

DESIGN CONS/EFI/CIENTE:
O impacto do fator de forma no
desempenho energético dos edifícios
Joana Maria Leal Cortinhas

M
2022



DESIGN CONS/EFI/CIENTE

O impacto do **fator de forma** no desempenho energético dos edifícios.

Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitetura

Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto

Orientada por Prof. Doutora Maria Clara de Carvalho Pimenta Vale

Ano letivo 2021/2022

Joana Cortinhas

Agradeço à professora Clara Vale e ao arquiteto João Gavião por todo o apoio prestado durante o desenvolvimento deste trabalho.

À *Homegrid* e à *Associação Passivhaus Portugal* pela disponibilidade demonstrada.

À minha família, por me ter acompanhado sempre neste percurso.

Aos meus amigos, por todas as horas que partilhámos.

À Dory.

Resumo

Reconhecer o potencial de transformação social da arquitetura é reconhecer a capacidade que a mesma tem, juntamente com outras disciplinas, em contribuir para as respostas à crise que a humanidade atravessa. É inegável a urgência que existe em reduzir os consumos de energia do setor dos edifícios sem, contudo, deixar de proporcionar melhores condições de conforto a quem os habita.

A estratégia para minimizar as necessidades de energia associadas à utilização dos edifícios assenta, em grande parte, em devolver ao projeto de arquitetura, nomeadamente à forma arquitetónica, a capacidade de resposta a esta problemática através de meios passivos e adaptações a estratégias bioclimáticas.

Para isso, é importante perceber a relação de causalidade entre a geometria dos edifícios e as suas necessidades energéticas, que resulta de uma complexa interação entre o clima, a topografia, a localização, a orientação solar e morfologia do edificado.

O fator de forma apresenta-se, assim, como um conceito de extrema relevância no desenvolvimento de um projeto, por estar intrinsecamente ligado ao desempenho energético dos edifícios.

Esta dissertação pretende alertar e consciencializar todos os intervenientes num projeto de arquitetura para esta problemática e apelar a uma maior responsabilização dos mesmos no momento de projetar.

São apresentadas, através de simulações dinâmicas e da análise de vários casos de estudo, orientações claras para um melhor entendimento do impacto do fator de forma no desempenho energético dos edifícios.

Palavras-chave

Fator de Forma | Eficiência Energética | Conforto Térmico | Edifícios | Sustentabilidade | Design Consciente

Abstract

Acknowledging architecture's potential for social transformation is to acknowledge its capability, together with other disciplines, to provide answers to the crisis humanity currently faces. It is indisputable that there is an urgent necessity to reduce the overall energy consumption of the building sector without impairing the comfort and living conditions of its inhabitants.

Strategies to minimize energy requirements related to building usage are mainly based on restoring the response capability of architecture projects, particularly the architectonic shape, to this issue, primarily through passive measures and adaptations to bioclimatic strategies.

In order to achieve this, it is essential to understand the causality between a building's geometry and its energetic necessities, that stems from the complex interactions between climate, topography, localization, solar orientation and the building's morphology.

As such, the form factor arises as an extremely relevant concept in the development of a project, due to its intrinsic connection to a building's energetic performance.

This dissertation intends to raise awareness and alert all the participants of an architecture project to this issue, as well as calling for greater accountability when designing a project.

Through dynamic simulations and analysis of multiple case studies, clear guidelines are hereby presented with the goal of better understanding the impact of the form factor in the energetic performance of buildings.

Key Words

Form Factor | Energy Efficiency | Thermal Comfort | Buildings | Sustainability
| Conscient Design

Índice

1. Introdução	1
1.1. Motivações.....	3
1.2. Enquadramento	4
1.3. Objetivos.....	7
1.4. Metodologia	8
2. A Energia e os Edifícios.....	11
2.1. Panorama Energético Mundial	13
2.1.1. Evolução do consumo de energia por fonte	13
2.1.2. Evolução do consumo de energia por setor	15
2.1.3. Consumo de eletricidade	16
2.1.4. Emissões de CO2	16
2.2. Panorama Energético em Portugal	18
2.2.1. Evolução da produção e do consumo de energia	18
2.2.2. Emissões de CO2	20
2.2.3. Consumo de eletricidade	21
2.2.4. Evolução da geração de eletricidade.....	22
3. Por um Design Consciente.....	25
3.1. Enquadramento Histórico.....	27
3.2. Projetar com o Clima	28
3.3. O Projeto na Base da Pirâmide	32
4. O Fator de Forma.....	35
4.1. O Fator de Forma	37
4.2. Fator de Forma como Estratégia Bioclimática	42
4.3. O Princípio da Similitude	44

4.4.	Revisão Crítica	47
5.	O Impacto do Fator de Forma no Desempenho Energético dos Edifícios	51
5.1.	Método e Ferramentas	53
5.2.	Definição de Tipologias a Analisar	56
5.2.1.	Comparação entre fatores de forma	56
5.3.	Análise 1: análise geométrica	59
5.3.1.	Relação entre o fator de forma e a área de envolvente exterior.....	59
5.3.2.	Relação entre o fator de forma e as perdas pela envolvente.....	60
5.3.3.	Análise das coberturas	63
5.3.4.	Influência do tamanho na eficiência da forma	65
5.4.	Análise 2: zonas climáticas.....	66
5.5.	Análise 3: Orientação, Envidraçados e Isolamento	69
6.	Casos de Estudo	75
6.1.	Recolha de informação.....	77
6.2.	Análise de dados	80
6.2.1.	Projetos com área útil superior a 200m ²	82
6.2.2.	Projetos com área útil inferior a 200m ²	86
6.2.3.	A exceção das Caldas da Rainha e Oeiras	89
6.3.	Considerações.....	90
7.	Conclusões e Trabalhos Futuros	93
7.1.	Conclusões.....	95
7.2.	Trabalhos Futuros	98
8.	Referências Bibliográficas.....	101

8.1.	Bibliografia	103
8.2.	Créditos das imagens	107
8.3.	Créditos das Tabelas	110
9.	Apêndices.....	111
9.1.	Apêndice I: Cálculo do balanço energético - PHPP.....	113
9.2.	Apêndice II: Documentos apoio ao capítulo 5	116
9.3.	Apêndice III: Documentos apoio capítulo 6	128

Nomenclaturas

APHPT	Associação Passivhaus Portugal
Ae	Área de Envolvente Exterior
Au	Área Útil
CF	Coeficiente de Forma
CO ₂	Dióxido de Carbono
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
FF	Fator de Forma
FF _{PH}	Fator de Forma Passive House
GEE	Gases com Efeito de Estufa
Gt	Gigatoneladas
IEA	International Energy Agency
INE	Instituto Nacional de Estatística
KWE	Key World Energy
Mt	Milhões de Toneladas
nZEB	Nearly Zero-Emission Building
PH	Passivhaus
PHI	Passivhaus Institute
PHPP	Passive House Planning Package
PJ	Peta Joules
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
U	Coeficiente de Transmissão Térmica
UE	União Europeia
V	Volume

Lista de Unidades

Altura - m

Au – m²

Ae – m²

U – W / (m²K)

Inércia Térmica – Wh/K por m²

Necessidades de Energia – kWh / (m²a)

V – m³

PARTE I

1.Introdução

1.1. Motivações

Os arquitetos têm a oportunidade única de transformar a vida das pessoas. Uma das partes maravilhosas desta profissão é que o impacto das nossas ações é algo palpável, que pode realmente fazer a diferença. É, no entanto, importante interiorizar que o impacto dessas ações pode ter um período de vida muito longo.

Desde 2020 que tenho tido a oportunidade de colaborar com uma empresa que aplica o conceito *Passivhaus* em todos os seus projetos – a *Homegrid* – e de simultaneamente integrar o grupo de trabalho da *Associação Passivhaus Portugal*, responsável pela disseminação do conceito e por toda a formação *Passivhaus* em Portugal. Esta colaboração tem-me permitido ter contacto com uma nova realidade – a da avaliação do desempenho no setor dos edifícios -, o que me tem levado a questionar se os arquitetos têm plena consciência do impacto das suas decisões, em termos de volumetria e implantação, no desempenho energético dos edifícios.

A urgência do momento em que vivemos em reduzir drasticamente as emissões de CO₂ para atmosfera e os consumos de energia, reforça ainda mais a necessidade que existe em reconhecer o setor dos edifícios não só como um dos setores com maior pegada ecológica, mas também com maior potencial de poupança de energia. Aliado a esta preocupação, está o facto de que a maior parte das pessoas não tem capacidade para conseguir condições adequadas de conforto em casa, sendo também urgente avaliar os edifícios a partir de um indicador de conforto, a temperatura.

O mundo está a atingir um ponto de rutura. Enquanto arquitetos, é hora de sentirmos o peso da responsabilidade para com o meio que nos rodeia, de interiorizar, que temos nas nossas mãos um papel decisivo para melhorar o desempenho dos edifícios.

A questão será: como avaliar o resultado do meu trabalho enquanto arquiteta? Como reconhecer, na fase de projeto, que as decisões tomadas irão ter um impacto positivo no futuro?

1.2. Enquadramento

Parte do trabalho dos arquitetos passa por criar espaços de qualidade, atmosferas saudáveis, das quais as pessoas possam confortavelmente usufruir.

Estima-se que o setor dos edifícios representa 40% do total de energia consumida na União Europeia, dos quais 80% são utilizados para a climatização dos espaços e para as águas quentes sanitárias. Ao mesmo tempo, 75% dos edifícios na Europa são energeticamente ineficientes. (Comissão Europeia, 2020) Existe, portanto, uma inegável urgência em melhorar a qualidade dos edifícios que são projetados para que uma mudança de paradigma se torne realidade.

O aumento da população mundial, assim como o que é considerado o limiar de conforto, estão na génese do crescimento das necessidades de energia no setor residencial, ainda colmatada em grande parte através da queima de combustíveis fósseis. Esta lógica de consumo começou com a revolução industrial do século XVIII, perpetuando-se por todo o séc.XX, com pouca ou nenhuma atenção pelos danos ambientais resultantes deste comportamento de exploração desmedida de recursos finitos.

Foi apenas com a crise petrolífera de 1973 que se começaram a debater os temas do consumo energético no setor dos edifícios. A partir daqui começaram a ser traçadas metas, definidas medidas e previstos cenários para evitar que o planeta alcançasse limites de exploração e destruição sem retorno.

A verdade é que quase 50 anos depois, ainda se assiste a um aumento generalizado do consumo energético mundial, que não para de crescer. Apesar de já se verificar alguma mudança de paradigma, existindo já a transição de fontes de energia finitas para fontes de energia renováveis, o atual padrão de consumo implica ainda uma crescente emissão de CO₂ para a atmosfera, contribuindo para a aceleração das alterações climáticas que põem em causa a integridade da vida humana no planeta.

Mais recentemente, durante o período de pandemia COVID-19, registaram-se drásticas reduções no consumo de energia e nas emissões de CO₂ face a anos anteriores. No entanto, a tendência revela-se novamente crescente, chegando já a igualar os picos registados em 2018 e 2019 (Tracking Buildings, 2021).

Nos dias de hoje, muito graças à pandemia, mais importante se tornou a atenção que deve ser dada em relação à energia que consumimos e aos níveis de conforto que as nossas casas são capazes de atingir. A crescente tendência para o “*homeworking*” vem acentuar fortemente estas necessidades. Quando a casa passa a ser escritório, ginásio, atelier, oficina, sala de aula, e tantos outros, há uma necessidade de conforto acrescida que deve ser assegurada. A estas necessidades de conforto estão normalmente associados aumentos no consumo energético das habitações.

É necessária a implementação de medidas sérias que visem alcançar a eficiência energética. Relativamente ao setor dos edifícios é muito importante perceber que este representa não só um dos maiores consumidores de energia, mas também um dos setores com maior potencial de poupança energética. As novas construções devem cumprir requisitos obrigatórios de conforto e de eficiência, caso contrário estaremos apenas a perpetuar a realidade energética existente, e, daqui a 30 ou 40 anos, tendo em conta o período de vida dos edifícios, serão necessárias novas medidas pois o estado do parque edificado estará ainda mais degradado. Aqui cresce a necessidade de consciencializar aqueles que atuam diretamente neste campo e cujas decisões ditam a necessidade energética dos edifícios.

“The best energy is less energy.” – Wolfgang Feist

O físico alemão Wolfgang Feist, um dos fundadores do conceito *Passive House* e do *Passive House Institute (PHI)*, salienta que mais do que fazer a transição para fontes de energia que não dependam de recursos finitos, como é o caso do petróleo, é necessário reduzir drasticamente a quantidade

de energia que é consumida pelos edifícios. Uma das maneiras para o conseguir passa por oferecer edifícios com qualidade térmica suficiente para que as pessoas possam estar confortáveis sem necessitarem de muita energia para climatizar os espaços. Este é um ponto em que os arquitetos podem e devem intervir, estando as mais determinantes decisões de projeto nas suas mãos. Normalmente, quando fazemos a análise de um projeto, falta-nos ter em conta um parâmetro essencial: o indicador de conforto do edifício. Não é possível falar em conforto sem falar em temperatura. A temperatura média de um espaço é a base para termos uma noção das condições de conforto interior de um edifício, e para aferir a qualidade dos ambientes que nos são proporcionados pela construção. Se este referencial fosse incluído na análise dos projetos, trabalhávamos todos na direção de um **design mais eficiente**.

“É preciso que os projectistas procurem otimizar soluções e não apenas cumprir requisitos. Os edifícios não são todos iguais e temos de, em cada caso, procurar a solução mais adaptada e eficiente, muitas vezes reduzindo custos de construção e de exploração.” (Pinto, 2022)

Com efeito, qualquer profissional do setor da construção deve ter uma elevada preocupação ambiental no desenvolvimento de cada projeto e, consequentemente, noção da responsabilidade que cada decisão projetual representa. As intenções globais de projeto podem ser, muitas vezes, comprometidas pela implantação e **forma do edifício** que positiva ou negativamente tem influência no desempenho energético de um edifício e nos seus padrões de conforto.

1.3. Objetivos

A presente Dissertação de Mestrado visa, numa primeira fase, **consciencializar e sensibilizar** todos os intervenientes num projeto de arquitetura para as questões da eficiência energética e de conforto do ambiente construído; alertar para a importância das decisões que são tomadas em fase de projeto relacionadas com a forma, posição e orientação dos edifícios e a sua relação com o desempenho.

Intenta, ser um apelo a um **design mais consciente e eficiente** e à responsabilidade que nós, arquitetos, construtores, técnicos, temos que assumir perante o meio ambiente e o seu futuro, a de *“construir de uma postura diferenciadora sobre o problema – a consciência do design – como a relação entre ambiente construído e equidade social, entre arquitetura, saúde e conforto.”* (Vale, 2019), sempre cientes de que edifícios saudáveis, conduzem a pessoas saudáveis.

Numa segunda fase, visa abordar um tema transversal a todos os projetos de arquitetura: o **fator de forma** e a sua relação com o desempenho energético dos edifícios.

Embora o senso comum nos diga que quanto maior o valor do fator de forma, maior serão as perdas energéticas pela envolvente (por haver mais área de envolvente temos mais unidade de superfície por unidade de volume), é importante discutir essas questões não de uma forma apenas geométrica, mas analisando no contexto próprio do edificado, em que as superfícies de contacto são pavimentos, paredes, envidraçados e tetos.

1.4. Metodologia

Esta dissertação seguirá uma metodologia teórico-prática articulada em duas partes.

Na primeira parte, de natureza teórica, será feita a revisão de literatura, devidamente interpretada e fundamentada, um enquadramento do tema no panorama energético mundial e nacional, bem como um enquadramento histórico. O objetivo será cruzar textos e experiências de vários autores que abordaram esta temática do efeito da forma no balanço energético dos edifícios, fazendo uma compilação de toda a informação focada nos pontos essenciais. Irão também ser analisadas e avaliadas as diferentes definições existentes do fator de forma e a sua adequação ao contexto do trabalho. A autora considera que é de grande relevância o tratamento e organização desta informação, dada a pertinência do tema face à crise que a humanidade atravessa.

Numa segunda parte, de teor mais prático, serão desenvolvidos ensaios geométricos e numéricos, divididos em quatro fases de análise visando quantificar as variações das necessidades energéticas em função de variações de volumetria. O objetivo desta fase é então delinear um método de análise que permita aferir os diferentes cenários de necessidades energéticas, em função de variações do fator de forma. Inicialmente, começar-se-á por definir e modelar uma série de tipologias diversas para serem avaliadas neste estudo. Para isso, será usado como ferramenta de modelação 3D o software *Sketchup* e o plugin *DesignPH*. Serão usadas também folhas de cálculo e a ferramenta PHPP (*Passive House Planning Package*) para quantificar e representar respetivamente as variações de volumetria e as necessidades energéticas. As correspondentes ferramentas de modelação e cálculo *DesignPH* e *PHPP*, foram desenvolvidas pelo PHI (*Passive House Institute*) e são fundamentais para o desenho de um edifício com desempenho *Passive House*.

2.A Energia e os Edifícios

2.1. Panorama Energético Mundial

2.1.1. Evolução do consumo de energia por fonte

A produção de energia a nível mundial tem mantido uma tendência de crescimento contínuo ao longo das últimas décadas. Nos últimos 40 anos o valor global mais do que duplicou, passando de 301 435 PJ (Peta Joules) em 1979, para quase 606 500 PJ em 2019. Dados do *World Bank* para o mesmo período, mostram um aumento de população mundial de 4357 mil milhões de habitantes em 1979 para 7763 mil milhões de habitantes em 2019 (United Nations, 2019). Este revela-se um crescimento ligeiramente inferior (1,7x) ao aumento da produção de energia (2,1x).

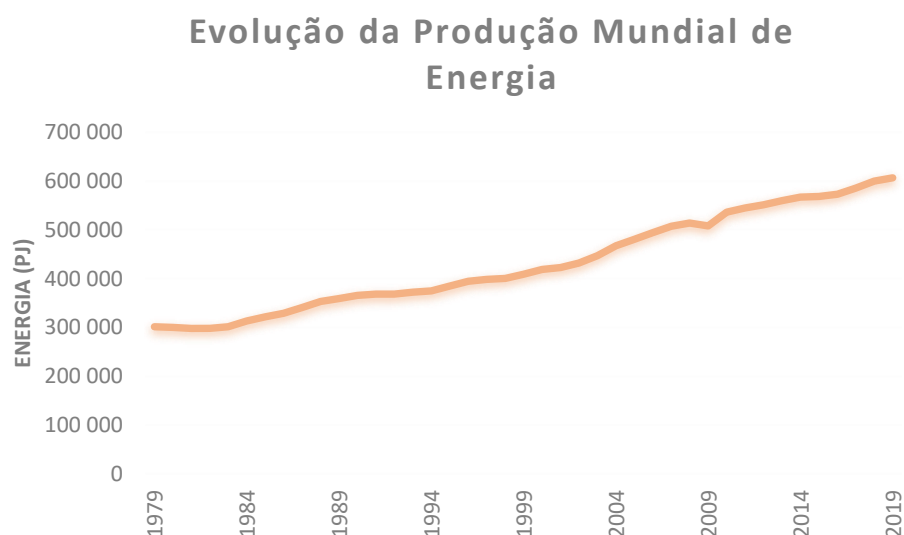


Figura 1: Evolução da produção mundial de energia (Fonte: figura de autor, a partir de dados da IEA)

De acordo com o relatório “*Global Energy Review 2021*” da Agência Internacional de Energia (IEA) em consequência do impacto da pandemia COVID-19, a produção mundial de energia teve, em 2020, uma redução de cerca de 4% (IEA, 2021). No entanto, de acordo com o mesmo relatório, as previsões apontavam para que com a retoma da atividade económica decorrente do progressivo levantamento das restrições associadas à pandemia e das políticas de recuperação económica, os níveis de consumo energético no final de 2021 já devessem superar os níveis pré-pandémicos em 0,6%, retomando assim a tendência de crescimento.

O crescimento populacional e económico projetado para as próximas décadas irá manter esta trajetória de incremento do consumo energético a nível mundial, prevendo-se que o valor de consumo possa crescer para 770 000 PJ em 2050, um aumento de cerca de 30% face aos valores de 2019 (Paltsev et al., 2021). Este cenário coloca enormes desafios uma vez que a produção energética mundial continua fortemente assente em fontes não renováveis, cujos recursos são finitos. Com efeito, com base nos dados publicados pela IEA, em 2019 apenas 14% da energia produzida teve como origem fontes renováveis (IEA, 2021). Para além das questões económicas e de segurança do abastecimento associados a este padrão de produção, acresce que quase 80% da produção de energia tem como origem combustíveis fósseis, o que tem como consequência adicional enormes impactos ao nível ambiental.

