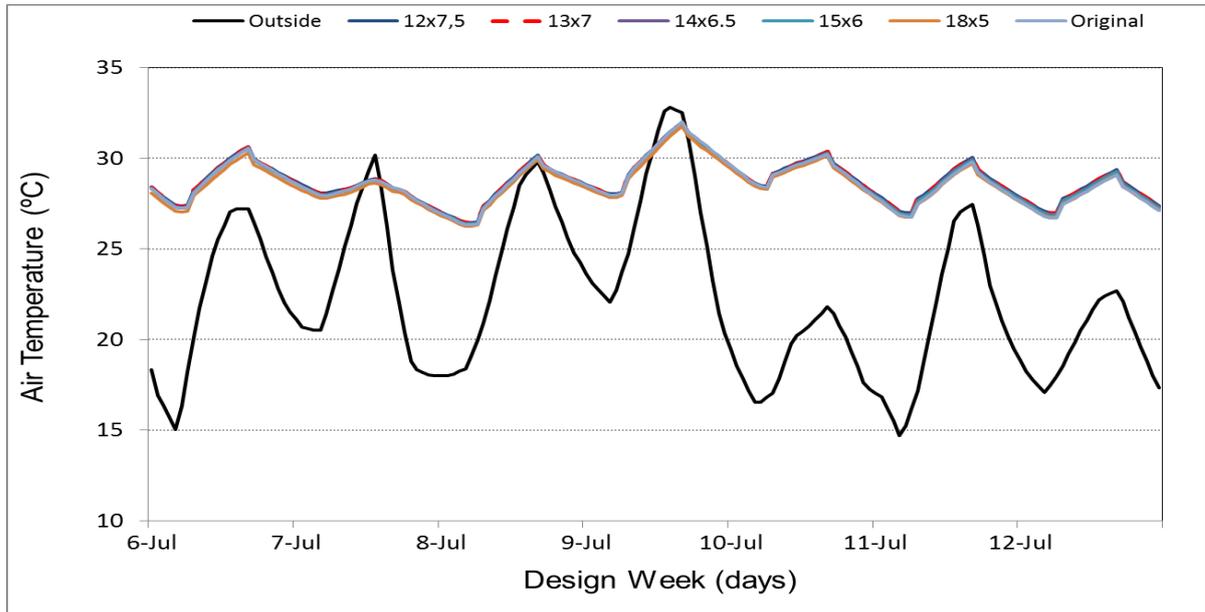


Figura 4.24 - Variação da temperatura interior para a estação de Verão, com uma taxa horária de renovação do ar interior de 60% (Clima Dfb)

Em termos gráficos, revela-se uma sobreposição praticamente perfeita da variação de temperaturas interiores dos diferentes modelos, reforçando o que vinha a ser apontado pelas análises feitas aos outros climas.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

Esta dissertação começa por expor a importância da opção por soluções passivas, sendo que as normas mais recentes impõem limites cada vez mais restritos aos consumos energéticos por parte dos edifícios. Neste sentido, a investigação de diferentes soluções, sejam elas relativas a modelos construtivos completos ou até mesmo estudos paramétricos que determinam a influência individual de cada fator, ganha cada vez mais importância no panorama nacional e internacional, com o objetivo primordial a ser a poupança de recursos energéticos.

A construção modular, com estrutura leve em aço (LSF), começa também a surgir no mercado como solução cada vez mais viável e oportuna, cuja flexibilidade de construção permite a criação de modelos com arquiteturas imensamente distintas, ao mesmo tempo que fornece soluções energeticamente eficientes, quer para os seus modelos mais compactos, quer para aqueles com traços fora do comum.

Neste seguimento, torna-se necessário o estudo da compactidade, verificando a sua influência nos vários climas do continente europeu, servindo de complemento a estudos já efetuados, que permitiram a criação de diferentes projetos construtivos, dependentes da sua região climática, servindo de base ao estudo exposto ao longo desta dissertação.