Produção Mundial de Energia

Peso relativo por fonte - 2019

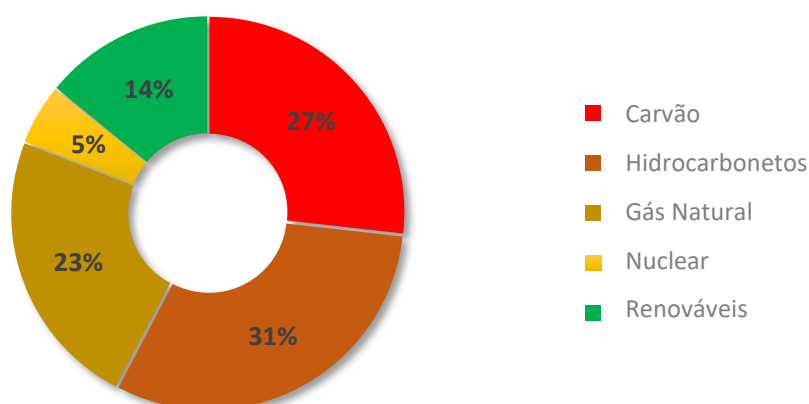


Figura 2: Produção mundial de energia, peso relativo por fonte. 2019 (Fonte: figura de autor, a partir de dados da IEA)

2.1.2. Evolução do consumo de energia por setor

Analisando a evolução do consumo energético numa perspetiva do setor a que pertencem os consumidores finais de energia obtemos, naturalmente, um padrão muito semelhante ao da produção, verificando-se a mesma trajetória de crescimento contínuo ao longo das últimas décadas.

Relativamente ao setor dos edifícios (residenciais, comerciais e de serviços), mantendo a tendência crescente, registou-se um aumento de consumo de 77% entre 1979 e 2019, sendo este setor responsável por cerca de 30% dos consumos de energia em 2019 a nível mundial (IEA, 2021).

Consumo Mundial de Energia Final

Por setor - 2019

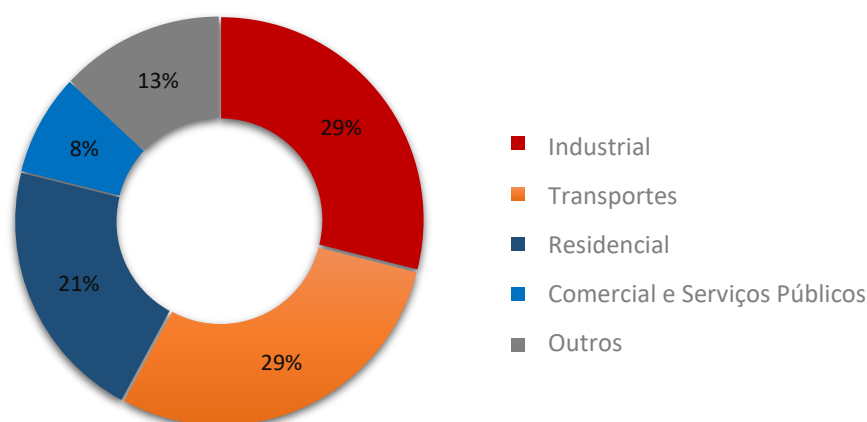


Figura 3: Consumo mundial de energia final, por setor. 2019 (Fonte: figura de autor, a partir de dados da IEA)

A nível europeu a realidade é um pouco distinta, já que o consumo de energia atribuído ao setor dos edifícios tem uma relevância superior: segundo o documento *Factsheet - Energy Performance of Buildings*, publicado pela Comissão Europeia em dezembro de 2021, na UE os edifícios são responsáveis por 40% do consumo de energia final, bem como 36% da emissão de GEE (Gases com Efeito de Estufa) (Comissão Europeia, 2021).

2.1.3. Consumo de eletricidade

Da mesma forma que o consumo total de energia, também o consumo de eletricidade apresenta uma forte tendência contínua de crescimento, sendo que no setor dos edifícios esse crescimento foi ainda mais acentuado, fixando-se em cerca de 144% ao longo do mesmo período (IEA, 2021).

Já em 2019, os edifícios representaram 52% do consumo total de eletricidade a nível mundial (IEA, 2021).

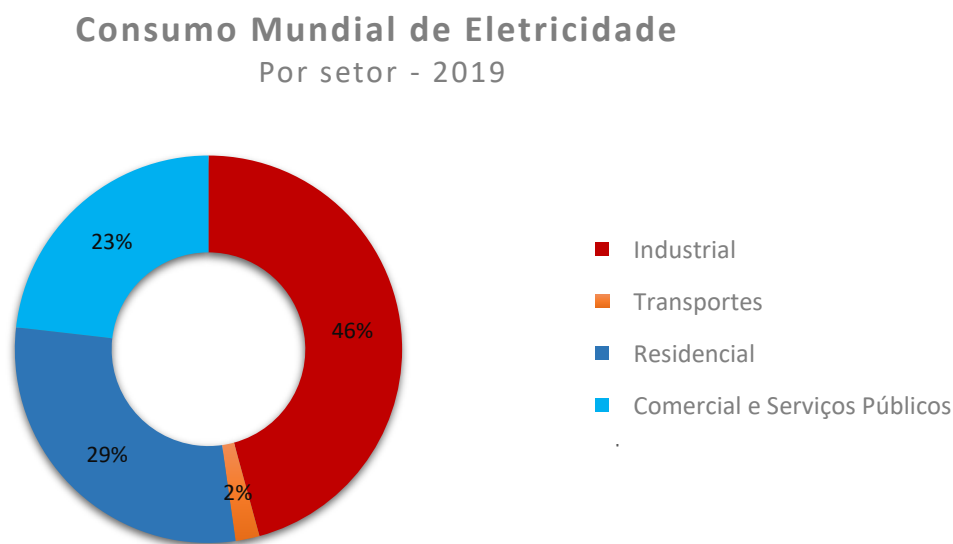


Figura 4: Consumo mundial de eletricidade, por setor. 2019 (Fonte: figura de autor, a partir de dados da IEA)

2.1.4. Emissões de CO₂

Estando a produção de energia ainda assente essencialmente nos combustíveis fósseis a evolução do seu consumo tem impactos ambientais bastante adversos, nomeadamente ao nível de emissão de dióxido de carbono (CO₂), o principal responsável (cerca de 60%) pelos GEE (IEA, 2021).

Nos últimos 30 anos as emissões de CO₂ derivadas da queima de combustíveis fósseis cresceram quase 64% (IEA, 2021).

Numa análise por setor, verifica-se que à data de 2019 a geração de eletricidade e calor é o principal responsável pelas emissões de CO₂ para a atmosfera, representando cerca de 42% do total emitido (IEA, 2021).

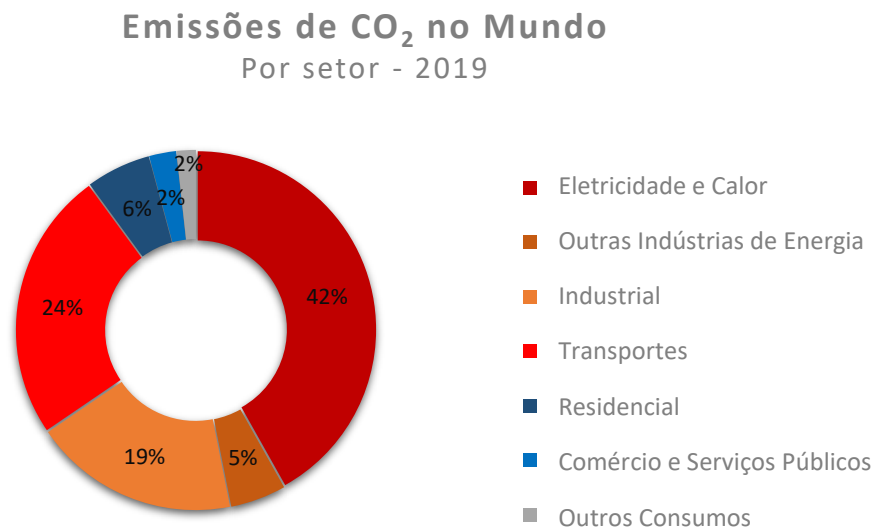


Figura 5: Emissões de CO₂ no Mundo, por setor. 2019 (Fonte: figura de autor, a partir de dados da IEA)

O setor dos edifícios acaba por ter uma pegada de carbono muito grande quando contabilizadas as emissões indiretas de CO₂. Para além dos 9% das emissões globais de CO₂ relacionadas com a energia resultam diretamente do setor dos edifícios, 10% estão relacionados com o fabrico de materiais de construção, e outros 18% das emissões de CO₂ provêm da produção de eletricidade e calor que são utilizados nos edifícios. (International Energy Agency, 2021)

Se for, então, tido em conta todo o ciclo de vida de um edifício, observamos que estes, direta e indiretamente, são responsáveis por cerca 37% das emissões globais de CO₂.

O esperado retorno à tendência de emissão de CO₂ em 2021 está a ser moderado pela contínua descarbonização do setor energético, no entanto

os edifícios ainda não estão em linha para atingir a neutralidade carbónica até 2050. Para que esta meta seja cumprida, todos os novos edifícios, assim como 20% do parque edificado a nível mundial, teriam que ser ‘zero-carbon-ready’ a partir de 2030, de acordo com o relatório *Tracking Buildings 2021 - Analysis* da Agência Internacional de Energia (International Energy Agency (IEA), 2021).

2.2. Panorama Energético em Portugal

2.2.1. Evolução da produção e do consumo de energia

A evolução da produção e do consumo de energia em Portugal é um pouco distinta do verificado a nível mundial com um crescimento acentuado da produção de energia até ao início do século, atingindo um pico em 2005, seguindo-se um período de algum decréscimo até 2012. Apesar de alguma recuperação até 2017 não se voltaram a atingir os níveis de 2005, tendo-se mantido relativamente estável até 2019.

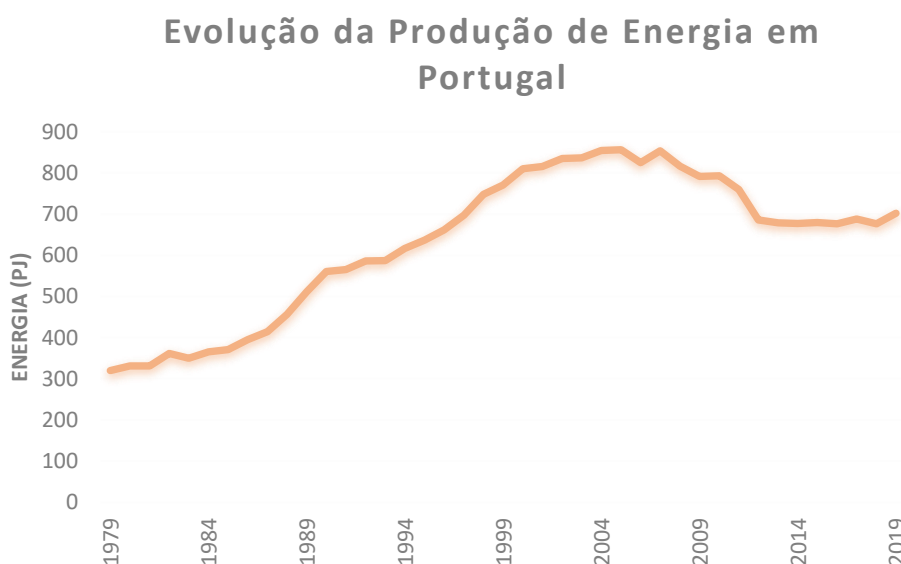


Figura 6: Evolução da produção de energia em Portugal, 1979-2019. (Fonte: figura de autor, a partir de dados da IEA)

Também em termos das fontes utilizadas na produção há significativos desvios face ao panorama mundial, com o carvão a ter um peso muito menor e com uma tendência de extinção como fonte energética no contexto nacional e a ausência de recurso ao nuclear.

Em Portugal, as energias renováveis assumem uma relevância muito superior ao que se verifica a nível mundial, sendo em 2019 a 2ª fonte energética mais importante, com um peso de 26%, muito acima dos 14% verificados no balanço mundial.

Produção de Energia em Portugal

Peso relativo por fonte - 2019

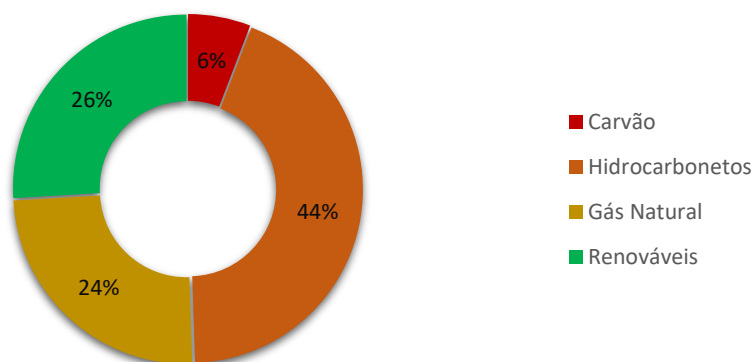


Figura 7: Produção de energia em Portugal, peso relativo por fonte. 2019 (Fonte: figura de autor, a partir de dados da IEA)

Já o setor dos edifícios representa 27% do consumo energético global, um valor substancialmente inferior aos 40% verificados a nível europeu (IEA, 2021).

Consumo de energia em Portugal Por setor - 2019

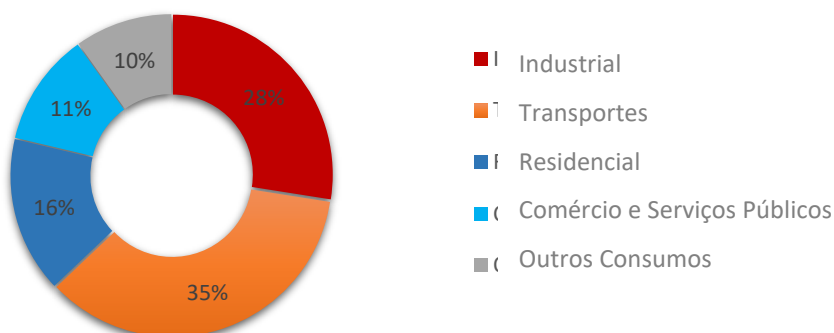


Figura 8: Consumo de energia em Portugal, por setor. 2019 (Fonte: figura de autor, a partir de dados da IEA)

2.2.2. Emissões de CO₂

Contrariando novamente a tendência mundial, as emissões de CO₂ em Portugal estão em queda desde 2005, tendo atingido em 2019 um valor ligeiramente inferior a 40 MT, o que representa o regresso aos níveis de emissões que se verificavam em 1990. Este representa também o ano em que surgiram os primeiros requisitos térmicos em Portugal, com o Decreto-Lei nº 40/90 de 6 de fevereiro que originou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE, 1990).

Emissões de CO₂ em Portugal Por setor - 2019

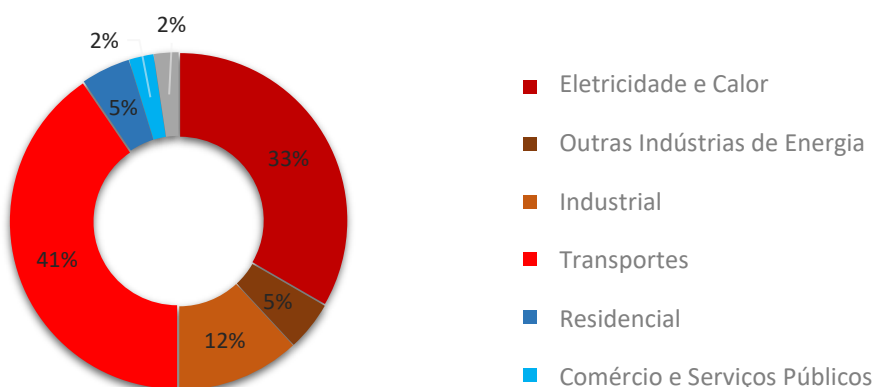


Figura 9: Emissões de CO₂ em Portugal, por setor. 2019 (Fonte: figura de autor, a partir de dados da IEA)

Tal decorre da redução do consumo de energia, complementada pela forte aposta que tem sido realizada em termos de transição para fontes renováveis.

De acordo com os dados disponíveis o sector dos transportes e da produção de eletricidade são historicamente os principais responsáveis por grande parte das emissões de CO₂ para a atmosfera, representando conjuntamente cerca de 74% do total de CO₂ emitido em 2019(IEA, 2021).

2.2.3. Consumo de eletricidade

Na última década o consumo de energia elétrica em Portugal tem-se mantido relativamente estável, com grande destaque para o setor dos edifícios, que representa quase 2/3 do consumo total de eletricidade (IEA, 2021).

Consumo de Eletricidade em Portugal
Por setor - 2019

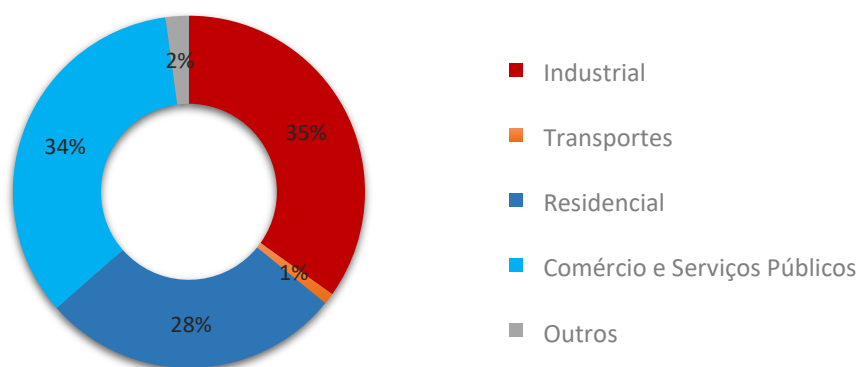


Figura 10: Consumo de eletricidade em Portugal, por setor. 2019 (Fonte: figura de autor, a partir de dados da IEA)

Dados mais recentes do Balanço energético Nacional de 2020 (DGEG, 2020), mostram que nesse ano o setor doméstico em particular, registou uma subida do consumo de energia de cerca de 4% relativamente a 2019. Esta subida é justificada pelo período de Pandemia, e reforça ainda mais a necessidade de que os edifícios sejam capazes de dar resposta em termos

de consumo de energia, mas também em termos de conforto, visto que cada vez mais as pessoas passam mais tempo em casa.

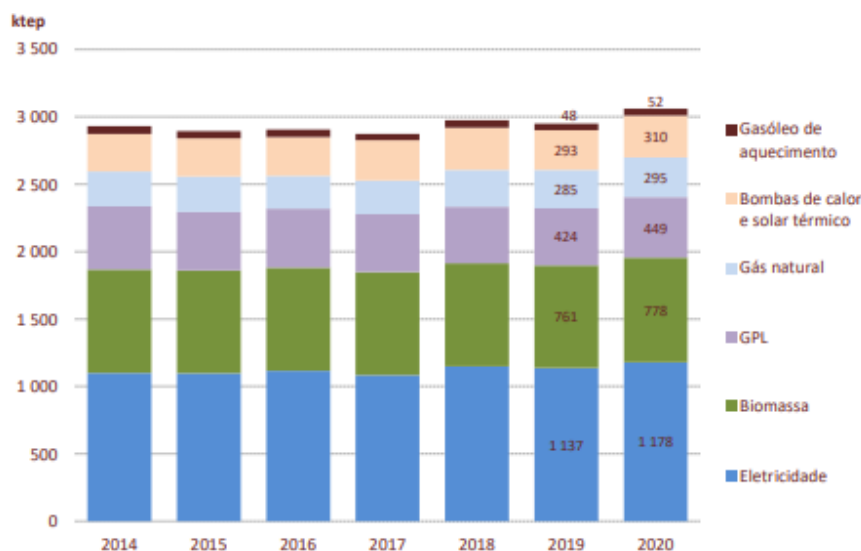


Figura 11: Consumo de eletricidade no setor doméstico, por fonte. 2020 (Fonte: DGEG)

2.2.4. Evolução da geração de eletricidade

“Em 2020 o peso da produção de eletricidade a partir de fontes renováveis representou 58% do total da produção bruta mais saldo importador” (DGEG, 2021).

Este reforço das fontes renováveis tem sido obtido sobretudo devido à expansão da produção eólica que já representa uma parcela idêntica à produção de origem hídrica.

Esta é uma realidade que tende a ser bastante reforçada, assente na entrada em produção das novas centrais hídricas em construção e na forte expansão da produção solar, a par do abandono definitivo das centrais a carvão (IEA, 2021).

Portugal encontra-se já num bom caminho da transição energética. No entanto, é preciso ir mais além para melhorar a qualidade de vida da população. Apesar do elevado consumo de energia do setor dos edifícios, a realidade da pobreza energética ainda está muito presente em Portugal. Dados divulgados pelo *Eurostat* em 2020 revelam que cerca de 20% da população

portuguesa não tem capacidade para manter a sua casa aquecida, estando Portugal bem abaixo da média da EU que ronda os 7% (Comissão Europeia, 2020).

Já em 2021, a *Adene* revela que cerca de 65% das habitações avaliadas em Portugal obtiveram uma classificação energética entre C e F, as classes menos eficientes (Adene, 2021).

Estes indicadores revelam o estado precário em que vive grande parte da população portuguesa no que toca ao conforto das habitações. O desafio para o setor da construção é assim reforçado pela necessidade de construir edifícios que não sejam tão dependentes de fontes de energia e que, ao mesmo tempo, tenham melhores condições de conforto para os seus habitantes.

“Eficiente – *Que obtém resultados ou tem o funcionamento esperado com uma maior economia de recursos e/ou tempo* (Editora, 2022).

Consciente – *Que sabe o que faz* (Editora, 2022).”

3. Por um Design Consciente

3.1. Enquadramento Histórico

Como vimos anteriormente, em todo o mundo e nomeadamente em Portugal, o peso que o setor dos edifícios tem nos consumos de energia e nas emissões de CO₂, aliado à falta de conforto térmico, torna a questão do desempenho dos edifícios ainda mais relevante. O caminho para a sustentabilidade deve ser, por isso, um objetivo essencial e fulcral da arquitetura nos dias de hoje.

Convém, no entanto, relembrar que estes princípios da sustentabilidade em arquitetura não são fruto das necessidades dos dias de hoje. Viajando até aos primórdios da arquitetura vernacular, desde que o Homem teve necessidade de se abrigar, que usava métodos simples e passivos para construir o seu refúgio, usando os materiais disponíveis no local (Fernandes & Mateus, 2012).

À arquitetura vernacular está associada uma variação das formas arquitetónicas relacionada com a necessidade de adaptação ao lugar, de modo a que pudesse proporcionar as melhores condições de habitabilidade à população, enquanto respondia a condicionantes climáticas, geográficas e económicas (Fernandes & Mateus, 2012). No entanto, a época de globalização fortemente marcada pela procura de uma arquitetura universal, quebrou esta linha evolutiva da arquitetura vernacular. Passou a basear-se em materiais industriais desligados do seu meio, e desprendeuse de técnicas construtivas tradicionais, o que resultou em décadas de edifícios muito dependentes de energia para que pudessem ser garantidos requisitos mínimos de conforto.

“In Portugal, (...) the climate-responsive strategies found in vernacular architecture reveal a close relation with the local climate. (...) The simplicity of pragmatism of strategies and materials have significant potential to be improved and adapted to contemporary construction.”
(Fernandes, 2020, p. 188)

No contexto ambiental e económico atual, em que são necessários edifícios mais eficientes e capazes de cumprirem requisitos de conforto, é tempo de reagir. É tempo de adaptar à contemporaneidade princípios de racionalização de recursos e de energia intrínsecos ao lugar. É tempo de focar em decisões de projeto sobre a geometria da forma e as estratégias bioclimáticas adotadas que, em tempos de menor desenvolvimento tecnológico, permitiam um maior aproveitamento da energia passiva disponível, e perceber o seu potencial de evolução e inovação no desenho de um futuro melhor.

3.2. Projetar com o Clima

“En la historia de la ciudad y de la arquitectura son numerosos los ejemplos en los que una cause física há dado origen a formas y a interpretaciones sociales, culturales y políticas”. (García-Germán, 2010, p.202)

O clima é um fator determinante para a decisão do tipo de estratégia a adotar para cada projeto. Segundo *Javier García-Germán*, (2010), do ponto de vista arquitetónico, a forma do habitat é, antes de mais, uma resposta ao clima.

Na sua génese, a arquitetura cumpre o seu propósito quando melhora as condições de vida dos que a ocupam adaptando-se às condições geográficas e climáticas de cada lugar. O equilíbrio com o meio envolvente está intrinsecamente ligado ao bem-estar individual e a arquitetura ao projetar com o clima representa a oportunidade de estabelecer esse equilíbrio.

“En la historia de la naturaleza existe una ley universal por la cual sólo sobreviven las especies que se encuentran en armonía con su entorno, en equilibrio con los materiales que las rodean y adaptadas a todas aquellas fuerzas, internas o externas, a las que se encuentran expuestas.” (Olgyay, 1998, p.84)

De modo a alcançar esta harmonia com o meio envolvente como refere Victor Olgyay, (Olgyay, 1998), há que ter em conta alguns princípios base para melhor projetar um edifício de uma perspetiva bioclimática (Gonçalves & Graça, 2004):

- **Localização:** tirar o melhor partido da radiação solar ao posicionar o edifício num sítio que consiga maior exposição a sul e que, a norte, esteja protegido da ação dos ventos;
- **Orientação dos envidraçados:** uma fachada envidraçada a **sul** receberá mais radiação solar tanto no inverno como no verão. No verão (quando os ganhos solares são indesejados) esta é também a fachada mais fácil de sombrear uma vez que os raios solares são verticais. As fachadas envidraçadas a **este e a oeste** devem ser dimensionadas cuidadosamente, uma vez que recebem pouca radiação no inverno (quando os ganhos solares são desejados) e muita radiação no verão. Estas fachadas já são mais difíceis de sombrear devido à inclinação dos raios solares, que nesta altura são quase perpendiculares a fachada. Por fim, as fachadas a **norte** são sempre as mais frias, uma vez que quase não recebem radiação direta quer no inverno quer no verão, sendo a abertura da envidraçados desencorajada. (Figura 12)
- **Qualidade da envolvente térmica:** a envolvente térmica de um edifício é por onde se dão as trocas de calor com o exterior, sejam as perdas de calor pela envolvente opaca, ou os ganhos pela envolvente transparente. De modo a minimizar estes efeitos propõe-se o aumento da resistência térmica destes elementos. Na envolvente opaca através de materiais isolantes, e na envolvente envidraçada através de caixilharias e vidros com um bom desempenho térmico.

Refletindo sobre as implicações de cada um, depreende-se que é através da forma arquitetónica que é possível dar resposta a estes princípios, sendo que a exigência de melhor qualidade da envolvente térmica é tanto menor, quanto maior for a eficiência da forma.

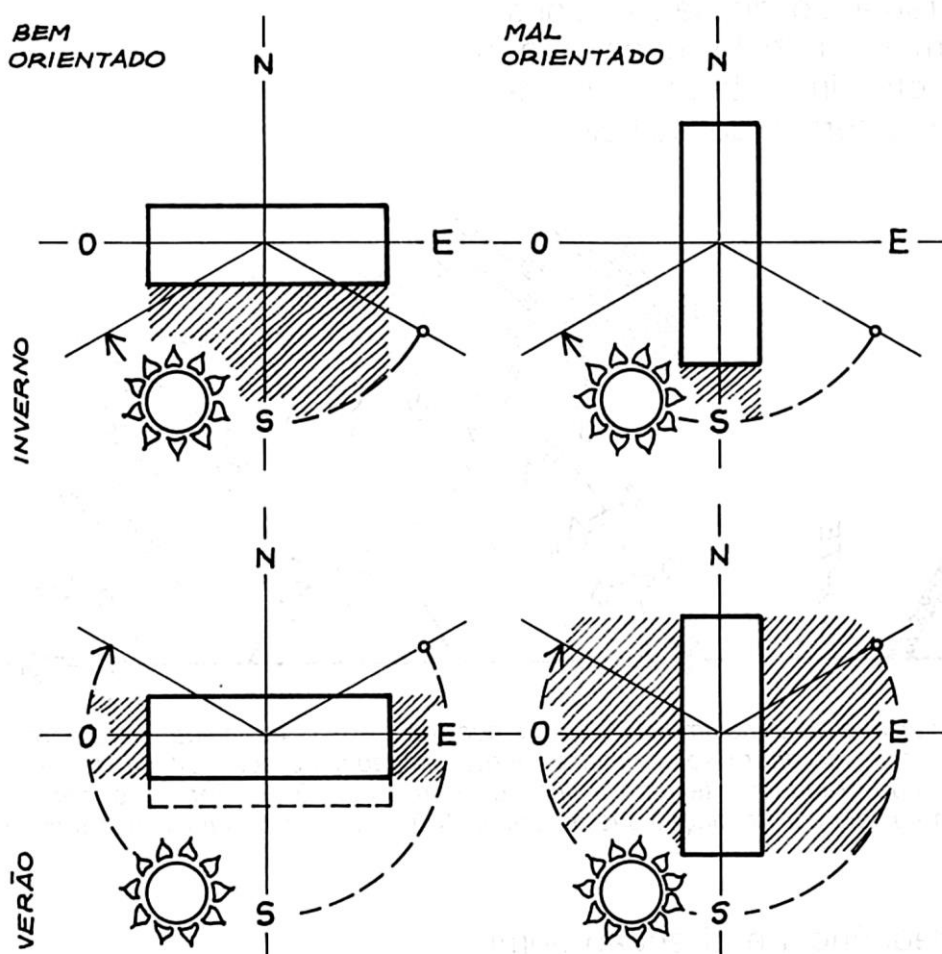


Figura 12: Representação esquemática da orientação de um edifício em função da radiação solar. (Fonte: Moita, 2010)

Existem já vários textos e manuais que explicam (e dão exemplos de edifícios), com uma simplicidade plena, estes princípios básicos de adaptação da forma ao clima:

- *The Passive Solar Energy Book* (Mazria, 1979);
- *Arquitetura y Clima* (Olgyay, 1998);
- *Energia Solar Passiva* (Moita, 2010);
- *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal* (Gonçalves & Graça, 2004);
- *Edifícios Solares Passivos em Portugal* (INETI, 1997);
- *The Solar House* (Denzler, 2013);

Normalmente os edifícios que não são projetados tendo por base estas estratégias bioclimáticas são aqueles que necessitam de mais *inputs* de energia para aquecer e arrefecer o espaço.

Posto isto, entende-se que a forma ótima de um edifício é aquela que perde a quantidade mínima de calor no Inverno e ganha a quantidade mínima de calor no verão. Foi à procura do critério da forma ótima que Victor Olgyay, (Olgyay, 1998) no seu livro “*Arquitectura y Clima*”, estudou o efeito do Sol e da temperatura do ar em várias formas convencionais de edifícios para diferentes climas, tendo chegado a várias conclusões:

- A casa de planta quadrada não é a forma ótima em nenhuma localização;
- Todas as formas alongadas segundo o eixo norte-sul funcionam, tanto no inverno como no verão, com menos eficiência do que a forma quadrada;
- Para todos os climas, a forma ótima assenta numa forma alongada algures entre o eixo este-oeste. De acordo com o esquema (Figura 12), podemos concluir que no inverno a face sul recebe 3 vezes mais radiação, enquanto que no verão a face este, oeste e o telhado recebem a maior parte da radiação. Assim, interessa que estes sejam os lados mais pequenos, uma vez que a radiação incidente não nos interessa na estação aquecimento, sendo até prejudicial ao desempenho do edifício;
- Em todas as situações estudadas o lado norte recebe sempre a mínima radiação, e a dimensão do lado alongado depende das zonas climáticas;
- As casas em linha ou em banda são mais eficientes quando alinhadas pelo eixo este-oeste, porque no verão apenas as casas das pontas recebem a maior radiação nas suas superfícies;
- Depois de decidir que o edifício será alongado, o próximo passo é determinar a sua profundidade para garantir que o edifício fica com uma forma coesa e tira o melhor partido da luz solar no interior dos espaços.

Desta análise é importante frisar que a forma ótima se adapta a cada clima, variando consoante o mesmo. As formas construídas devem comunicar fluidamente com o ambiente que as envolve e tentar fundir-se com ele, mantendo sempre em equilíbrio a vida no seu interior. O seu aspeto final, apesar de parecer simples, advém de uma complexa correlação de fatores e leis fundamentais (Olgyay, 1998).

3.3. O Projeto na Base da Pirâmide

“A arquitetura do espaço externo parece ter interessado aos arquitectos da vanguarda à custa da arquitectura dos interiores. Como se a casa fosse concebida para o prazer dos olhos, em vez do bem estar dos seus moradores.” (Eileen Gray citado em Pallasmaa, Juhani. Os Olhos da Pele: A Arquitetura e os Sentidos. 2011, p. 59)

Quando projetamos estamos a criar espaços onde as pessoas se sintam bem. Devemos, para isso, integrar no projeto as preocupações com o conforto no ambiente construído, sem nunca esquecer que estas não são apenas térmicas ou acústicas, mas também multissensoriais. Os cinco sentidos estão presentes quando pensamos o espaço.

Para isso, é fundamental reconhecer que as principais decisões da arquitetura estão a montante: a definição da forma, o modo como se orienta, como são desenhados os vãos, como se dispõem os espaços dentro dos volumes, etc. Estas são as grandes decisões que permitem à arquitetura resolver grande parte dos problemas de desempenho dos edifícios, e ao mesmo tempo proporcionar espaços de qualidade, fazendo com que estes consigam o melhor aproveitamento da energia gratuita que o sol põe ao nosso dispor.

“Clearly, few of last century’s residential and commercial buildings that we inhabit (..), could have looked as they do without substantial inputs of energy to build and make them habitable. Energy has done more than influence architectural style; it has created style. Can this be turned around so that the way a building looks can tell us how energy efficient it could be?” (Braham & Willis, 2013, p. 106)

A maior parte da energia consumida pelos edifícios tem a função de aquecer ou arrefecer os espaços. O esquema das pirâmides (Figura 13) de Stefan Behling questiona o sistema aditivo atual como suporte da sustentabilidade, em que os sistemas ativos de energia são a base para suprir as necessidades de conforto.

O futuro deve reinstalar no projeto de arquitetura a capacidade para dar resposta, através de sistemas passivos, às necessidades básicas de conforto de um edifício, sendo por fim complementadas com um pequeno input de climatização. Para tal, é útil analisar a pirâmide do passado e reinventar a tradição de acordo com os novos tempos e as tecnologias disponíveis (Willis et al., 2017).

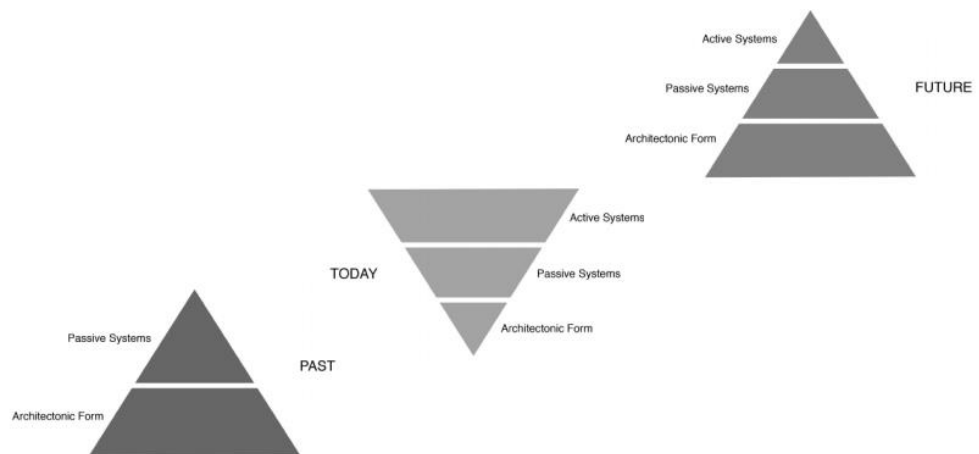


Figura 13: Esquema das pirâmides: Passado, Presente; Futuro. (Fonte: Stefan Behling, 2017)

“Building form, spatial organization, and the internal and external properties of the building envelope are the means by which architectural design can meet or moderate occupant energy demands. Collectively these represent a vast of combinatorial of historical precedents and potential future designs” (Braham & Willis, 2013, p.114)

A arquitetura tem aqui a possibilidade de incorporar o projeto em estratégias de passivas (que têm um reduzido índice tecnológico e são pouco dependentes de combustíveis fósseis) nunca limitando a sua capacidade experimentalista, tirando *“mais partido do desenho do próprio edifício do que dos sistemas que o equipam.”* (Vale, 2019)

“Compactar – Reduzir as dimensões, a extensão ou o volume; reduzir os espaços vazios; reduzir de maneira a que ocupe menos espaço físico, sem que se perca informação (Editora, 2022).

Compacidade – Qualidade ou estado do que é compacto; densidade (Editora, 2022).”

4.O Fator de Forma

4.1. O Fator de Forma

“A forma de um edifício é um factor com uma grande influência nas suas perdas térmicas, independentemente de um bom posicionamento no terreno ou de uma alta resistência à transmissão térmica total(1/k). Quanto mais compacta for a forma de um edifício, com poucas saliências e reentrâncias, e uma reduzida superfície exterior, tanto mais reduzidas são as perdas de calor e melhor será o seu balanço térmico global.” (Moita, 2010, p.72-73)

A forma expressa, mais do que em planta, as propriedades tridimensionais de um edifício e, tem independentemente da sua localização ou das suas características térmicas das superfícies, uma relação direta com as perdas de energia pela envolvente.

É pertinente perceber que a envolvente térmica de um edifício representa a área de superfície por onde o calor se pode ganhar ou perder. Por isso, não só é conveniente que esta atinja um bom desempenho energético (através de envolvente opaca e transparente de qualidade), mas também que tenha uma área de superfície proporcionalmente eficiente em relação ao tamanho do edifício (Thorpe, 2017).

Entendido tradicionalmente como o rácio entre a área de superfície da envolvente térmica (A_e) em contacto com o exterior e o respetivo volume (V), o **fator de forma** (FF) é obtido quantificando os m^2 de superfície exterior, que representam o potencial de trocas de calor com o exterior, dividindo-os pelo volume interior, que representa o potencial de energia armazenada.

No esquema representado na Figura 14 é exemplificado como a cada tipologia corresponde um fator de forma diferente (FF_1). Neste método (1) são consideradas, para cada tipologia, as superfícies da envolvente em contacto com o ar exterior (para a A_{e1}) e o respetivo volume da envolvente térmica (V). (Moita, 2010)

$$FF_1 = A_{e1} / V \quad (1)$$

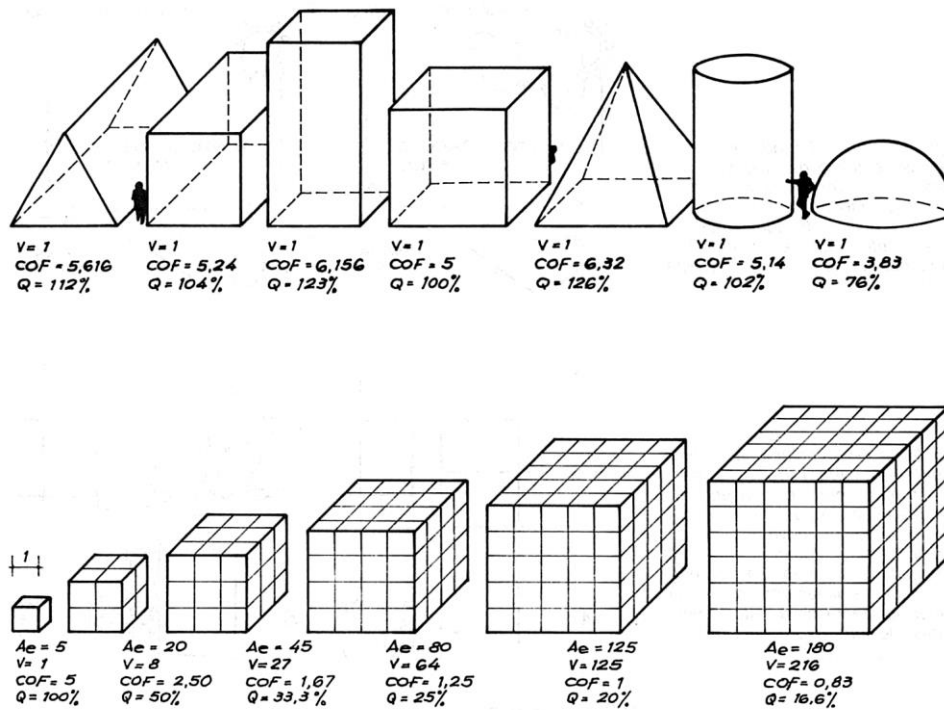


Figura 14: Representação esquemática do fator de forma (Fonte: Moita,2010)

No âmbito da Passive House, foi também definido um ‘*Heat loss form factor*’ – denominado daqui em diante **fator de forma PH** - que considera o rácio entre a área da superfície exterior e a área útil aquecida (TFA).

$$FF_{PH} = Ae_2 / Au \quad (2)$$

Neste caso já são consideradas, para além das restantes superfícies, todas as superfícies em contacto com o solo, sendo aplicado o respetivo fator de redução de temperatura no cálculo das necessidades energéticas, considerando as temperaturas médias do solo para cada clima.