O principal problema da adoção de fatores de forma elevados para edifícios é a maior propensão a trocas de calor com o ambiente exterior, dada a maior área de envolvente. Para ambientes interiores muito isolados, admitindo até estanquidade total ao ar (infiltrações nulas), com as perdas de calor limitadas à condução para o exterior, a compactidade exerce maior influência.

Em termos da análise feita para cada região climática, começando pelo clima Csb, revelam-se ganhos entre 0.42°C e 0.75°C na temperatura média interior da semana de projeto de Inverno, recorrentes da preferência por modelos compactos em detrimento da arquitetura original, sendo que o aumento destes ganhos é proporcional ao aumento da estanquidade. A grandeza dos ganhos revela que a compactidade não se afigura como uma medida passiva fundamental na melhoria do desempenho térmico dos edifícios desta região, que se caracteriza pelo seu clima ameno.

Para os restantes climas temperados, respetivamente Csa e Cfb, os ganhos são semelhantes, sendo que para Csa se apresentam ligeiramente superiores, com ganhos máximos de 2.63°C na semana de projeto de Inverno para os modelos compactos, considerando a situação de estanquidade total do meio interior.

Em termos dos climas continentais, para a estação de Inverno, o clima que tem mais a ganhar com a adoção de modelos compactos é claramente o clima Dfb, para o qual o estudo efetuado teve por base a cidade de Kiev. Os modelos mais compactos apresentaram aumentos na temperatura média entre 1.47°C e 4.03°C, novamente com o aumento proporcional ao crescente isolamento, através da diminuição das taxas horárias de renovação do ar interior.

Para o clima Dfc, as temperaturas ambiente extremamente baixas diminuem a influência do fator de forma. Contudo, a opção por modelos mais compactos ainda traz benefícios, com aumentos entre 1.24°C e 1.58 °C para a temperatura interior, dependendo do nível de estanquidade admitido para o ambiente interior.

No que concerne à estação de Verão, a compactidade revela uma importância reduzida, comparativamente à estação de aquecimento. As temperaturas médias verificadas para os diferentes modelos a apresentam apenas variações residuais. Pode-se assim concluir que a opção por modelos compactos é mais importante para limitar as perdas de calor, na estação de arrefecimento, do que propriamente para evitar ganhos excessivos, que possam aumentar a temperatura interior durante a estação de arrefecimento. Assim, a opção por edifícios compactos pode ser vista como mais uma medida passiva, tendo por fim a melhoria do seu desempenho térmico.

Outro pormenor construtivo que pode funcionar como uma boa medida passiva é a orientação das fachadas, em particular as que possuem vãos envidraçados. Da análise realizada para a moradia *CoolHaven*, localizada em Coimbra, foi possível concluir que uma orientação a sul ou ligeiramente a sudoeste pode garantir ganhos de temperatura no interior durante a estação fria, como verificado no estudo efetuado. De facto, esta medida é a que apresenta menos custos, devendo ser prevista logo na fase inicial de um qualquer projeto de construção.

5.2 Trabalhos futuros

A introdução de soluções passivas no sector da construção ao longo dos anos, tem possibilitado poupanças em termos energéticos. Contudo, muitos dos edifícios que se encontram hoje ativos apresentam já alguma idade, não sendo munidos da tecnologia de construção mais recente, que, entre outras coisas, envolve um panóplia de soluções passivas.

Noutro âmbito, para os climas mais frios, existe ainda um fosso da temperatura interior nos modelos analisados relativamente à temperatura interior de conforto para a estação de Inverno, situada nos 20°C, considerando as análises efetuadas sem sistemas ativos. Dado o exposto, existe a necessidade de conjugar as medidas passivas, com sistemas ativos que recorram a energias renováveis, criando um mecanismo conjunto sustentável.

A aposta na construção modular pode também ser vista como um passo importante do sector da construção, no sentido de se tornar mais sustentável, tanto no processo construtivo, como na eficiência energética durante o tempo de vida útil dos edifícios.