Da análise dos resultados apresentados na Figura 14 obtidos por (Moita, 2010), para um volume unitário de diversas formas, conclui-se que a forma mais eficiente em termos de rácio área/volume é a esfera, não sendo, no contexto do habitar, a situação mais viável. No entanto, como melhor exemplo do que é considerada a forma habitável mais eficiente, surgem os iglus que, possuindo a relação ideal entre o volume e a área de envolvente através da sua forma catenoide, conseguem atingir temperaturas interiores que rondam os 20°C quando no exterior se registam temperaturas muito negativas. (Figura 15)

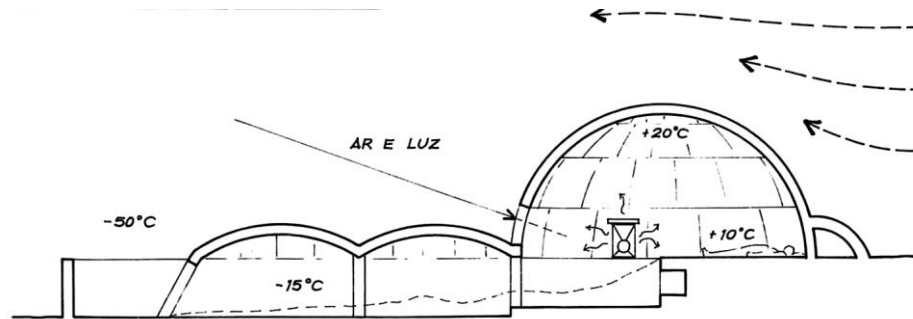


Figura 15: Corte esquemático do funcionamento de um iglu. (Fonte: Moita, 2010)

“Buildings lose heat like bodies” – Elrond Burrell

O conhecimento do comportamento fisiológico e neuronal do corpo humano como uma entidade termodinâmica, permite-nos conceber a arquitetura como uma expansão do corpo que regula as trocas de calor com o ambiente exterior. (Willis et al., 2017, p.118)

Para tentar dar um melhor entendimento sobre este conceito, Elrond Burrell comparou, num dos seus artigos, os edifícios ao corpo humano. “Os edifícios perdem calor como os nossos corpos”, referiu Elrond no início da sua analogia. Afinal, o calor navega através da envolvente térmica de um edifício assim como navega através da nossa pele. O objetivo da envolvente é atrasar ao máximo a transferência de calor com o exterior. Quando temos frio, abraçamos o nosso corpo instantaneamente reduzindo a superfície de contato com o exterior, e rapidamente temos uma sensação mais quente.

O mesmo se passa com os edifícios, se estes tiverem membros salientes, é mais difícil (e mais caro) serem energeticamente eficientes. Mesmo se for uma forma aparentemente simples, mas que contenha muitas reentrâncias e saliências na sua envolvente térmica, as áreas de superfície rapidamente se acumulam - aumentando o fator de forma e, por sua vez, as necessidades de energia do edifício. (Burrell, 2015)

Posto isto, podemos retirar duas conclusões fundamentais:

- menor fator de forma → edifício mais compacto → menos perdas de energia pela envolvente
- maior fator de forma → edifício menos compacto → mais perdas de energia pela envolvente

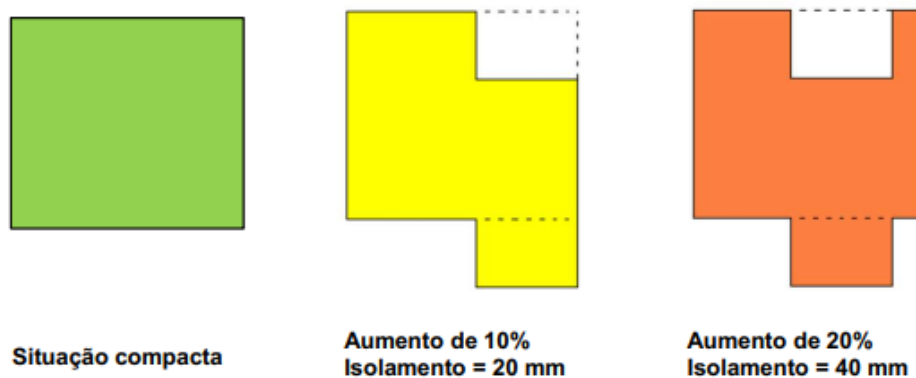


Figura 16: Influência de um maior perímetro de construção para a mesma área, a altura constante, mantendo os requisitos de conforto. (Fonte: APHPT)

A compacidade apresenta-se como o inverso do fator de forma, e é definida pela relação:

$$V / Ae$$

que representa o rácio entre o volume da envolvente térmica e a área da superfície envolvente. Quanto mais compacto for um edifício, menor será o seu fator de forma. Este fator apresenta-se, assim, como uma medida muito útil da compacidade de um edifício, sendo do maior interesse dos arquitetos entender como podem aplicá-lo nas decisões de projeto.

Num estudo sobre a relação entre o fator de forma (e a compacidade) e o balanço energético dos edifícios no clima do sudoeste da Europa, Schneiders concluiu que quando a compacidade de um edifício é conseguida, o custo de investimento é reduzido em duplicado (Schneiders, 2009):

- a primeira redução: uma vez que a área da envolvente exterior é reduzida, é reduzida também a quantidade de material (relativamente caro) a ser utilizado na envolvente do edifício;
- a segunda: devido à redução da área de transferência de calor com o exterior, o mesmo volume de ar interior consegue ser aquecido com um coeficiente de transmissão térmica superior.

Um design mais compacto é, normalmente, mais favorável ao bom desempenho energético do edifício. É possível verificar na Figura 17, a relação entre o fator de forma e o desempenho energético de várias classes de edifícios: Passive House, Low Energy House, e o padrão construtivo alemão de 1995. Ainda que em patamares de energia diferentes, todos eles apresentam uma tendência crescente de necessidades de energia, à medida que a relação área/volume aumenta.

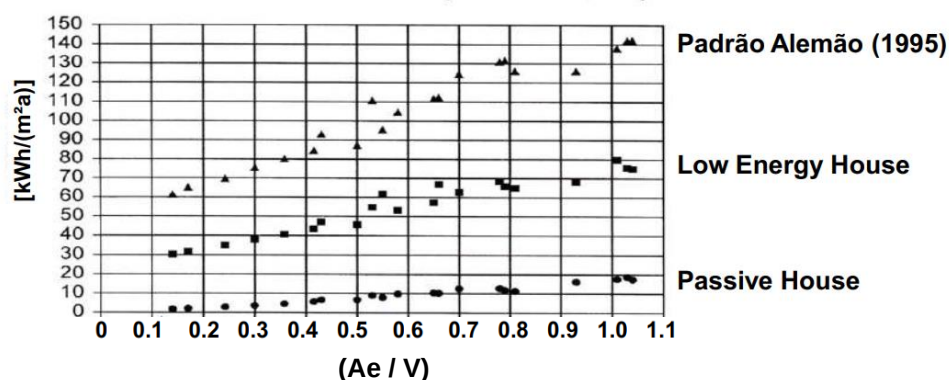


Figura 17: Relação entre compactidade e o desempenho de várias classes energéticas de edifícios. (Fonte: Schneiders, 2009)

No entanto, é importante não descuidar os restantes parâmetros que condicionam o bem-estar e o conforto dos seus habitantes, como o acesso à luz solar ou as relações visuais que o edifício mantém com o exterior.

O fator de forma não deve, por isso, ser entendido apenas como uma relação matemática estanque, mas sim como uma relação tridimensional entre a 'capa' de um edifício e o volume de ar contido no seu interior, que deve coexistir com as restantes condicionantes de um projeto.

4.2. Fator de Forma como Estratégia Bioclimática

Considerando que estão a ser cumpridos todos os princípios para o aproveitamento passivo da energia solar, será seguro e correto afirmar que um edifício com um fator de forma menor é, por isso, um edifício mais eficiente?

Sim, se estivermos a falar de climas predominantemente frios, onde as necessidades de aquecimento são predominantes, e uma forma mais compacta é favorável. No entanto, é importante perceber que o conceito do fator de forma, assim como a arquitetura, tem que ser adaptado a cada clima.

No caso dos climas predominantemente quentes é favorável um edifício com um fator de forma maior, pois potencia a dispersão do calor. Neste caso, uma forma menos compacta é mais eficiente (Moita, 2010).

É preciso ter em conta que as estratégias bioclimáticas, descritas anteriormente, estão pensadas para os climas com invernos frios, como é o caso de Portugal, onde a prioridade é a retenção do calor dentro dos edifícios, como resposta às baixas temperaturas.

No caso dos climas predominantemente quentes, a situação é oposta. Nestas zonas climáticas, a prioridade é a de dissipar o calor dos edifícios de forma que estes se mantenham frescos, uma vez que as temperaturas exteriores são muito elevadas. Neste cenário, o fator de forma deve ser pensado também de maneira inversa. Como o objetivo é dissipar o calor, o fator de forma deve ser utilizado de maneira a promover as perdas de calor pela envolvente, ou seja, é mais vantajoso ter um edifício pouco compacto e poroso – com um fator de forma mais elevado – que proporcione mais trocas de calor com o exterior.

É muito importante perceber a utilização do fator de forma como ferramenta de design, adaptando-o às estratégias que se adequam às diferentes zonas climáticas, de modo a tirar o melhor partido deste.

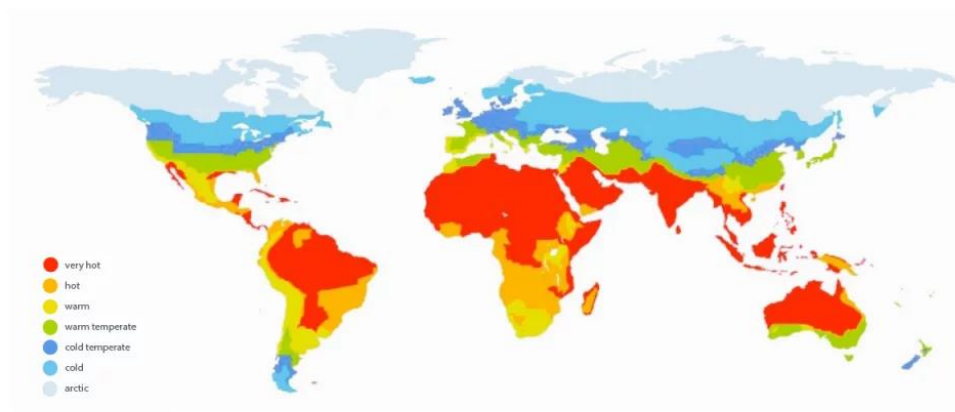


Figura 18: Zonas climáticas mundiais definidas pela PH. (Fonte: PHI)

No âmbito desta dissertação, as considerações estabelecidas sobre o fator de forma pressupõem que o objeto de estudo se trata então no clima português, onde o fator de forma, a par do isolamento térmico, é estabelecido como uma medida para resistir às perdas de calor durante a estação de aquecimento (inverno) (Simões, 2017).

4.3. O Princípio da Similitude

“Imagine-se que precisaríamos de comer metade do nosso peso todos os dias! Pois, devido à Lei da Similitude, os ratos têm que comer metade do seu peso por dia enquanto que nós humanos precisamos de comer apenas um cinquenta avos do nosso para poder compensar as perdas de calor através da nossa envolvente. Passa-se exatamente o mesmo com os edifícios.” (Simões, 2017)

A conjugação da geometria com a dinâmica das formas, onde a escala não é indiferente, tem uma importância acrescida na sua sustentabilidade por via do **Princípio da Similitude**. Este princípio diz-nos que a compacidade é afetada por dois parâmetros: a **forma** e o **tamanho**. (Simões, 2017)



Figura 19: Foto de matilha de leões compactada para combater o frio. (Fonte: Simões 2017)

D'Arcy Thompson, no livro *"On Growth and Form"* (1962), demonstra como os animais dependem do Princípio da Similitude para sobreviver, dando como exemplo o comportamento das alcateias de leões nos climas mais frios (Figura 19). Aqui, semelhante ao comportamento humano, os leões para além de se enrolarem sobre eles próprios, também se encostam aos restantes elementos do grupo, aumentando o tamanho da sua 'forma' e diminuindo ainda mais a superfície em contacto com o exterior. Isto acontece porque as formas maiores, ao contrário das formas mais pequenas, tendem a ser dominadas pelas cargas internas, estando as perdas de energia relacionadas com a superfície envolvente, e os ganhos com o volume (Moita, 2010).

Francisco Moita adapta este mesmo princípio aos edifícios e explica que quanto maior for o tamanho de uma forma, mais compacta ela será, porque para um aumento de forma constante, *"a superfície exterior aumenta menos rapidamente que o volume habitável, concluindo-se que um edifício grande tem, proporcionalmente, menos perdas térmicas que um pequeno."* (Moita, 2010, p.40).

Daqui surge, naturalmente, a distinção entre dois tipos de edifícios:

- os pequenos edifícios, comandados pela envolvente, e que representam grande parte do tipo de habitações unifamiliares existentes no nosso país;
- os grandes edifícios, que são comandados por ganhos internos de energia, não estando as variações de geometria tão suscetíveis ao agravamento do fator de forma e consequentes perdas de energia. Estes tipos de edifícios correspondem maioritariamente a edifícios de escritórios, empresas e habitações.

Podemos constatar, no esquema concebido por Fausto Simões (Figura 20), a relação da compacidade de várias formas com o fator escala. Existem três tamanhos diferentes para três formas diferentes (300, 600 e 3000 m³). A partir da análise do esquema podemos verificar o seguinte:

- A forma mais compacta de todas é a esfera, na tipologia com maior volume (0.33);
- A forma menos compacta de todas é o paralelepípedo, na tipologia com menor volume (1.14);
- A esfera, mesmo sendo a forma mais eficiente, não consegue, com 300m^3 , obter um fator de forma menor (0.72) do que o paralelepípedo, com 3000m^3 (0.53), salientando a importância do tamanho na avaliação de uma determinada tipologia.

Com isto, podemos aferir o peso que o ‘fator escala’ tem na compactidade de um edifício e como, em edifícios de maior tamanho, a superfície envolvente não tem tanta influência na sua compactidade.

Área de Pavimento Volume Bruto	100.0m ² 300.0m ³	200.0m ² 600.0m ³	1000.0m ² 3000.0m ³
	0.72	0.57	0.33
	0.89	0.71	0.41
 a.2a.6a	1.14	0.91	0.53

Figura 20: Relação entre a compactidade e a escala.
(Fonte: Simões, 2017)

É dentro do grupo de ‘pequenos edifícios’ que se vai realizar a segunda parte prática desta dissertação, uma vez que cerca de 90% do parque edificado nacional são pequenos edifícios de habitação unifamiliar. (Instituto Nacional de Estatística [INE], 2021)

4.4. Revisão Crítica

Neste capítulo foram apresentadas maneiras distintas de calcular o fator de forma (1) e (2), ambas válidas dentro do contexto em que se inserem.

$$FF = Ae_1 / V \quad (1)$$

$$FF_{PH} = Ae_2 / Au \quad (2)$$

Sendo que a fórmula (1) considera Ae_1 apenas como as superfícies da envolvente em contacto com o ar, enquanto que a fórmula (2) considera Ae_2 como a soma de todas as superfícies da envolvente do edifício, incluindo as que estão em contacto com o solo.

Assim, foi considerado que uma atualização era necessária à maneira como tradicionalmente é usado e calculado o fator de forma. No âmbito de desenvolvimento desta dissertação é assim proposta uma definição de fator de forma que tenha em conta todas as variáveis apresentadas e que melhor defina a relação entre as superfícies pelas quais o calor é transferido, e o volume da envolvente térmica.

$$FF = Ae_3 / V \quad (3)$$

A proposta é então, dentro da relação área de envolvente/volume, incluir as superfícies em contacto com o solo e, ter em conta um fator de redução de temperatura adequado a cada clima (devido ao facto da temperatura média ambiente ser normalmente menor do que a temperatura do solo – válido para os climas predominantemente frios e para as estações de aquecimento) aquando do cálculo do balanço energético de uma determinada forma.

A área de superfície exterior necessária para conter uma determinada envolvente térmica é, assim, um dos fatores chave para um design energeticamente eficiente.

É importante ter em mente que decisões iniciais de design ainda na fase de implantação, sobre a volumetria e a forma, ou sobre o próprio desenho da planta, podem ter efeito no balanço energético dos edifícios ou na

necessidade de investimento em sistemas ativos de energia (figura 22) (Budden, 2014).

São estas questões que vão ser investigadas na segunda parte da presente dissertação, com o objetivo de obter resultados concretos que as comprovem e quantifiquem.

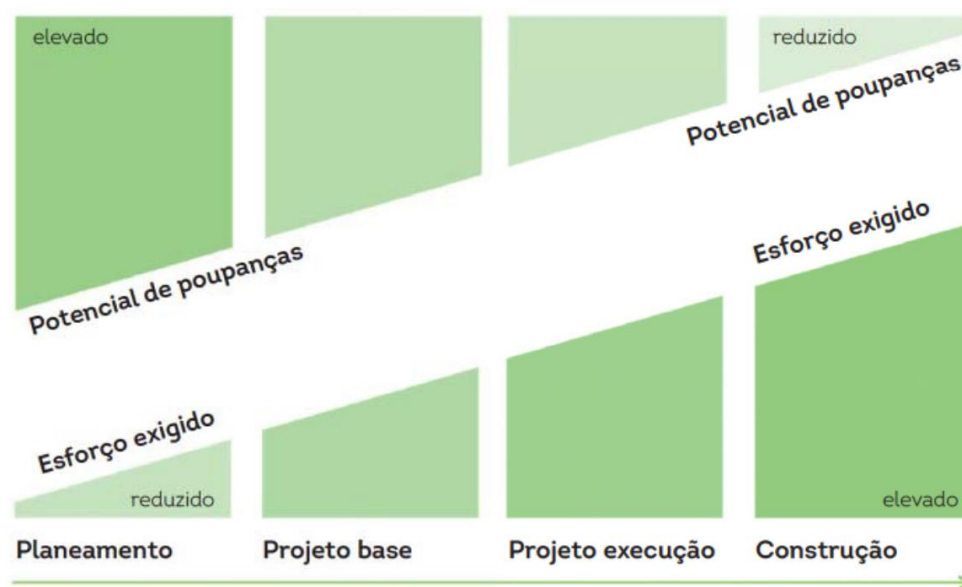


Figura 21: O esforço exigido e o potencial de poupanças em cada fase do processo. (Fonte: PHI)

PARTE II

5. O Impacto do Fator de Forma no Desempenho Energético dos Edifícios

5.1. Método e Ferramentas

Inicia-se aqui a parte prática da presente dissertação, esta foi desenvolvida com o intuito de perceber a relação entre as variações do fator de forma e as perdas de energia pela envolvente que lhe estão associadas, bem como o seu posterior impacto no balanço energético global dos edifícios.

Para isso, foram modelados tridimensionalmente, através do software *Sketchup*, várias geometrias que procuraram assemelhar-se a formas convencionais de edifícios. Não se pretende simular e comparar o desempenho de vários edifícios específicos, por isso, foi evitada a inserção de variantes relativas, como por exemplo, soluções construtivas ou sistemas e equipamentos.

Posteriormente, foi feita a exportação dos dados relativos a cada modelo, usando o plug-in *DesignPH*¹ que exporta os dados diretamente para a folha de cálculo *PHPP*. O método de preenchimento e dos cálculos do balanço energético feitos através do *PHPP* pode ser consultado no Apêndice I.

Specific building characteristics with reference to the treated floor area				The PHPP has not been filled completely; it is not valid as verification		
		Treated floor area m²		Criteria	Alternative criteria	Fulfilled? ²
Space heating	Heating demand kWh/(m²a)	100,0	≤	15	-	no
	Heating load W/m²	38	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand kWh/(m²a)	2	≤	16	16	yes
	Cooling load W/m²	1	≤	-	11	
Frequency of overheating (> 25 °C) %		-	≤	-	-	-
Frequency of excessively high humidity (> 12 g/kg) %		36	≤	10	-	no
Airtightness	Pressurization test result n ₅₀ 1/h		≤	0,6	-	
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand kWh/(m²a)		≤	#ND	-	#N/D
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand kWh/(m²a)	3	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building footprint area) kWh/(m²a)	-	≥	-	-	

² Empty field: Data missing; '-': No requirement

Figura 22: Excerto da folha de verificação do *PHPP* onde são apresentados os resultados do balanço energético de um edifício (Fonte: *PHPP*)

¹ Plug-in *DesignPH* é uma extensão, ou seja, um programa informático, que acrescenta funcionalidades ao programa existente, o *Sketchup*. Neste caso, acrescenta a possibilidade, entre outras, de atribuir as características térmicas necessárias às superfícies (pavimentos, paredes, coberturas, envidraçados) que serão posteriormente exportadas para o *PHPP*.

O *PHPP* é uma ferramenta desenvolvida pelo *PHI* que permite “projetar, dimensionar e calcular o balanço energético” (Associação Passivhaus Portugal, 2021) de uma Passive House. É baseada numa folha de cálculo do *Excel* que pode ser carregada com todos os dados necessários, relativos a um edifício, de modo a ser calculado o seu balanço energético (PHPP, 2015).

É preciso ter em conta a complexidade da tradução destas características geométricas em parâmetros numéricos capazes de servir como indicadores energéticos.

Inicialmente, foi realizada uma tabela base (Apêndice II) onde foram registadas as características gerais de cada forma, tais como:

- nomenclatura de identificação;
- área útil (m^2);
- altura total (m);
- área da envolvente exterior (m^2);
- volume (m^3);
- fator de forma (A_e/V);
- fator de forma PH (A_e/A_u);
- imagem do modelo 3D desenvolvido.

ID	Aútil (m^2)	Altura (m)	A.Env (m^2)	Volume (m^3)	Fator Forma PH (A_e/A_u)	Fator forma (A_e/V)	Modelo 3D
A_1	100	3	320	300	3,20	1,07	

Figura 23: Excerto da tabela base apresentada no Apêndice II (Fonte: figura de autor)

Seguidamente, acompanhando a lógica de desenvolvimento do trabalho, foram desenvolvidas algumas ‘variantes’ das tipologias inicialmente estabelecidas, consoante os resultados obtidos e as necessidades de investigar diversos parâmetros. Estas tipologias foram igualmente tabeladas e os resultados analisados graficamente, através de comparação e de estabelecimento de relações com as tipologias base, que serão apresentadas no decorrer do trabalho.

A partir destas tabelas base, onde foram estruturados os dados relativos a cada tipologia, foram realizados os ensaios numéricos e geométricos necessários, divididos em três fases:

- **1ª análise:** abstrata, apenas considerados sólidos abstratos para análise de geometria. Apenas foi considerada envolvente opaca, sem abertura de envidraçados e sem especificações de tipos de superfícies (pavimentos, paredes, coberturas) ou de ambientes exteriores em contacto com as diferentes faces. Foi atribuído um valor de U constante para todas as superfícies de cada forma ($U=0,5W/(m^2K)$);
- **2ª análise:** colocação das formas no terreno e enquadramento nas zonas climáticas. Nesta fase foi feito o balanço energético tendo em conta os coeficientes de transmissão térmica estabelecidos para cada zona climática, bem como o fator de redução de temperatura a ser considerado para as faces em contacto com o solo;
- **3ª análise:** seleção de algumas tipologias para a introdução de envidraçados e orientação. Aqui já foi considerado o balanço energético completo, e foi estudada a relação destes parâmetros com a espessura de isolamento.

Os resultados foram igualmente estruturados e organizados em tabelas base, apresentadas em Apêndice, de forma a permitir a elaboração dos gráficos referentes a cada análise.

5.2. Definição de Tipologias a Analisar

Na Tabela 1, estão representadas as tipologias base que foram modeladas de forma a dar início aos ensaios geométricos e numéricos. Nesta tabela, todas as formas foram desenhadas considerando área e volume constantes - área útil = 100m²; altura base por piso = 3m; volume de ar interior = 300m³. Posteriormente, com os dados recolhidos e organizados, foram calculados os respetivos fatores de forma.

Partiu-se de uma forma base de planta quadrada e foram modeladas várias tipologias que se enquadrassem em exemplos de tipologias comuns usadas na construção corrente. Neste caso as geometrias são mais focadas em tipologias de habitações unifamiliares que, como visto anteriormente, para além de ser o tipo de edifícios mais procurado pelos agregados familiares, é também o espectro de geometrias onde o fator de forma é mais impactante.

5.2.1. Comparação entre fatores de forma

Como foi estipulado no capítulo 4, existem dois modos distintos de calcular e aplicar o fator de forma, ambos com a mesma lógica, mas com expressões matemáticas diferentes. (Fator de Forma = A_e/V ; Fator de Forma PH = A_e/A_u , em que A_e representa a área de superfície da envolvente térmica e inclui as superfícies da envolvente térmica em contacto com o solo, V representa o volume da envolvente térmica, e A_u representa a área útil aquecida).

Assim, o primeiro ensaio a ser realizado nesta segunda parte da dissertação, foi a comparação gráfica entre os dois fatores de forma. Daqui podem ser feitas algumas observações:

- O maior e o menor valor de fator de forma correspondem, em ambos os casos, à mesma tipologia. O maior pertence à J_1, e o menor à B_1.
- Em ambas as análises os fatores de forma foram ordenados por ordem crescente, resultando na mesma ordem de organização das tipologias;

- Os valores do fator de forma PH relativamente aos do fator de forma têm uma relação de 3 para 1, correspondente ao valor de altura considerado.

ID	Fator Forma PH (Ae/Au)	Fator forma (Ae/V)	Modelo 3D
A_1	3,20	1,07	
B_1	2,80	0,93	
C_1	3,50	1,17	
D_1	3,00	1,00	
E_1	3,50	1,17	
F_1	3,65	1,22	
G_1	3,74	1,25	
H_1	3,80	1,27	
I_1	3,95	1,32	
J_1	4,40	1,47	
K_1	3,86	1,29	

Tabela 1: Tipologias base (Fonte: tabela de autor)

5.3. Análise 1: análise geométrica

5.3.1. Relação entre o fator de forma e a área de envoltente exterior

Para esta análise inicial não foram considerados quaisquer pressupostos para a definição da envoltente térmica de cada tipologia. Todas as faces foram consideradas com o mesmo comportamento térmico. Foi assumido um valor constante do coeficiente de transmissão térmica (U) de 0,5 W/(m²K) para todas as superfícies.

De seguida é apresentada uma tabela síntese com os parâmetros comuns a todos os modelos considerados na análise.

Aútil (m2)	Volume (m3)	Valor de U (W/m2K)	Ganhos Internos	Inércia Térmica	Emissividade	Absortividade	nº ocupantes
100	300	0,5	-	204	0,90	0,40	2,4

Tabela 2: Tabela síntese análise 1 (Fonte: tabela de autor)

Num primeiro momento (Figura 24 e Figura 25) compararam-se as relações entre a área de superfície envoltente de cada tipologia e ambos os fatores de forma. Não se registando variação de resultados, para área e volume constantes, foram realizadas as análises seguintes segundo o fator de forma A_e/V .

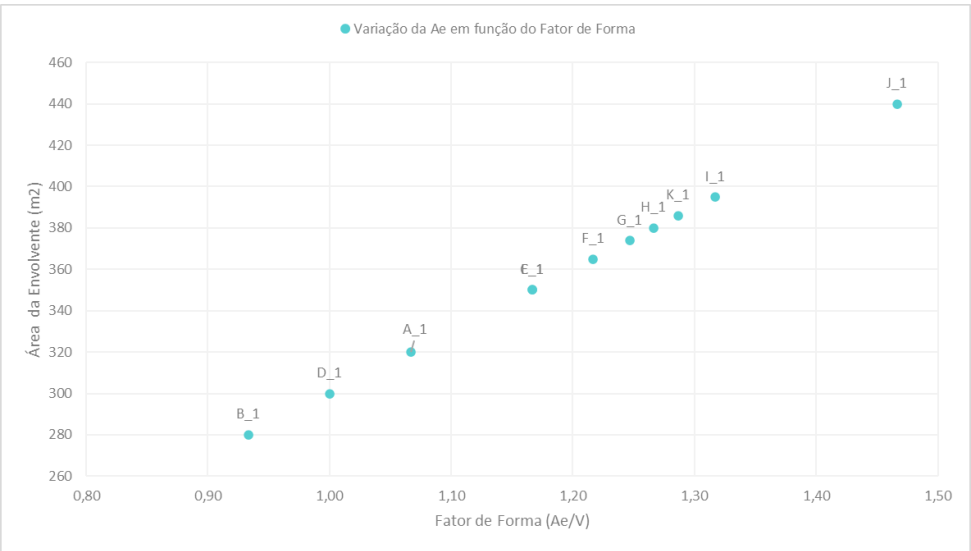


Figura 24: Gráfico da relação do fator de forma com a área de envoltente (Fonte: figura de autor)

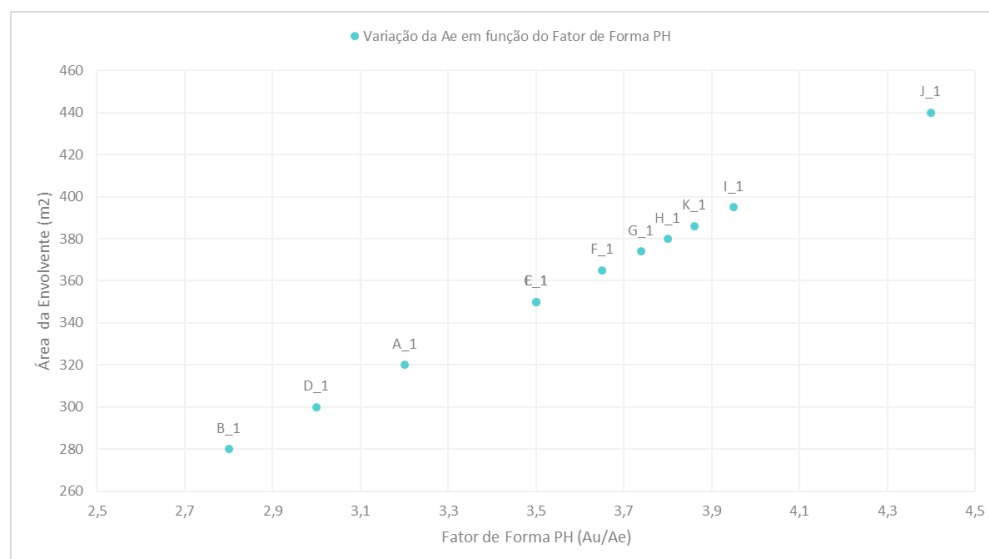


Figura 25: Gráfico da relação do fator de forma PH com a área de envolvente (Fonte: figura de autor)

5.3.2. Relação entre o fator de forma e as perdas pela envolvente

Depois de confirmada graficamente a relação linear entre ambos os fatores de forma² e a área de envolvente respetiva, foi feito um ensaio para avaliar as **perdas de energia pela envolvente**, no período de aquecimento, associadas a cada forma e a cada zona climática. Não foram considerados os ganhos de energia pela envolvente no período de arrefecimento, uma vez que estes se tornam irrelevantes dadas as temperaturas médias de Verão em Portugal. Para isso, foram considerados quatro climas: Porto (I2), Lisboa (I1), Bragança (I3) e Évora (I1).

É possível constatar (Figura 26 e Figura 27), a partir destes dados, que as necessidades de energia mantêm a relação esperada com a variação do fator de forma, para os climas considerados. A um fator de forma maior, correspondem necessidades de energia acrescidas, e vice-versa.

² Esta relação também se conseguiria verificar matematicamente, uma vez que $V = Au \times \text{Altura}$ e $FF = Ae / V = Ae / Au \times \text{Altura}$ portanto, $FF_{PH} = \text{Altura} \times FF$. Quando se passaram a considerar todas as faces, incluindo as em contacto com o solo a relação entre os dois passou a ser direta (a não ser que existam pé direitos duplos ou triplos).

É, também, possível verificar que os diferentes climas não mostram efeito considerável na variação das necessidades energéticas de cada forma, uma vez que a regressão linear se mantém constante, variando apenas em valor absoluto.

As perdas de energia pela envolvente foram calculadas tendo em conta apenas as características térmicas definidas para cada superfície, assumindo um modelo livre de pontes térmicas.

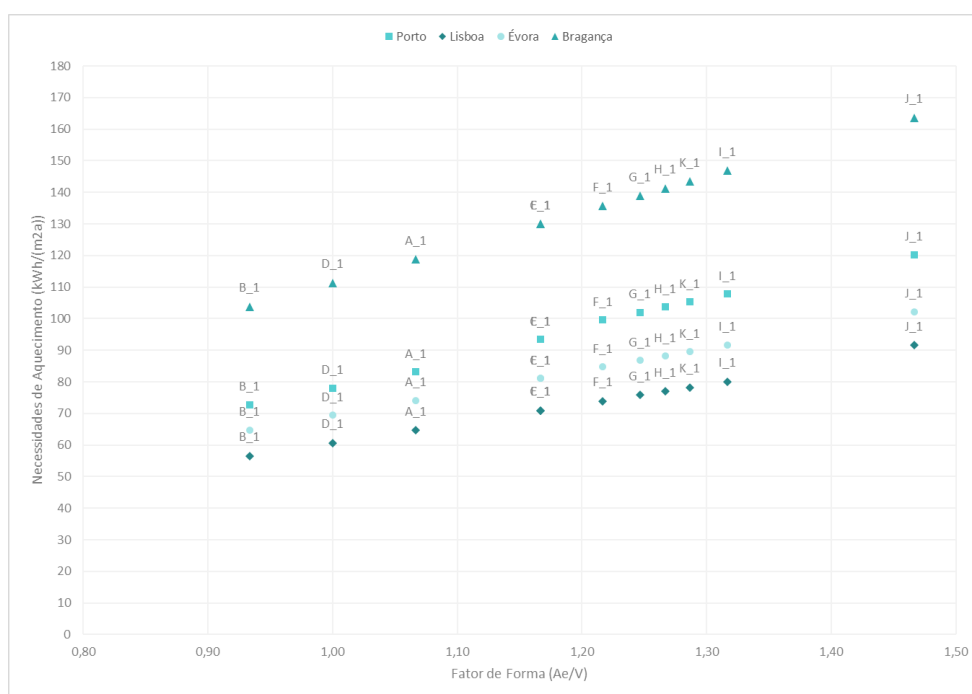


Figura 26: Gráfico da variação das perdas pela envolvente em função do fator de forma, no período de aquecimento – Análise 1 (Fonte: figura de autor)

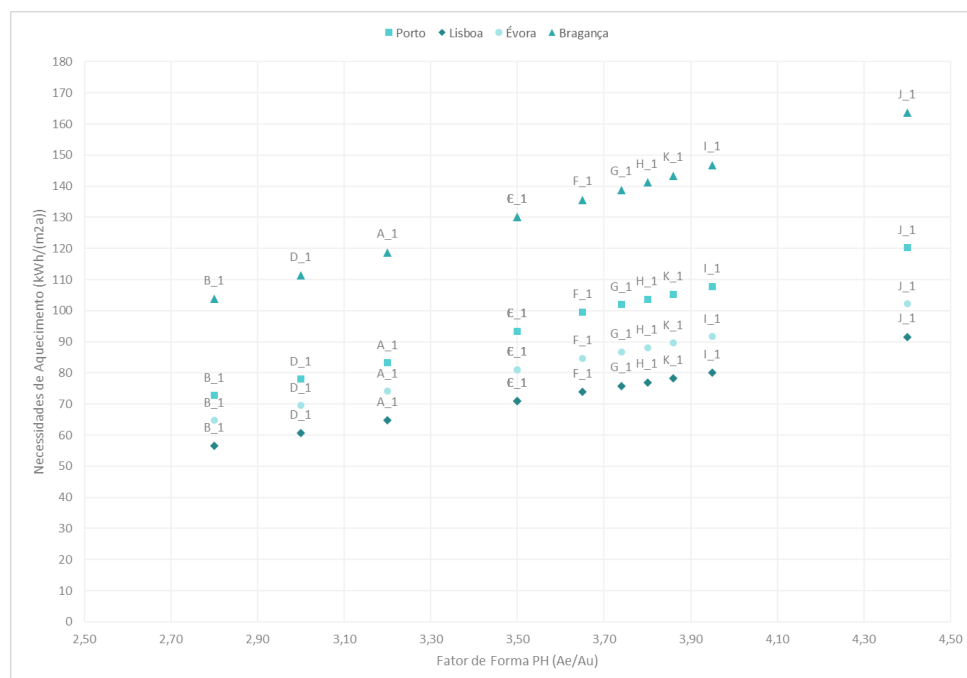


Figura 27: Gráfico da variação das perdas pela envolvente em função do fator de forma PH, no período de aquecimento – Análise 1 (Fonte: figura de autor)

Através da análise dos resultados é possível observar o seguinte:

- A geometria com o menor fator de forma e com menos perdas de energia pela envolvente é a B_1. Esta representa uma tipologia que se desenvolve em dois pisos. É conveniente ter em consideração que, nestes casos, há a necessidade de contemplar área extra destinada à circulação que faz a ligação entre os dois pisos³;
- A geometria com o maior fator de forma e mais perdas de energia pela envolvente é a J_1. Esta representa a tipologia da 'casa pátio'. Aqui é necessário ter em conta que este tipo de habitação surgiu inicialmente como resposta a climas quentes e secos. Servia como uma forma de proteção das tempestades de areia, e de criação de espaços frescos e ventilados (Germán-García, 2013);
- As formas C_1 e E_1 têm o mesmo fator de forma e as mesmas perdas de energia pela envolvente. Aqui estão representadas uma forma alongada e uma tipologia de habitação em 'L'.

³ Significa um aumento da área útil do modelo, que passaria a ter mais de 100m².

- As duas geometrias com o menor fator de forma e menos perdas de energia pela envolvente desenvolvem-se em 2 pisos (B_1 e D_1);

Como exemplo da influência da geometria das formas nas perdas de energia pela envolvente (no período de aquecimento), comparando as geometrias B_1 e J_1, temos que, para os quatro climas, a ‘casa pátio’ perde 1,6x mais calor do que a casa de planta quadrada, o que se traduz em cerca de 60% a 65% mais necessidades de energia, para uma casa com a mesma área útil.

5.3.3. Análise das coberturas

As tipologias inicialmente modeladas contemplaram apenas opções de cobertura planas. Posto isto, e para que este estudo se baseie o mais possível em geometrias que correspondam à realidade dos edifícios em Portugal, foi feita uma análise geométrica a diferentes tipos de cobertura inclinada sem desvão, com o aumento do volume que isso implica. Foi avaliada a relação área de envolvente/volume entre cada tipologia. Os resultados foram agrupados e apresentados na tabela seguinte.

ID	Aútil (m2)	Altura (m)	Ae (m2)	Volume (m3)	Fator Forma PH (Ae/Au)	Fator forma (Ae/V)	tipo de cobertura	variação % Ae	variação % V
A_1	100	3	320,0	300	3,20	1,07		-	-
AA_1	100	2,25-3,75	309,4	300	3,09	1,03		-3%	-
AB_1	100	3-6,0	384,4	450	3,84	0,85		20%	50%
AC_1	100	3-4,5	339,0	375	3,39	0,90		6%	25%
AD_1	100	3-4,5	324,4	350	3,24	0,93		1%	17%

Tabela 3: Tipologias cobertura inclinada (Fonte: tabela de autor)

Foram tidos em conta para análise, as três variações base de uma cobertura inclinada tradicional com inclinação de cerca de 30%:

- Cobertura inclinada de uma água;
- Cobertura inclinada de duas águas;
- Cobertura inclinada de quatro águas.

As colunas da direita representam a variação (em percentagem) da área da envolvente e do volume, em função dos diferentes tipos de cobertura adotados, partindo da geometria base A_1.

A primeira tipologia foi modelada dentro dos pressupostos iniciais de área e volume constantes (AA_1). Consequentemente, a altura nos extremos desceu para os 2,25m. Neste caso, apesar das perdas pela envolvente virem a ser inferiores, por ter menos área de envolvente para o mesmo volume, é necessário equilibrar com os restantes parâmetros de habitabilidade e conforto que compõem um projeto de arquitetura e perceber se esta é a opção mais viável.

Verificou-se que, nos restantes casos, a cobertura inclinada que proporciona uma forma mais eficiente em termos de área de envolvente/volume é a cobertura de quatro águas (AD_1); por sua vez, a cobertura que proporciona uma forma menos eficiente é a cobertura inclinada com apenas uma água (AB_1).