É também importante continuar os estudos sobre estas temáticas, tendo sempre em mente uma perspetiva de inovação. Os estudos podem também ser impulsionados pela criação de modelos reais, cujas medições poderiam validar os modelos computacionais.

Seria também importante a criação de um regulamento comum a todos países europeus, devidamente adequado a cada clima, sendo a norma “*Passivhaus*” um primeiro passo nesse sentido. A partilha de conhecimento entre as diferentes nações seria também relevante, de modo a garantir uma evolução para medidas cada vez mais eficientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADENE – Agência para a energia (2001). “Guia Prático do Certificado Energético da Habitação”. Algés, Portugal.

Ascenso, Rita (2012). “*Nearly zero energy buildings: O que vai mudar com os NZEB?*”. Climatização – Edifícios e Energia.

Ascenso, Rita (2011). “*Passivhaus - “Este método está muito bem sistematizado”*”. Climatização – Edifícios e Energia.

A. Audenaert, S. De Cleyn and B. Vankerckhove (2008). “Economic analysis of passive houses and low-energy houses compared with standard houses”. *Energy policy* 36 (2008) 47-55.

Brandão, Nuno (2008). “Análise de Soluções Construtivas e Tecnológicas para Edifícios Passivos em Portugal”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Porto, Porto.

Cardoso, Bruno (2013). “Análise Paramétrica de uma Solução Passiva para uma Moradia com Estrutura em Aço Leve”. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Coimbra.

Cardoso, Filipa e Ascenso, Rita (2011). “*Passivhaus, As novas casas passivas*”. Climatização – Edifícios e Energia.

Castelo, João Luís de Couto (2008). “Desenvolvimento de modelo conceptual de sistema construtivo industrializado leve destinado a realização de edifícios metálicos”. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Depecker, P.; Menezo C.; Virgone, J.; Lepers, S. (1998). “Design of Buildings Shape and Energetic Consumption”. *Building and Environment* 2001; 36:627-635.

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia (2007). “Inquérito ao consumo de energia no setor doméstico: Edição 2011”. Lisboa, Portugal.

Diretiva Europeia 2010/31/EU. Diretiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios. Bruxelas, Bélgica: Jornal Oficial da União Europeia.

Feist, W. e Schnieders, J (2009). “Energy efficiency – a key to sustainable housing”. Eur. Phys. J. Special Topics 2009, 176:141-153. Passivhaus Institut, Darmstadt, Germany.

Francisco, Jorge (2015). “Análise Paramétrica de uma Solução Passiva para uma Habitação com Estrutura em Aço Leve”. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Coimbra.

Freitas, Filipe (2014). “Construção Modular Sustentável – Propostas de um projeto tipo”. Tese de Mestrado, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Viana do Castelo.

Geletka, Vladimir e Sedláková, Anna (2012). “Shape of Buildings and Energy Consumption”. Politechniki Krakowskiej, Krakow, Polska. Czasopismo Techniczne, 2-B/2012, Issue 3, Year 109.

Gonçalves, Hélder e Graça, João Mariz (2004). “Conceitos Bioclimáticos para Edifícios em Portugal”. Departamento de Energias Renováveis – INETI. Lisboa, Portugal.

Gonçalves, Hélder; Oliveira, Marta; Patrício, Anita; Cabrito, Pedro (1998). “Passive Solar Buildings in Portugal – Experiences in the Last 20 years”. Department of Renewable Energies – INETI. Lisboa, Portugal.

Isolani, Pieraldo (2008). “Eficiência energética nos edifícios residenciais”. Intelligent Energy Europe. Lisboa, Portugal.

Littlefair, Paul (2001). “Daylight, Sunlight and Solar Gain in the Urban Environment”. Solar Energy 2001; 70(3):177-185.

Littlefair, Paul (1998). “Passive Solar Urban Design: Ensuring the Penetration of Solar Energy into the City”. Renewable and Sustainable Energy Reviews 1998; 2:303-326.