5.3.4. Influência do tamanho na eficiência da forma

Como referido anteriormente, o **Princípio da Similitude** diz-nos que a compactidade de uma forma pode ser influenciada tanto pela sua **geometria** como pelo seu **tamanho**. Diz-nos ainda que, quanto maior for uma mesma forma, mais compacta ela será (logo, menor será o seu fator de forma).

Com base neste princípio, foram modeladas duas variantes das tipologias base, desta vez com uma área de 200m² e um volume de 600m³, dobrando os valores iniciais.⁴

Podemos verificar, através dos dados apresentados, que para as mesmas formas, um aumento de tamanho implica menos perdas de energia pela sua envolvente. Isto deve-se ao facto de que, em proporção, ganham mais volume interior em relação ao aumento da área de envolvente – por onde se dão as perdas de energia.

ID	Aútil (m2)	Altura (m)	A.Env (m2)	Volume (m3)	Fator Forma PH (Ae/Au)	Fator forma (Ae/V)	Modelo 3D	Perdas pela Envolvente (kWh/(m2a))
B_1	100	6	280	300	2,80	0,93		72,8
C_1	100	3	350	300	3,50	1,17		93,4
B_2	200	6	440	600	2,20	0,73		64,9
C_2	200	6	500	600	2,50	0,83		57

Tabela 4: Relação do tamanho na eficiência das formas (Fonte: tabela de autor)

⁴ Que significou o acréscimo de um piso em cada geometria base.

5.4. Análise 2: zonas climáticas

Nesta segunda fase, foi feito o estudo das mesmas tipologias da tabela 1, para os mesmos climas.

Aútil (m ²)	Volume (m ³)	Valor de U (W/m ² K)	Ganhos Internos	Inércia Térmica	Emissividade	Absortividade	nº ocupantes
100	300	de acordo com zona climática	-	204	0,90	0,40	2,4

Tabela 5: Tabela síntese análise 2 (Fonte: tabela de autor)

Desta vez foram considerados os coeficientes de transmissão térmica de cada superfície (pavimento, paredes e cobertura) de acordo com os valores mínimos definidos para a envolvente opaca dos edifícios de habitação em Portugal na Portaria nº138-I/2021, para cada zona climática.

- Zona climática I1: $U_{\text{paredes}} = 0,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$; $U_{\text{cobertura}} = 0,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$;
- Zona climática I2: $U_{\text{paredes}} = 0,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$; $U_{\text{cobertura}} = 0,35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$;
- Zona climática I3: $U_{\text{paredes}} = 0,35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$; $U_{\text{cobertura}} = 0,30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$;
- Para os pavimentos foi considerado um valor de $U = 0,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Foram, novamente, considerados os mesmos climas: Porto (I2), Lisboa (I1), Bragança (I3) e Évora (I1).

Também foram consideradas para efeito de análise, apenas as perdas de energia pela envolvente de cada forma, uma vez que está a ser feita apenas uma análise à geometria da forma, sem serem tidos em conta os ganhos de energia, visto que são inúmeras as variantes que integram o cálculo dos ganhos solares e que dificilmente se conseguiriam controlar na sua totalidade neste tipo de análise.

Posto isto, foi feita uma análise a partir das perdas de energia pela envolvente, com foco nas necessidades de aquecimento (estação de

Inverno). As necessidades de arrefecimento foram consideradas não relevantes, uma vez que não apresentam grande variação consoante as diversas formas e os diversos climas. De notar que isto acontece no modelo pois não são considerados envidraçados, e que praticamente não chegam a haver ganhos de calor no Verão pela envolvente opaca.

Assim, foi elaborado o seguinte gráfico, que nos mostra a relação entre o fator de forma e as perdas de energia pela envolvente associadas a cada tipologia, de acordo com cada clima.

Nesta análise a tendência é semelhante à anterior, com duas pequenas variações. Varia em termos de valores absolutos, neste caso inferiores, por estarmos a contar com as superfícies em contacto com o solo. Este, como está normalmente (no período de aquecimento) a temperaturas superiores à temperatura do ar, provoca menos perdas de calor pela envolvente.

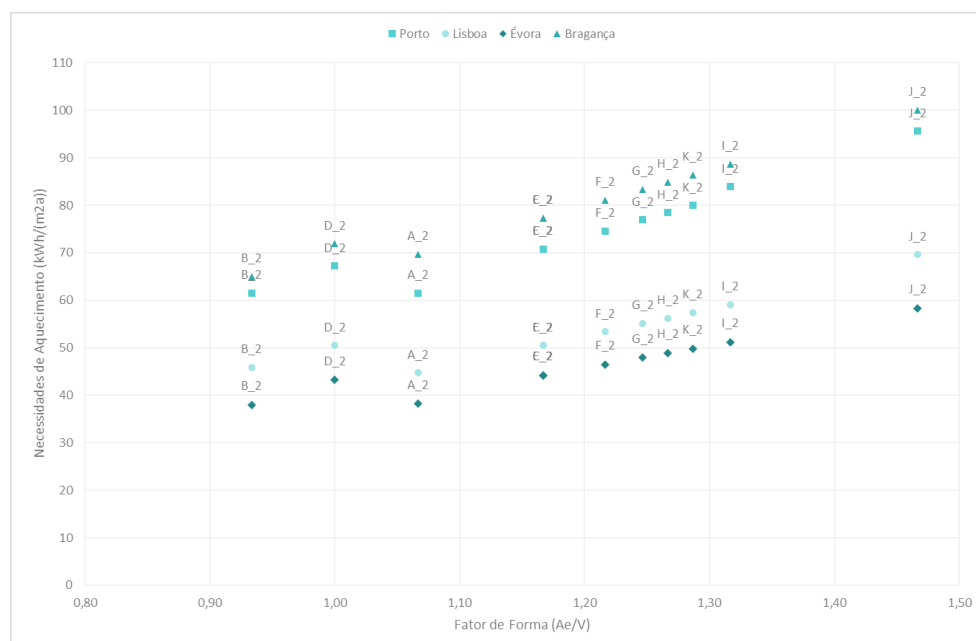


Figura 28: Gráfico da variação das perdas pela envolvente em função do fator de forma, no período de aquecimento, considerando os valores mínimos de U para cada zona climática - Análise 2 (Fonte: figura de autor)

Pelo mesmo motivo, as duas tipologias com o fator de forma menor, que são as que se desenvolvem em dois pisos (B_2 e D_2), acabam por ter um resultado ligeiramente superior ao da análise anterior. Isto pode ser explicado uma vez que estamos a avaliar apenas as perdas pela envolvente, excluindo quaisquer ganhos de energia. Neste caso, como têm menos área de superfície em contacto com o solo, vão perder mais calor para o ambiente exterior (em comparação com os que têm a totalidade da área útil, 100m², em contacto com o solo).

ID	Aútil (TFA) (m2)	Altura (m)	Aenv. Ext. (m2)	Volume (m3)	Fator Forma PH (Ae/Au)	Fator forma (Ae/V)	Area em contacto com o solo (m2)
B_2	100	6	280	300	2,8	0,93	50
D_2	100	6	300	300	3	1,00	40

Tabela 6: Comparação da superfície em contacto com o solo das tipologias B_2 e D_2 - Análise 2 (Fonte: tabela de autor)

Esta análise será complementada com a fase seguinte, em que já é considerado o balanço energético total, com todos os ganhos e perdas de energia existentes.

5.5. Análise 3: Orientação, Envidraçados e Isolamento

Esta terceira análise foi feita com o intuito de analisar algumas das geometrias já modeladas de uma forma mais realista possível. Para isso, foram incluídos nos modelos parâmetros como a orientação, disposição de envidraçados e espessuras de isolamento.

Aútil (m ²)	Volume (m ³)	Valor de U (W/m ² K)	Ganhos Internos	Inércia Térmica	Emissividade	Absortividade	nº ocupantes
100	300	de acordo com zona climática	2,6	204	0,90	0,40	2,4

Tabela 7: Tabela síntese análise 3

Para tentar manter a coerência durante esta fase, dado que a inclusão destes parâmetros pode dar origem a uma multiplicidade de variantes, estabeleceram-se alguns pressupostos base:

- Na distribuição dos envidraçados foi usado o mesmo princípio do estudo de Victor Olgyay: 40% de área de envidraçados a sul, e 20% nas restantes;
- Foram definidos o eixo E-O (Este-Oeste) e o eixo N-S (Norte-Sul) para análises relativas à orientação;
- A zona climática utilizada foi o Porto - I2;
- Os valores de U de cada superfície foram definidos consoante a zona climática: Upavimento = 0,5 W/(m²K); Uparedes = 0,4 W/(m²K); Ucobertura = 0,35 W/(m²K);
- Foram atribuídas a todas as janelas as seguintes características térmicas: Ucaixilho = 1,1 W/(m²K); Uvidro = 1,2 W/(m²K); fator solar vidro (g) = 0,6.
- Foi considerada a situação de sombreamento apenas pelo interior (ex.: blackout ou cortina), que representa um fator de redução de proteção temporária (z) de 50%.
- Neste estudo já foi utilizado o balanço energético total calculado no PHPP (método mensal, descrito no Apêndice I).

ID	Orientação	Fator Forma PH (Ae/Au)	Fator forma (Ae/V)	Modelo 3D
A_3	N-S	3,20	1,07	
B_3	N-S	2,80	0,93	
B_3.1	E-O	2,80	0,93	
C_3	N-S	3,50	1,17	
C_3.1	E-O	3,50	1,17	
CC_3	N-S	3,50	1,17	
CC_3.1	E-O	3,50	1,17	
D_3	N-S	3,00	1,00	
I_3	N-S	3,95	1,32	

Tabela 8: tabela base tipologias analisadas (Fonte: tabela de autor)



Figura 29: Gráfico das necessidades energéticas em função do fator de forma e da área de envoltória - Análise 3 (Fonte: figura de autor)

Depois de elaborado o gráfico visível na Figura 29 que combina os resultados das necessidades de aquecimento e arrefecimento das várias tipologias e respetiva orientação, conclui-se o seguinte:

- Todas as tipologias com orientação Este-Oeste, têm pior desempenho que as homónimas com orientação Norte-Sul;
- A tipologia com dois pisos (D_3) tem necessidades inferiores às restantes tipologias com apenas um piso;
- A tipologia A_3, referente à casa quadrada, mostra que, apesar do seu fator de forma (e da orientação irrelevante uma vez que todos os lados são iguais), a necessidade de iluminação dos espaços (abertura de envidraçados) faz com que o balanço energético se torne mais desfavorável;
- A tipologia D_3, referente aos volumes com balanço, tem a particularidade de, quando bem orientada (a Sul), o volume em balanço servir de elemento de sombreamento para os envidraçados do piso térreo;
- A tipologia alongada com orientação Este-Oeste regista o pior desempenho, enfatizando o impacto que a correta orientação deste tipo de geometria tem no seu balanço energético (C_3);

- A orientação nas tipologias em torre (CC_3; CC_3.1) é menos relevante do que nas restantes tipologias;
- As necessidades de arrefecimento ganham relevância nas tipologias em torre (CC_3; CC_3.1);
- A tipologia I_3, com o fator de forma mais elevado, apesar de bem orientada, regista o segundo pior desempenho em relação às necessidades de energia para aquecimento;

De notar que, dentro destes pressupostos, apenas três tipologias (A_3; C_3.1; I_3) não cumprem os requisitos de 15 kWh/(m²a) de necessidades de aquecimento da *Passive House*. Pode-se então constatar que, cumprindo os mínimos regulamentares para os coeficientes de transmissão térmica das superfícies opacas, é possível obter edifícios de alto desempenho quando a forma e a respetiva orientação são otimizadas.

Posteriormente, foi analisada a espessura de isolamento (nas paredes) que cada forma necessitaria para atingir os 15 kWh/(m²a) de necessidades de aquecimento, para avaliar o impacto que uma forma eficiente e bem orientada tem na quantidade de isolamento necessário. Isto é uma outra forma de medir o impacto do fator de forma, em termos de necessidade extra de material isolante que se reflete, consequentemente em acréscimo do investimento, deixando de estar no ótimo da relação custo/benefício.

Para esta análise foi simulada uma construção de parede tradicional em alvenaria, com reboco pelo interior, tijolo cerâmico de 25cm e ETICS com reboco pelo exterior. De notar que a situação base da parede, para corresponder ao coeficiente de transmissão térmica de 0,4 kWh/m²a, conta com 7cm de isolamento térmico, EPS. (Apêndice II)

Como podemos verificar, através de uma análise da Tabela 9, as tipologias com melhor desempenho, D_3 e CC_3, ambas com orientação Norte-Sul, são as que necessitam de menos espessura de isolamento (32mm), tendo as paredes menos requisitos térmicos (permitindo valores de U mais elevados). Já a situação oposta, a tipologia com pior desempenho, C_3 com orientação Este-Oeste, necessita de 400% mais espessura de isolamento nas paredes (135mm) para obter o mesmo desempenho energético, sendo

que os requisitos térmicos das paredes têm de ser muito mais apertados para compensar a ineficiência da forma.

ID	Orientação	Fator forma (Ae/V)	isolamento (mm)	U (W/m2K)
A_3	N-S	1,07	65	0,434
B_3	N-S	0,93	32	0,736
B_3.1	E-O	0,93	52	0,518
C_3	N-S	1,17	40	0,630
C_3.1	E-O	1,17	135	0,232
CC_3	N-S	1,17	33	0,721
CC_3.1	E-O	1,17	48	0,551
D_3	N-S	1,00	50	0,534
I_3	N-S	1,32	80	0,366

Tabela 9: Análise das espessuras de isolamento e valores de U (Fonte: tabela de autor)

Esta foi uma análise teórica para perceber o impacto que a forma e a correta orientação têm na necessidade de isolamento das paredes e consequente coeficiente de transmissão térmica.

Em casos reais, de acordo com a regulamentação, o valor de U não poderia ser superior aos 0,4 kWh/m²a. Também os valores de isolamento são indicativos, uma vez que não correspondem a espessuras comerciais de placas de isolamento EPS.

6.Casos de Estudo

6.1. Recolha de informação

Nesta última fase, de grande importância para o corpo desta investigação, foi feita uma análise a projetos concretos (construídos, em construção ou em fase de licenciamento), que a *Homegrid* disponibilizou para objeto de trabalho desta dissertação. Tratam-se de projetos de conceção ou aos quais foram prestados serviços de consultoria, sendo que todos eles foram desenvolvidos segundo a norma *Passive House*, uma vez que a *Homegrid* atua exclusivamente de acordo com este conceito. Todos os projetos são habitações unifamiliares, sendo esta a grande parte da área de atuação da empresa.

O intuito desta análise passa por analisar estes projetos - que têm como ponto comum o seu alto desempenho energético - a partir do **fator de forma**, e perceber que (e se) conclusões podem ser retiradas.

Para dar início a este processo de investigação, foi necessário filtrar e fazer a seleção dos vários projetos e, posteriormente, a consequente recolha de informação necessária para a investigação. Toda a informação foi disponibilizada pela *Homegrid*: ficheiros CAD, PHPP e modelo 3D. Esta informação foi organizada numa tabela base Tabela 10.

Na tabela constam os **12 projetos** que irão servir de objetos de estudo. Na primeira coluna da tabela temos o código de identificação interno de cada processo. Depois, foi identificada a localização e a respetiva zona climática de Inverno relativa a cada projeto (de acordo com o regulamento nacional). Foram consultadas e retiradas do PHPP de cada projeto, informações sobre a área útil e área da envolvente exterior, volume, necessidades de aquecimento e necessidades de arrefecimento, como constam nas colunas seguintes. Foi também recolhida informação sobre o nº de pisos e o tipo de cobertura de cada projeto, sendo que 'i' se refere a cobertura inclinada e 'p' a cobertura plana.

A partir destes dados, foram calculados os fatores de forma respetivos e, finalmente, foram produzidas, através dos modelos existentes, imagens 3D de cada projeto.

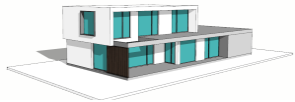
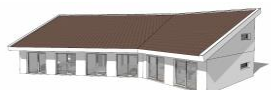
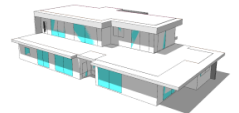
projeto	localização	Zona Climática	Au (m2)	A.Env (m2)	V (m3)	Fator Forma	Fator Forma PH	Modelo 3D
2022.01	pinhel	I3	266,3	1003,8	768,7	1,31	3,77	
2021.05	oeiras	I1	381,4	1258,5	992,0	1,27	3,30	
2021.06	coimbra	I1	134,8	622,0	485,8	1,28	4,61	
2021.11	aveiro	I1	49,3	232,5	162,7	1,43	4,72	
2021.12	beja	I1	257,9	771,5	805,3	0,96	2,99	
2020.11	alijó	I3	135,9	559,9	479,9	1,17	4,12	
2020.15	caldas	I1	178,3	549,6	464,0	1,18	3,08	
2020.28	seixal	I1	124,8	518,0	457,1	1,13	4,15	
2018.28	gaia	I2	153,8	471,5	400,0	1,18	3,07	
2018.17	feira	I2	273,4	812,8	903,4	0,90	2,97	
2018.19	óbdos	I1	391,0	1152,2	1681,8	0,69	2,95	
2017.13	torres vedras	I1	398,4	1443,6	996,0	1,45	3,62	

Tabela 10: Excerto da tabela síntese dos projetos analisados (Fonte: tabela de autor)



Figura 31: Gráfico base - análise global dos projetos (Fonte: figura de autor)

6.2. Análise de dados

A partir da informação recolhida foi elaborado o gráfico que podemos observar na Figura 31. Mesmo sendo impossível isolar apenas o impacto do fator de forma no balanço energético de cada projeto, pela quantidade de variáveis existentes que não conseguimos quantificar ou controlar na sua totalidade, é possível retirar algumas conclusões gerais.

É possível, à partida, constatar a **tendência crescente** relativamente às necessidades de energia para aquecimento: à medida que cresce o fator de forma, crescem também as necessidades de energia.

Relativamente às necessidades de energia para arrefecimento, os dados recolhidos foram considerados pouco relevantes, não sendo possível identificar uma tendência. Tal situação deve-se ao facto de que o clima em Portugal, ameno-temperado, não regista, na estação de arrefecimento (Verão), temperaturas médias acima da temperatura de conforto definida pela Passive House (25°C), que é a base para o cálculo do balanço energético. Por este motivo, a análise a estes 12 projetos vai ser mais focada em torno da relação entre o fator de forma e as respetivas necessidades de energia para aquecimento.

Dentro da tendência crescente registada para as necessidades de aquecimento podemos identificar dois picos no gráfico, que representam variações fora do 'comum' desta amostragem. Os projetos das **Caldas da Rainha e de Oeiras** foram tidos como exceções que irão ser abordadas posteriormente. Foi, então, realizado um gráfico sem a presença destes casos excecionais, como podemos ver na Figura 32.

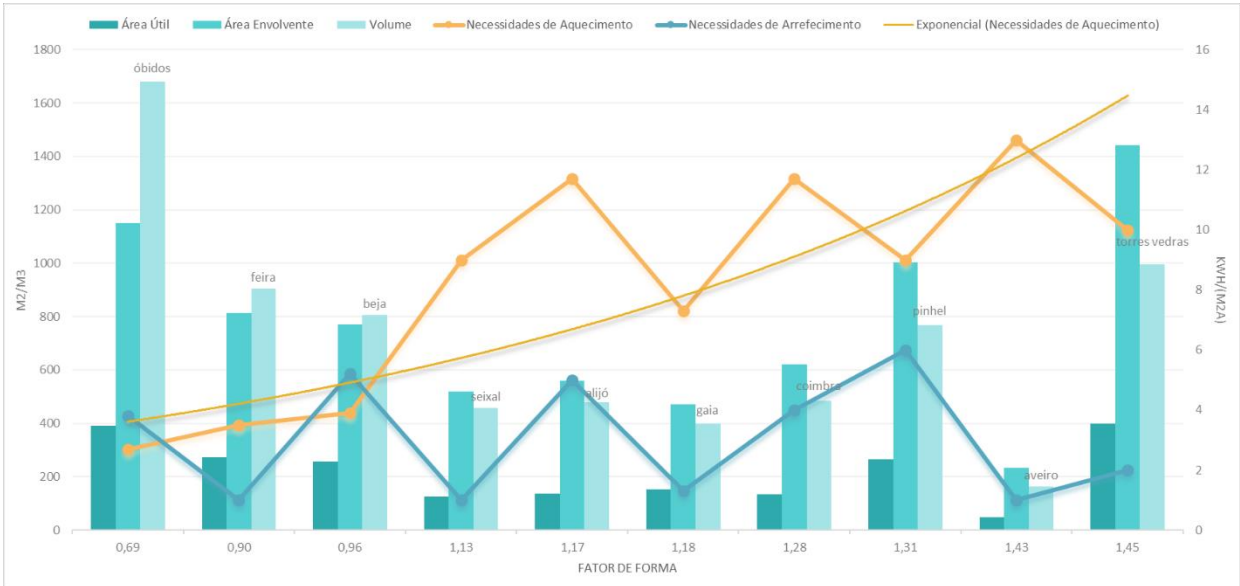


Figura 32: Gráfico de análise sem os projetos de exceção (Fonte: figura de autor)

6.2.1. Projetos com área útil superior a 200m²

No gráfico 32, identifica-se rapidamente um ponto de quebra entre os projetos de **Beja e Seixal**, o qual divide o gráfico em dois patamares distintos de necessidades de energia. À esquerda, estão os projetos com fator de forma inferior a 1, o que significa que têm mais volume que área de envolvente, e que registam necessidades de energia para aquecimento muito reduzidas. À direita, num patamar de necessidades de energia superior, estão os projetos com mais área de envolvente do que volume, ou seja, aqueles que têm o fator de forma superior a 1.

Ter o fator de forma inferior a 1 só é possível em edifícios de dimensão considerável, e significa, como explicado em capítulos anteriores, que estamos perante uma geometria muito compacta. Assim é o caso dos projetos de **Óbidos, Santa Maria da Feira e Beja**, que apresentam uma forma compacta e fazem parte do grupo dos maiores projetos desta amostragem - com área útil superior a 200m². Nestes três exemplos (Figura 33, 34 e 35) muito compactos é visível como o clima ou a disposição do envidraçado não implicam uma grande variação nas necessidades de energia.

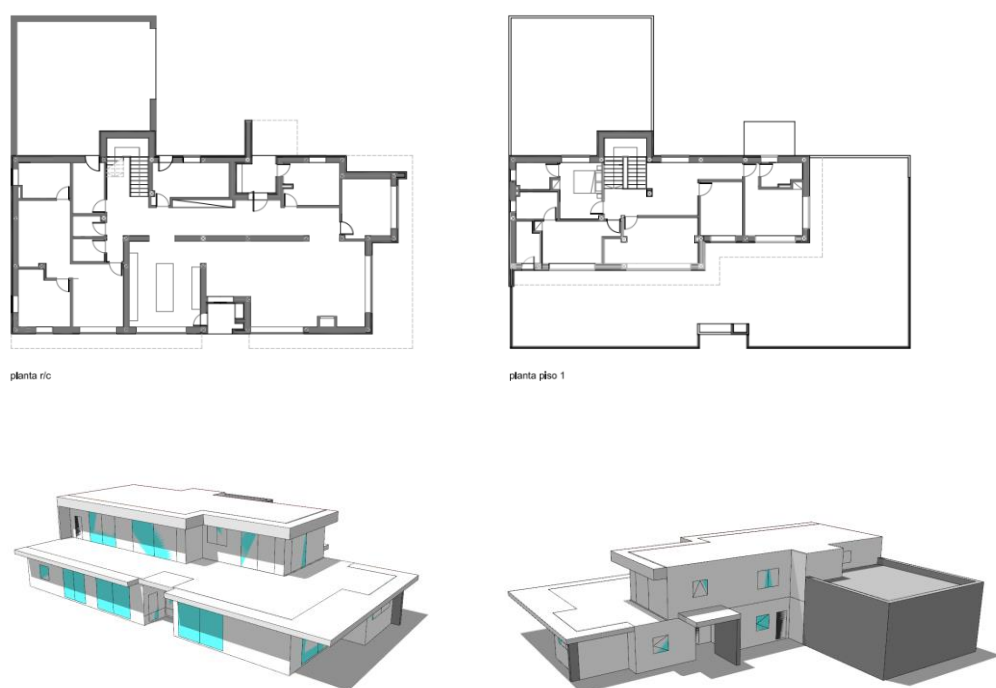


Figura 33: Plantas e modelo 3D projeto em Óbidos (Fonte: Homegrid)

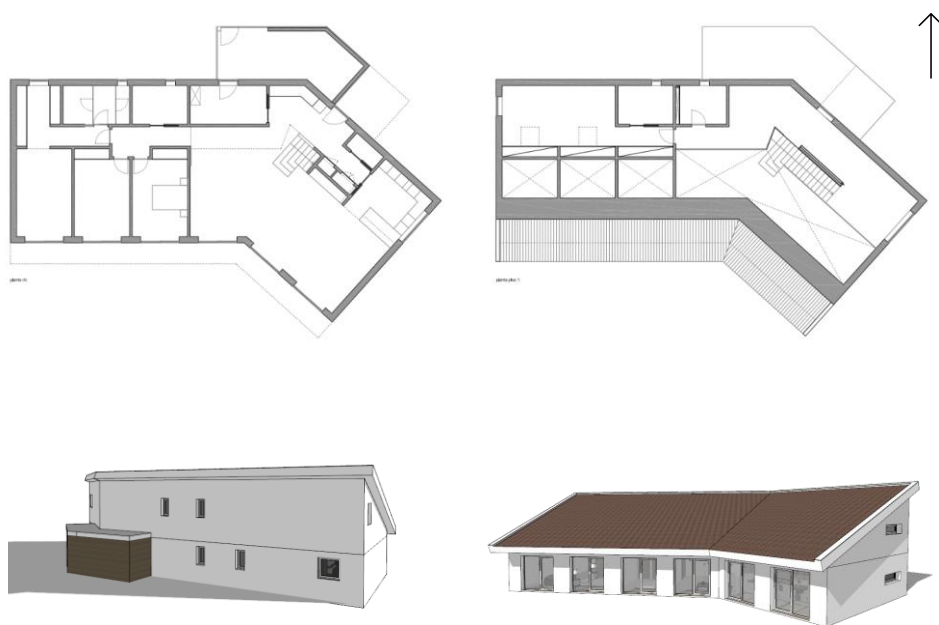


Figura 34: Plantas e modelo 3D projeto em Santa Maria da Feira (Fonte: Homegrid)

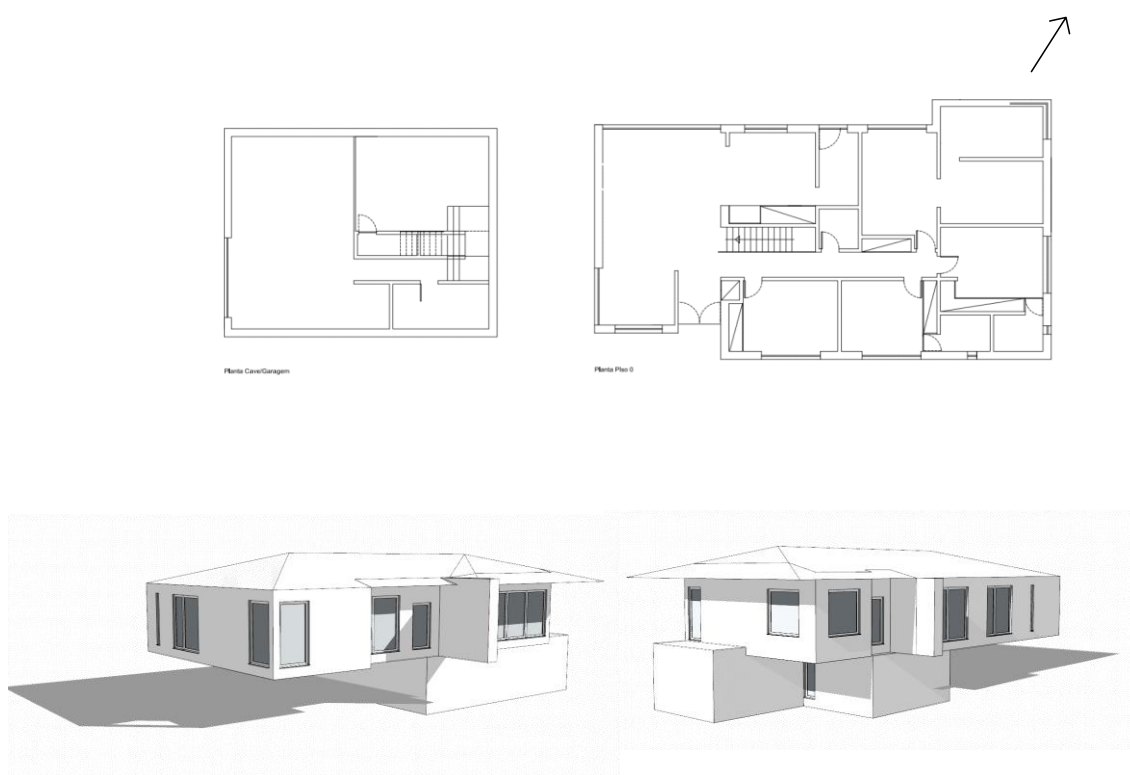


Figura 35: Plantas e modelo 3D projeto em Beja (Fonte: Homegrid)

Como verificado anteriormente, (Figura 21, capítulo 3) torna-se mais fácil, para edifícios de maior tamanho, obter valores de fator de forma mais reduzidos. No entanto, para os restantes projetos com área útil superior a 200m², **Pinhel e Torres Vedras**, apesar de estarem entre os maiores projetos desta amostragem, apresentam mais área de envolvente do que volume útil, tendo, por isso, uma forma pouco compacta, como se pode observar nas Figura 36 e Figura 37. Estes projetos maximizam, assim, as perdas de energia pela envolvente, tornando mais difícil e dispendioso obter bons resultados de necessidades de energia para aquecimento. Estes projetos encontram-se, assim, no outro extremo do gráfico, com as maiores necessidades de energia para aquecimento.

O projeto em **Pinhel**, no entanto, acaba por apresentar necessidades de aquecimento mais baixas que o expectável. Analisando o projeto em mais detalhe, percebe-se que tal acontece devido à boa qualidade do envidraçado utilizado: vidro triplo com desempenho térmico acima do normal. Como este projeto tem quase tanta área de envidraçado como de parede, a caixilharia utilizada teve que ter um bom desempenho térmico, promovendo os ganhos solares, mas conseguindo, ao mesmo tempo, diminuir as perdas de energia associadas.

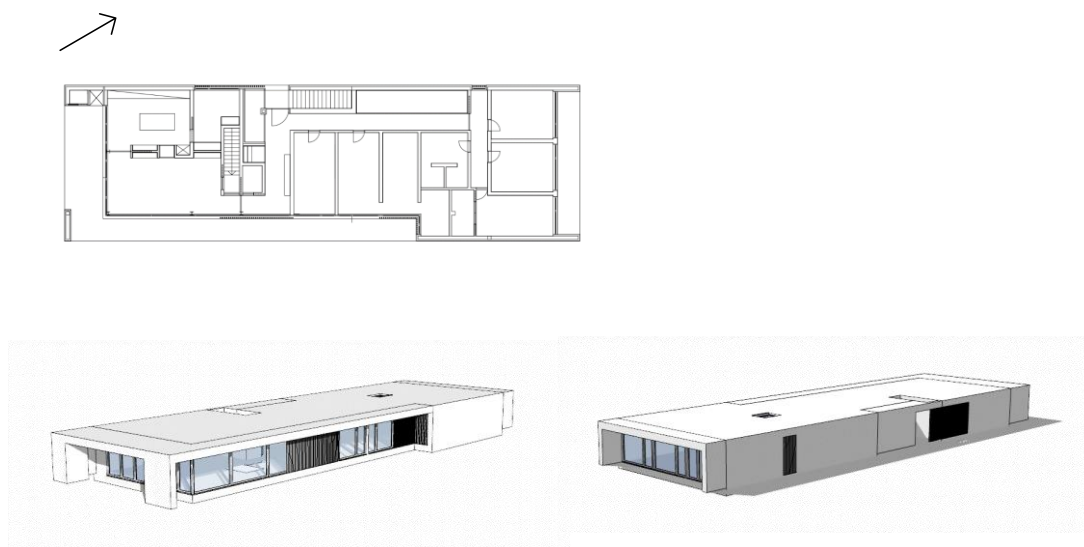


Figura 36: Plantas e modelo 3D projeto em Pinhel (Fonte: Homegrid)

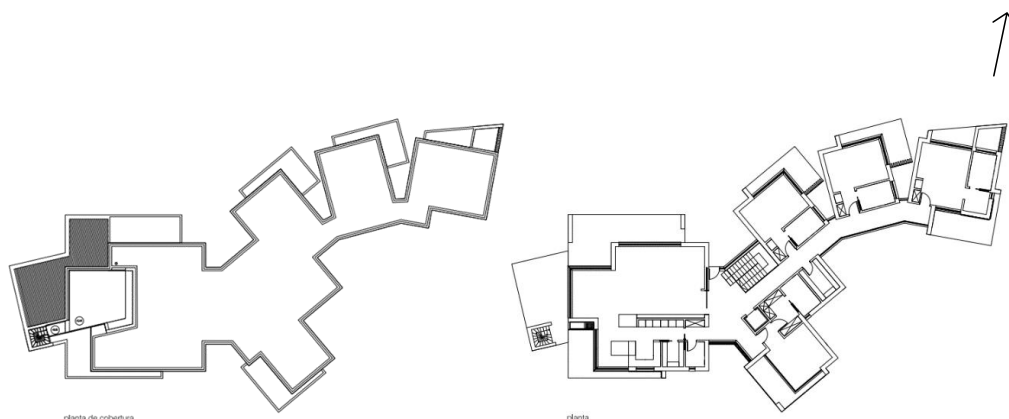


Figura 37: Plantas de projeto em Torres Vedras (Fonte: Homegrid)

Relevante é também realçar a relação entre o número de pisos e a compacidade dos respetivos projetos. Os mais compactos – **Óbidos, Feira e Beja** – são projetos que se desenvolvem em 2 pisos, enquanto os menos compactos, apesar de apresentarem volumes semelhantes – **Pinhel e Torres Vedras** – acabam por ter mais área de envolvente, por se desenvolverem apenas em 1 piso.

Por fim, observando os dois maiores projetos desta amostragem, que são a habitação em **Óbidos** e a habitação em **Torres Vedras**, podemos constatar como decisões de projeto impactam o balanço energético dos edifícios. Observando as suas posições opostas no gráfico, bem com os seus díspares níveis de desempenho energético, é perceptível que o tamanho de um edifício, por si só, não define a sua performance.

6.2.2. Projetos com área útil inferior a 200m²

Olhando agora para os restantes projetos nesta amostragem, temos as habitações com área útil inferior a 200m². Estes representam, maioritariamente, a área central do gráfico, com fatores de forma compreendidos entre 1 e 1,20, sendo este o intervalo comum para habitações unifamiliares.

Neste grupo é possível estabelecer algumas comparações interessantes relativamente a vários projetos. Em relação ao projeto de **Coimbra** (Figura 38), por exemplo, apesar de este ser muito semelhante ao projeto em **Gaia** (Figura 39) (geometria, tamanho, número de pisos (dois), disposição dos envidraçados), as várias saliências que apresenta são o suficiente para aumentar a sua área de envolvente em relação ao seu volume, aumentando, deste modo, a superfície por onde se dão as perdas de calor e, consequentemente, aumentando as necessidades de aquecimento.



Figura 388: Plantas e modelo 3D projeto em Coimbra (Fonte: Homegrid)

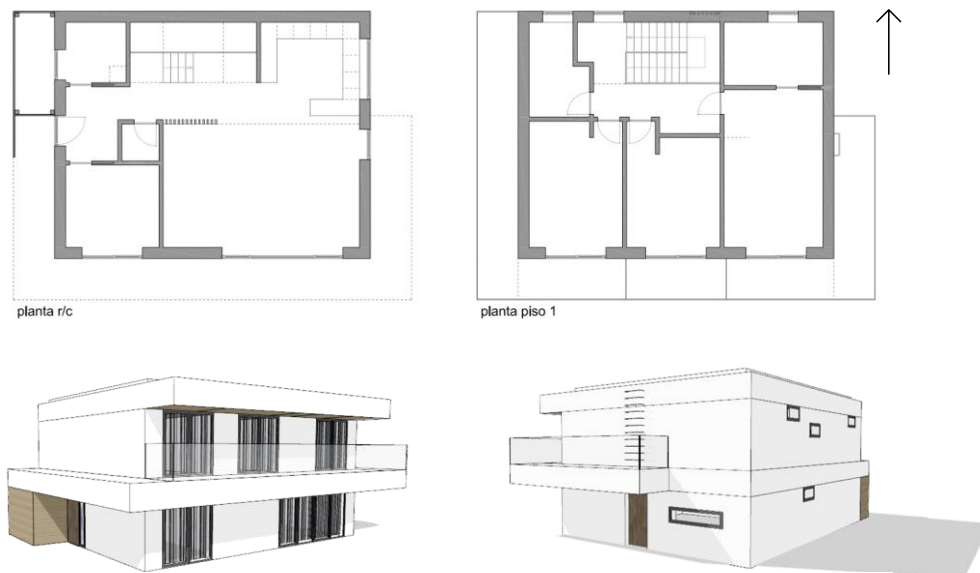


Figura 3939: Plantas e modelo 3D projeto em Gaia (Fonte: Homegrid)

Relativamente ao projeto de **Alijó**, temos um exemplo de um projeto em 'L', com ligeiramente mais área de envolvente e volume que a forma alongada do projeto em **Seixal**. **Alijó** tem, por isso, o fator de forma ligeiramente maior. Partilham o mesmo número de pisos e a disposição dos envidraçados é semelhante (Figura 0 e Figura 1). Neste caso, a zona climática acaba por ser um fator preponderante para a diferença entre os balanços energéticos de cada um, estando a habitação em **Alijó** sujeita a temperaturas de Inverno mais extremas, referentes à zona climática I3, e por isso, mesmo com espessuras de isolamento semelhantes, necessitar de mais energia para aquecimento.

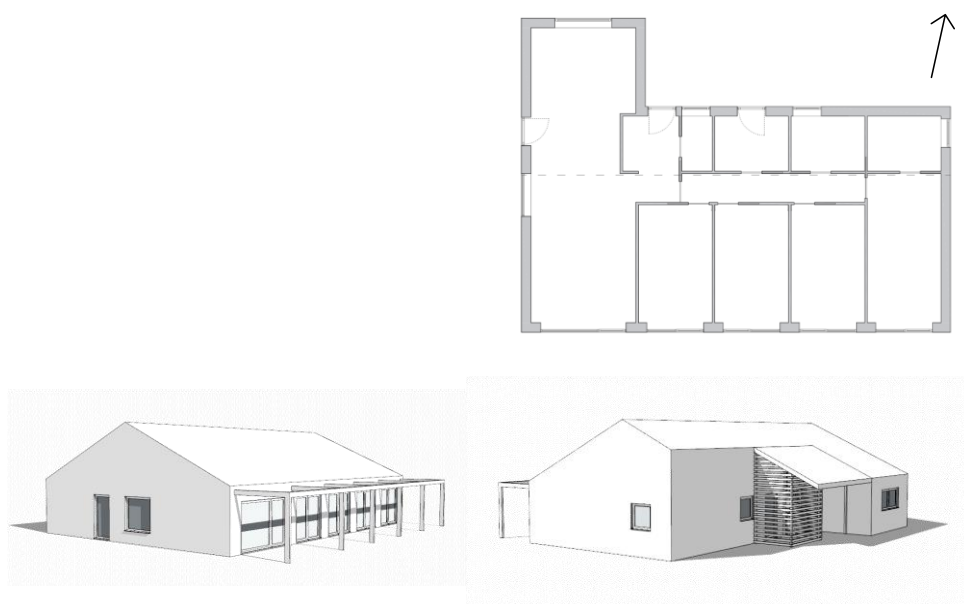


Figura 40: Plantas e modelo 3D projeto em Alijó (Fonte: Homegrid)

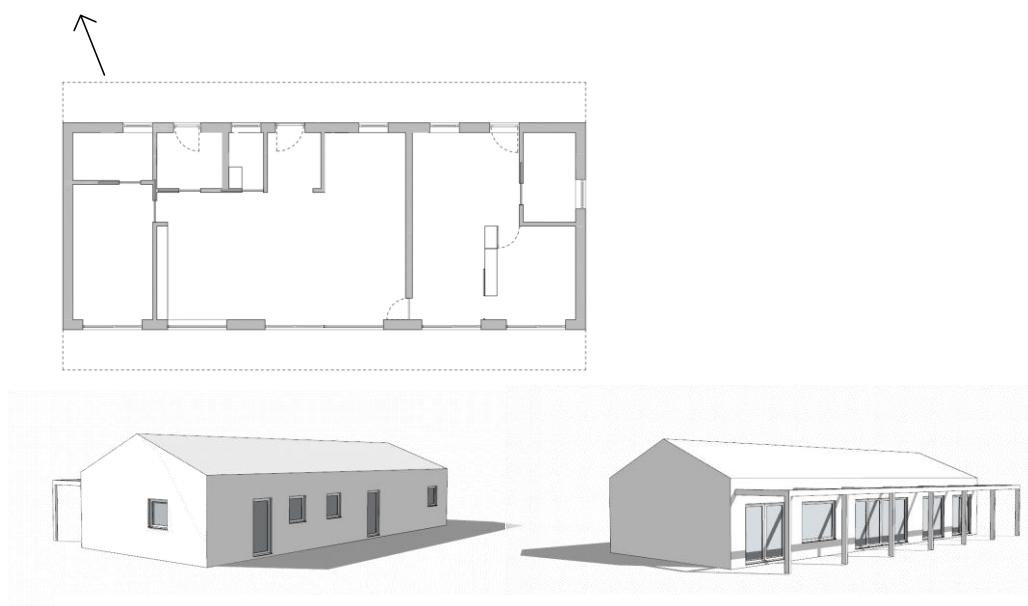


Figura 41: Plantas e modelo 3D projeto em Seixal (Fonte: Homegrid)

Neste grupo a exceção é o projeto em **Aveiro** (Figura 42). Este representa uma habitação de tamanho muito reduzido, com apenas 50m² de área útil sendo, por isso, e apesar da sua compacidade, difícil conseguir um fator de forma mais baixo. A habitação em **Aveiro** fica assim, com a habitação em **Torres Vedras**, junto aos maiores valores de fator de forma. Assim se percebe como projetos com características e tamanhos tão diferentes, - **Aveiro** simples e compacto e **Torres Vedras** complexo e com múltiplas reentrâncias e saliências -, conseguem ter desempenhos energéticos semelhantes, mas por motivos completamente diferentes.