Mendonça, Paulo (2005). “Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados”. Tese de doutoramento, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Guimarães.

Murtinho, Vitor; Ferreira, Hélder; Correia, António; Silva, Luís Simões; Gervásio, Helena; Santos, Paulo (2010). “Architectural concept for multi-storey apartment building with light steel framing”. Ernst & Sohn. Steel Construction 3 (2010), No.3.

Oliveira, Pedro (2015). “A casa autossuficiente”. Visão Futuro, 26 de Fevereiro de 2015.

Pacheco, R; Ordóñez, J.; Martínez, G (2012). “Energy eficiente design of building: A review”. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012; 16:3559-3573.

Passive-On Project (2007a). “A descrição longa do Passive-On”. European Commission under the Intelligent Energy – Europe Programme.

Passive-On Project (2007b). “Na direcção de casas passivas – Mecanismos de apoio ao desenvolvimento do mercado de casas passivas”. European Commission under the Intelligent Energy – Europe Programme.

Passive-On Project (2007c). “A norma Passivhaus em climas quentes da Europa – Directrizes de projecto para casas confortáveis de baixo consumo energético, Parte 1: Revisão de casas confortáveis de baixo consumo energético”. European Commission under the Intelligent Energy – Europe Programme.

RCCTE (Decreto-Lei nº80/2006), Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Diário da República nº67 – I Série – A, 4 de Abril de 2006.

Sadineni, Suresh B; Madala, Srikanth; Boehm, Robert F. (2011). “Passive building energy savings: A review of building envelope components”. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2011; 15:3617-3631.

Schnieders, Jurgen and Hermelink, Andreas (2006). “CEPHEUS results: measurements and occupants’ satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building”. Energy Policy 2006, 34:151-171.

Silva, Miguel André Costa (2014). “Conceção e Desenvolvimento de um Sistema Modular para Construção Modular”. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

15th Passive House International Conference (2011). Innsbruck, Áustria.

Arquitetando@ (2015). <http://arquitetandonanet.blogspot.pt/2010/09/palacio-de-cristal-londres-inglaterra.html>. Blogue.

Azcentral@ (2015). <http://archive.azcentral.com> AzCentral (Página Internet Oficial), Arizona.

Casas em Movimento@ (2015). <http://www.casasemmovimento.com/> CEM (Página Internet Oficial), Porto.

Cool-Haven@ (2015). <http://www.coolhaven.pt/conceito/cool-haven-concept.php> Cool-Haven Concept (Página Internet Oficial), Coimbra.

Dern@ (2015). <http://www.dern.pt/index.php?pg=6&lng=pt>. Energia Geotérmica (Página Internet Oficial), Barcelos.

Diário Aveiro@ (2015). <http://www.diarioaveiro.pt/noticias/casa-em-ilhavo-sera-quase-autonoma-em-terminos-energeticos>. “Casa em Ílhavo será quase autónoma em termos energéticos” (Página Internet Oficial), Aveiro.

Engenhariacivil@ (2015). <http://www.engenhariacivil.com/major-edificio-modular-do-mundo>.

Estação do Mundo@ (2015). <http://www.estacoesdomundo.com.br/2014/08/volta-ao-mundo-jul14-espanha-sevilha.html>. Rua de Sevilha.

Flavi Rebocos@ (2015). http://www.flavirebocos.pt/?page_id=262. CAPOTO – Isolamento Térmico (Página Internet Oficial), Chaves.

Futureng@ (2015). <http://www.futureng.pt/construcao-modular>. Construção Modular, Futureng –Projetos e Construção Civil, Lda, São João da Talha.

Koppen-Geiger@ (2015). <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/>. World maps of Koppen-Geiger climate classification, Vienna, Austria.

Modularsystem@ (2015). <http://www.modular-system.com/site/main.php-a=w&l=le2.htm>. Modular System, Porto.

Passivhaus@ (2015). <http://passivhaus.pt/conferencia.html>. Associação Passivhaus Portugal – PHPT (Página Internet Oficial), Ílhavo.

Passiv@ (2015). <http://passiv.de/>. Passivhaus Institut (PHI) (Página Internet Oficial).

Reuters@ (2015). <http://www.reuters.com/article/2013/08/12/us-israel-rates-minutes-idUSBRE97B07S20130812>. Banco de Israel (Página Internet Oficial).

Visão@ (2015). <http://visao.sapo.pt/a-casa-autossuficiente=f812247>. “A casa autossuficiente”, Visão Futuro (Página Internet Oficial).

ANEXOS

Anexo A - Características geométricas dos modelos compactos

Modelos	Pisos	A _{imp} (m ²)	C (m)	L (m)	Envolvente (m ²)	Fachada Sul/Norte (m ²)	Fachada Este/Oeste (m ²)	Envidraçado Sul (m ²)	Envidraçado Norte (m ²)	Envidraçado Este (m ²)	Envidraçado Oeste (m ²)	FF (m ⁻¹)
12x7.5	2	90,4	12,0	7,5	415,2	72,0	45,19	17,5	9,6	8,5	10,6	0,77
13x7	2	90,4	13,0	7,0	420,2	78,0	41,72	19,0	10,4	7,8	9,8	0,77
14x6.5	2	90,4	14,0	6,5	426,2	84,0	38,74	20,4	11,2	7,3	9,1	0,79
15x6	2	90,4	15,0	6,0	433,1	90,0	36,15	21,9	12,0	6,8	8,5	0,80
18x5	2	90,4	18,0	5,0	457,0	108,0	30,1	26,3	14,4	5,6	7,1	0,84

Anexo B1 - Composição da envolvente exterior opaca - Clima Csb

Parede Exterior				Parede Interior				Telhado				
Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m ² .K)]	Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m ² .K)]	Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m ² .K)]	
Aglomerado de Cortiça Expandida	40	Exterior	0,270	Gypsum Plasterboard	13	Exterior	0,597	Rock Wool	59,5	Exterior	0,300	
OSB	11	Intermédia		OSB	11	Intermédia		OSB	18	Intermédia		
Rock Wool	33,2	Intermédia		Rock Wool	40	Intermédia		Air Gap	255	Intermédia		
Air Gap	114	Intermédia		OSB	11	Intermédia		Rock Wool	40	Intermédia		
Rock Wool	41,4	Intermédia		Gypsum Plasterboard	13	Interior		Gypsum Plasterboard	13	Interior		
OSB	11	Intermédia		Espessura Total [mm]		88		Espessura Total [mm]		385,5		
Gypsum Plasterboard	13	Interior										
Espessura Total [mm]		263,6										
Pavimento Interior				Pavimento Exterior				Pavimento Piso Térreo				
Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m ² .K)]	Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m ² .K)]	Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m ² .K)]	
TECNO 28 Knauf	28	Superior	0,619	TECNO 28 Knauf	28	Superior	0,380	TECNO 28 Knauf	28	Superior	0,360	
Air Gap	242,6	Intermédia		Air Gap	243	Intermédia		Air Gap	242,6	Intermédia		
Stone Wool	40	Intermédia		Rock Wool	70,6	Intermédia		XPS	79,6	Inferior		
Gypsum Plasterboard	13	Inferior		Gypsum Plasterboard	13	Inferior		Espessura Total [mm]		350,2		
Espessura Total [mm]		323,6		Espessura Total [mm]		354,6						

Anexo B2 - Composição da envolvente exterior opaca - Clima Csa

Parede Exterior				Parede Interior				Telhado				
Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m ² .K)]	Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m ² .K)]	Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m ² .K)]	
Reboco Acrílico Resinado	3	Exterior	0,210	Gypsum Plasterboard	15	Exterior	0,532	Argamassa	30	Exterior	0,269	
EPS	50	Intermédia		Stone Wool	60	Intermédia		XPS	30	Intermédia		
OSB	13	Intermédia		Gypsum Plasterboard	15	Interior		Air Gap	30	Intermédia		
Air Gap	25	Intermédia		Espessura Total [mm]		90		Cast Concrete	40	Intermédia		
Stone Wool	120	Intermédia		Pavimento Exterior				OSB	18	Intermédia		
Gypsum Plasterboard	15	Interior		Material	Espessura [mm]	Camada		U [W/(m ² .K)]	Air Gap	25		Intermédia
Espessura Total [mm]		226		Cerâmica	10	Superior		Stone Wool	80	Intermédia		
Pavimento Interior				Floor Screed	13	Intermédia	Gypsum Plasterboard	15	Interior	Espessura Total [mm]		268
Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m ² .K)]	OSB	18	Intermédia	Pavimento Piso Térreo					
Cerâmica	10	Superior	0,642	Air Gap	25	Intermédia	Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m ² .K)]	0,474	
Cement Screed	13	Intermédia		Rock Wool	80	Intermédia	Cerâmica	10	Superior			
OSB	18	Intermédia		Gypsum Plasterboard	15	Intermédia	Floor Screed	13	Intermédia			
Air Gap	160	Intermédia		EPS	30,9	Intermédia	Cast Concrete	180	Intermédia			
Rock Wool	40	Intermédia		Reboco Acrílico Resinado	3	Inferior	XPS	25	Inferior			
Gypsum Plasterboard	15	Interior		Espessura Total [mm]		194,9	Espessura Total [mm]		228			
Espessura Total [mm]		256				Espessura Total [mm]		228				

Anexo B3 - Composição da envolvente exterior opaca - Clima Cfb

Parede Exterior				Parede Interior				Telhado			
Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m².K)]	Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m².K)]	Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m².K)]
Reboco Acrílico Resinado	3	Exterior	0,190	Gypsum Plasterboard	15	Exterior	0,532	Argamassa	30	Exterior	0,149
EPS	50	Intermédia		Stone Wool	60	Intermédia		XPS	30	Intermédia	
OSB	13	Intermédia		Gypsum Plasterboard	15	Interior		Air Gap	30	Intermédia	
Air Gap	25	Intermédia		Espessura Total [mm]		90	Cast Concrete	40			
Stone Wool	140	Intermédia		Pavimento Exterior				OSB	18		
Gypsum Plasterboard	15	Interior		Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m².K)]	Air Gap	25	Intermédia	
Espessura Total [mm]			246	Cerâmica	10	Superior	0,162	Stone Wool	200	Intermédia	0,204
Pavimento Interior				Floor Screed	13	Intermédia		Gypsum Plasterboard	15	Interior	
Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m².K)]	OSB	18	Intermédia	Espessura Total [mm]		388		
Cerâmica	10	Superior	0,642	Air Gap	25	Intermédia	Pavimento Piso Térreo				
Cement Screed	13	Intermédia		Rock Wool	220	Intermédia	Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m².K)]	
OSB	18	Intermédia		Gypsum Plasterboard	15	Intermédia	Cerâmica	10	Superior	0,204	
Air Gap	160	Intermédia		EPS	30,9	Intermédia	Floor Screed	13	Intermédia		
Rock Wool	40	Intermédia		Reboco Acrílico Resinado	3	Inferior	Cast Concrete	60	Intermédia		
Gypsum Plasterboard	15	Inferior		Espessura Total [mm]		334,9	XPS	120	Inferior		
Espessura Total [mm]			256					Espessura Total [mm]			203

Anexo B4 - Composição da envolvente exterior opaca - Clima Dfc

Parede Exterior				Parede Interior				Telhado			
Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m².K)]	Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m².K)]	Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m².K)]
Reboco Acrílico Resinado	3	Exterior	0,108	Gypsum Plasterboard	15	Exterior	0,532	Argamassa	30	Exterior	0,091
EPS	50	Intermédia		Stone Wool	60	Intermédia		XPS	30	Intermédia	
OSB	13	Intermédia		Gypsum Plasterboard	15	Interior		Air Gap	30	Intermédia	
Air Gap	25	Intermédia		Espessura Total [mm]		90	Cast Concrete	40	Intermédia		
Stone Wool	300	Intermédia		Pavimento Exterior				OSB	18	Intermédia	
Gypsum Plasterboard	15	Interior		Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m².K)]	Air Gap	25	Intermédia	
Espessura Total [mm]			406	Cerâmica	10	Superior	0,091	Stone Wool	370	Intermédia	0,098
Pavimento Interior				Floor Screed	13	Intermédia		Gypsum Plasterboard	15	Interior	
Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m².K)]	OSB	18	Intermédia	Espessura Total [mm]		558		
Cerâmica	10	Superior	0,642	Air Gap	25	Intermédia	Pavimento Piso Térreo				
Cement Screed	13	Intermédia		Rock Wool	450	Intermédia	Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m².K)]	
OSB	18	Intermédia		Gypsum Plasterboard	15	Intermédia	Cerâmica	10	Superior	0,098	
Air Gap	160	Intermédia		EPS	30,9	Intermédia	Floor Screed	13	Intermédia		
Rock Wool	40	Intermédia		Reboco Acrílico Resinado	3	Inferior	Cast Concrete	180	Intermédia		
Gypsum Plasterboard	15	Inferior		Espessura Total [mm]		564,9	XPS	300	Inferior		
Espessura Total [mm]			256					Espessura Total [mm]			503

Anexo B5 - Composição da envolvente exterior opaca - Clima Dfb

Parede Exterior				Parede Interior				Telhado			
Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m ² .K)]	Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m ² .K)]	Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m ² .K)]
Reboco Acrílico Resinado	3	Exterior	0,129	Gypsum Plasterboard	15	Exterior	0,532	Argamassa	30	Exterior	0,091
EPS	50	Intermédia		Stone Wool	60	Intermédia		XPS	30	Intermédia	
OSB	13	Intermédia		Gypsum Plasterboard	15	Interior		Air Gap	30	Intermédia	
Air Gap	25	Intermédia		Espessura Total [mm]		90	Cast Concrete	40	Intermédia		
Stone Wool	240	Intermédia		Pavimento Exterior				OSB	18	Intermédia	
Gypsum Plasterboard	15	Interior		Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m ² .K)]	Air Gap	25	Intermédia	
Espessura Total [mm]			346	Cerâmica	10	Superior	Stone Wool	370	Intermédia	558	
Pavimento Interior				Floor Screed	13	Intermédia	Gypsum Plasterboard	15	Interior		
Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m ² .K)]	OSB	18	Intermédia	Pavimento Piso Térreo				
Cerâmica	10	Superior	0,642	Air Gap	25	Intermédia	Material	Espessura [mm]	Camada	U [W/(m ² .K)]	
Cement Screed	13	Intermédia		Rock Wool	450	Intermédia	Cerâmica	10	Superior	0,115	
OSB	18	Intermédia		Gypsum Plasterboard	15	Intermédia	Floor Screed	13	Intermédia		
Air Gap	160	Intermédia		EPS	30,9	Intermédia	Cast Concrete	180	Intermédia		
Rock Wool	40	Intermédia		Reboco Acrílico Resinado	3	Inferior	XPS	250	Inferior		
Gypsum Plasterboard	15	Inferior		Espessura Total [mm]		564,9	Espessura Total [mm]			453	
Espessura Total [mm]			256								

Anexo C1 - Envidraçados - Clima Csb

Envidraçados		
Elemento	Material	U [W/(m ² .K)]
Janelas	Vidro Duplo SGG	2,661
Claraboias	Vidro Duplo SGG	

Anexo C2 - Envidraçados - Climas Csa, Cfb, Dfc, Dfb

Envidraçados		
Elemento	Material	U [W/(m ² .K)]
Janelas	Vidro Duplo	1,630
Claraboias	Vidro Duplo SGG	2,661