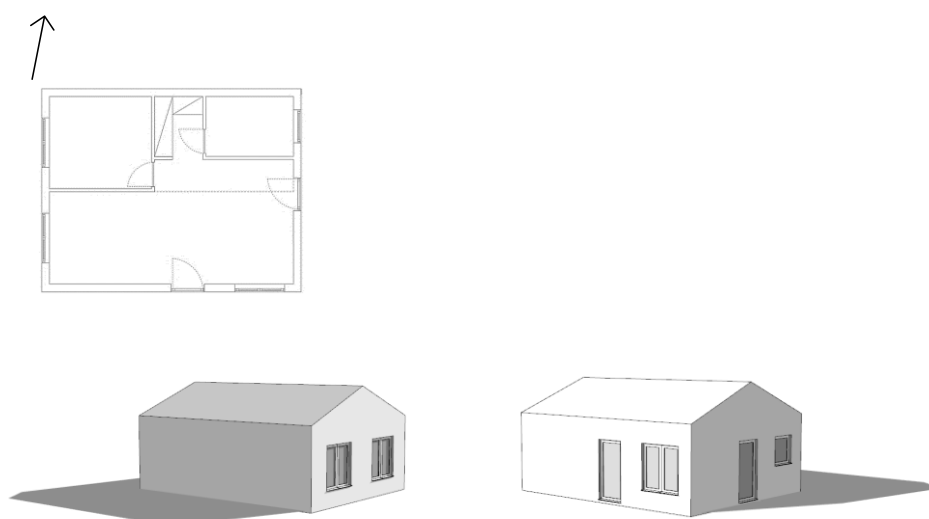


Figura 42: Planta e modelo 3D projeto em Aveiro (Fonte: Homegrid)

6.2.3. A exceção das Caldas da Rainha e Oeiras

Foram analisados, por último, e em maior detalhe, os projetos considerados inicialmente como exceção, **Caldas da Rainha e Oeiras** (Figura 43 e 44). Com esta análise é colmatada a ideia de que o fator de forma, por si só, não é suficiente para determinar o desempenho energético de um edifício. Estas duas habitações, com dois fatores de forma semelhantes e dentro do intervalo aceitável, são dois exemplos, bom e mau, de como devem ser consideradas todas as variantes de um projeto para entender corretamente o seu balanço energético.

O projeto das **Caldas** apresenta necessidades de energia para aquecimento muito reduzidas, que podem ser entendidas se olharmos para o balanço energético das janelas. Este projeto, fruto da grande área de envidraçado a Sul, acaba por ter generosos ganhos de energia solar, colmatando assim a maior parte das perdas pela envolvente.

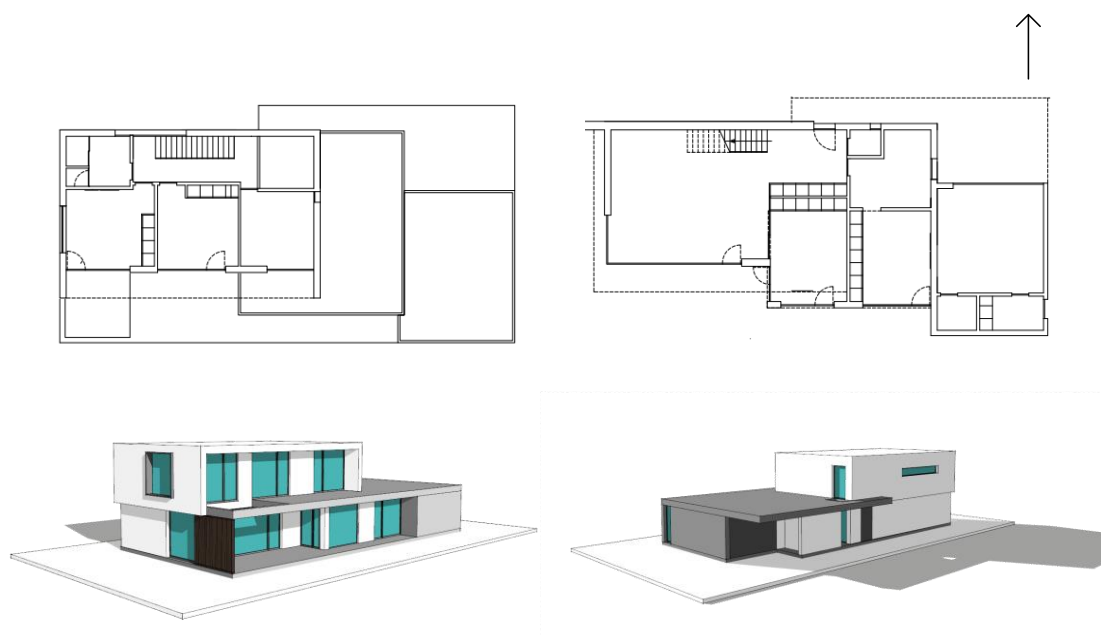


Figura 4340: Plantas e modelo 3D projeto nas Caldas da Rainha (Fonte: Homegrid)

Por outro lado, e por razões inversas, o projeto em **Oeiras**, fruto da má disposição da sua área de envidraçados, maioritariamente a Norte, acaba por aumentar as perdas de energia pela envolvente. Isto resulta num balanço energético que cumpre, no limite, os requisitos *Passive House*, acabando por ser o projeto com as mais altas necessidades de energia para aquecimento.

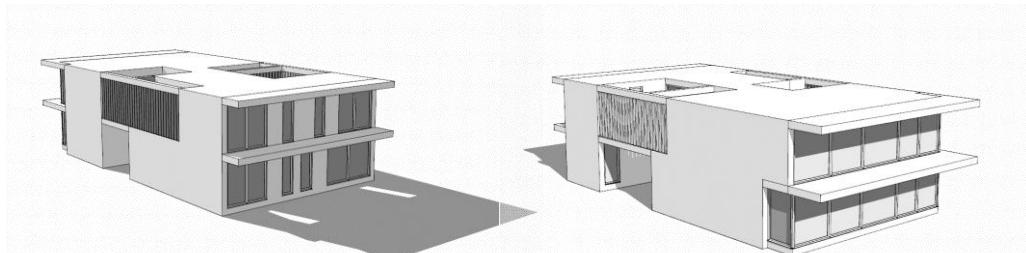


Figura 414: Plantas e modelo 3D projeto em Oeiras (Fonte: Homegrid)

6.3. Considerações

Todos estes projetos disponibilizados pela *Homegrid* foram, sem dúvida, objetos de estudo e de aprendizagem. Em todos os projetos há sempre espaço para avaliar, aprender, e perceber como melhorar e obter resultados que se traduzam em casas mais confortáveis, de qualidade, saudáveis, sustentáveis, eficientes, e com melhor custo-benefício.

É importante realçar que esta análise foi realizada dentro de um intervalo de necessidades de energia bastante reduzido, servindo apenas, neste caso, edifícios de alto desempenho energético. Todas as variações nesta escala ampliada são pouco relevantes quando transitamos a mesma análise para uma escala que sirva o panorama do parque edificado nacional. A própria variação dos picos, referentes aos projetos das Caldas e de Oeiras, deixa de ter tanta relevância quando analisada a esta escala (Figura 45).

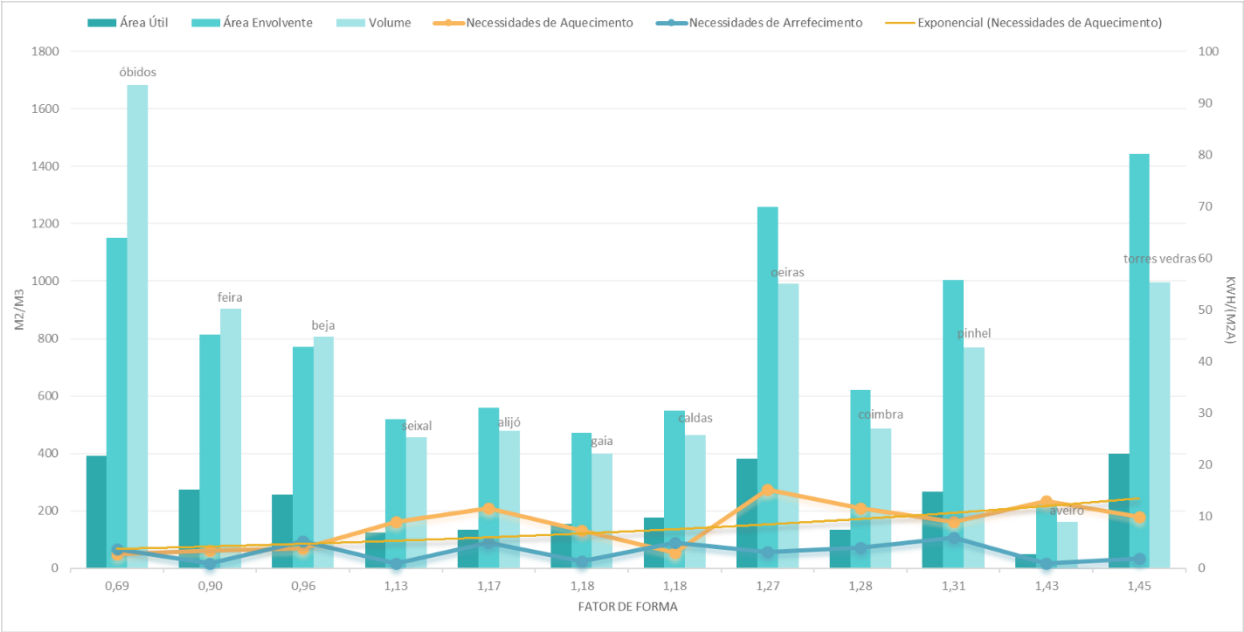


Figura 45: Gráfico de análise geral, a uma escala mais alargada (Fonte: figura de autor)



7. Conclusões e Trabalhos Futuros

7.1. Conclusões

“The obligation of architecture in achieving greater energy efficiency is clear, and this brings new constraints and opportunities to design”. (Braham & Willis, 2013), p.148)

Como se tornou evidente no decorrer do trabalho, o desenho da forma arquitetónica é fundamental para a eficiência e para o conforto dos edifícios, tão relevante nos dias de hoje. Ao otimizarmos a relação entre a área de envolvente térmica e o volume de um edifício, bem como a sua correta orientação, estamos a contribuir para que o projeto de arquitetura ajude a dar uma resposta a esta problemática. Aos arquitetos é, então, urgente exigir uma maior responsabilidade e bom senso no momento de projetar.

O objetivo desta dissertação foi tentar enquadrar e entender o fator de forma na complexidade das variáveis associadas a um projeto de arquitetura, de maneira que, ao projetar algo novo, este possa ser utilizado a favor da sustentabilidade, da eficiência e do conforto.

Foram evidenciadas, ao longo do capítulo 3, algumas estratégias bioclimáticas a adotar pelos edifícios: o cuidado na implantação; a correta orientação solar do edifício e dos respetivos envidraçados; e a atenção às características térmicas da envolvente. Estas são estratégias que representam meios passivos de captação de energia (porque proporcionam um maior aproveitamento da energia solar disponível) que, por sua vez, minimizam a necessidade de recorrer a sistemas ativos de climatização.

No capítulo 4, foram comparadas várias definições existentes do fator de forma e foi proposta uma versão atualizada que foi usada ao longo da presente dissertação.

$$FF = Ae / V$$

Em que Ae representa a área da envolvente e contempla todas as faces de uma geometria, incluindo as que estão em contacto com o solo e V representa o respetivo volume da envolvente térmica.

Neste capítulo, foi também analisado como o fator de forma é considerado uma estratégia bioclimática de contenção das perdas de energia pela envolvente (no período de aquecimento), em climas com invernos muito frios. Posteriormente, foi analisado o 'fator escala' e a sua influência na compactidade dos edifícios. Através do Princípio da Similitude vimos que a compactidade de um edifício depende tanto da sua geometria como do seu tamanho, e que a uma geometria maior corresponde sempre um fator de forma menor (edifício mais compacto), significando menos perdas de energia pela envolvente.

Seguidamente, foi possível constatar, através do estudo realizado no capítulo 5, para geometrias com a mesma área (em planta) e volume, como variando apenas o fator de forma de uma geometria se podem aumentar em cerca de 65% as perdas de energia pela envolvente de um edifício. Também se verificou uma relação direta entre o fator de forma e a espessura de isolamento necessária para atingir condições de conforto semelhantes, no clima português. Geometrias com o fator de forma elevado chegam a necessitar de cerca de 400% mais espessura de isolamento, que correspondem a coeficientes de transmissão térmica mais reduzidos, para atingirem necessidades de energia para aquecimento semelhantes às de geometrias mais compactas.

Tornou-se também claro que, apenas através de alterações da forma dos edifícios e da correta orientação dos envidraçados, é possível obter edifícios de alto desempenho que cumprem com os requisitos mínimos dos coeficientes de transmissão térmica estipulados para cada zona climática, sem que seja necessário o acréscimo de isolamento extra.

No capítulo 6, através da análise de casos concretos de edifícios (nas mais diferentes fases de projeto ou de construção), foi possível verificar, apesar de todas as variantes existentes, uma tendência crescente que acompanha a relação do fator de forma com as necessidades de energia para aquecimento dos edifícios: quanto maior o fator de forma, maiores são as necessidades energéticas dos edifícios.

No entanto, como foi repetidamente enfatizado ao longo desta dissertação, o fator de forma, avaliado isoladamente, não determina o bom (ou mau)

desempenho de um edifício, embora tenha uma grande influência no seu desempenho final. Características como o tamanho, a localização, a orientação solar e a correta disposição e dimensionamento dos envidraçados, são alguns dos fatores, a par da geometria da forma, a considerar.

Concluindo, podemos afirmar que o fator de forma é um conceito do qual os arquitetos podem beneficiar imenso. Todas as características previamente enunciadas, se pensadas previamente, dão respostas passivas a grande parte dos problemas de desempenho energético dos edifícios e/ou facilitam a sua resolução, sendo possível atingir uma relação ótima de custo/benefício de um projeto.

É aqui reforçada, uma vez mais, a grande diversidade de parâmetros que podem servir para avaliar um projeto de arquitetura. Parâmetros estes que devem ser entendidos com o projeto no seu todo, e articulados de modo a que possam proporcionar as melhores condições de conforto a quem os habita, sem que isso implique um maior consumo de energia.

7.2. Trabalhos Futuros

“O que se deseja para o futuro é um maior exercício da consciência no desenho, no projeto, e consciência quer dizer mais (re)conhecimento, informação, pensamento, inteligência, sensibilidade, empatia.”
(Vale, 2019)

Depois de comprovado o notável impacto do fator de forma no desempenho dos edifícios, é pertinente que esta questão comece a ser introduzida na avaliação dos projetos. Aponta-se como possibilidade futura, de um ponto de vista energético, a definição de limites claros para o fator de forma com o objetivo de reduzir o seu impacto nas necessidades energéticas de novos edifícios. Isto é, dar sinais claros aos projetistas sobre o que são limites de razoabilidade na “desconstrução” do volume de um edifício.

Uma possibilidade de trabalho futuro será fazer uma investigação mais detalhada que compare as duas maneiras diversas, aqui identificadas, de calcular o fator de forma, de modo a avaliar as eventuais vantagens e desvantagens de cada uma, do ponto de vista da informação e comunicação com os projetistas.

Seria interessante, também como trabalho futuro, ampliar a análise aqui apresentada a mais exemplos do parque edificado em Portugal, alargando deste modo a amostragem, sistematizando a avaliação, para aferir de que maneira o fator de forma tem impacto em edifícios com um menor desempenho energético.

Do ponto de vista da consciencialização dos projetistas, pensamos que também existe um caminho a trilhar, que poderá ser feito pela divulgação deste trabalho em distintos fóruns, e pela realização de ações diretas junto da comunidade dos arquitetos e estudantes de arquitetura.

8. Referências Bibliográficas

Referências Bibliográficas

8.1. Bibliografia

- Associação Passivhaus Portugal. (2021, March 31). *A importância do PHPP - o desempenho de uma Passive House não é um jogo de sorte*. <http://www.passivhaus.pt/blog-4-43-A-import%C3%A2ncia-do-PHPP---o-desempenho-de-uma-Passive-House-n%C3%A3o-%C3%A9-um-jogo-de-sorte>
- Braham, W. W., & Willis, D. (2013). *Architecture and Energy, Performance and Style*. Routledge.
- Budden, A. (2014, August 7). *How Simple Design Decisions Can Impact on Energy Performance*. <https://www.houseplanninghelp.com/tag/form-factor/>
- Burrell, E. (2015, August 3). *What is the Heat Loss Form Factor?*
- Comissão Europeia. (2020). *Comissão Europeia*. https://ec.europa.eu/info/index_pt
- Comissão Europeia. (2021). *Factsheet - Energy Performance of Buildings. December, 3*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pt/fs_21_3673
- Denzer, A. (2013). *The Solar House*. Rizzoli International Publications, Inc.
- Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG). (2021). *Balanço Energético Nacional 2020*. <https://www.dgeg.gov.pt/media/hmqkkm2m/dgeg-ben-2020.pdf>
- Editora, P. (2022). *Infopédia*. <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa>
- Fernandes, J., & Mateus, R. (2012). Princípios de racionalização energética na arquitectura vernacular. *Seminário “Reabilitação Energética de Edifícios,”* 57–68. <http://hdl.handle.net/1822/21738>
- García-Germán, J. (2010). *De lo Mecánico a lo Termodinámico*. Editorial Gustavo Gili, SL, Barcelona.

- Gonçalves, H., & Graça, J. M. (2004). *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*.
- IEA. (2021). *Global Energy Review 2021 – Analysis - IEA*.
<https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>
- INETI. (1997). *Edifícios Solares Passivos em Portugal*.
- Instituto Nacional de Estatística [INE]. (2021). Censos 2021 - Divulgação dos Resultados Provisórios. In *INE Censos 2021 - Divulgação dos Resultados Provisórios*.
https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_boui=526271534&DESTAQUESmodo=2
- International Energy Agency (IEA). (2021). *Tracking Buildings 2021 – Analysis - IEA*. <https://www.iea.org/reports/tracking-buildings-2021>
- Mazria, E. (1979). *The Passive Solar Energy Book*.
- Moita, F. (2010). *Energia Solar Passiva* (2nd ed.). Argumentum.
- Olgyay, V. (1998). *Arquitectura y Clima* (1ª). Editorial Gustavo Gili, SA, Barcelona.
- Paltsev, S., Schlosser, C., Adam, H., Chen, H., Gao, X., Gurgel, A., Jacoby, H., Morris, J., Prinn, R., Sokolov, A., Strzepek, K., Selin, N., Schmalensee, R., Bartholomay, J., Dworzan, M., & Slinn, A. (2021). *2021 GLOBAL CHANGE OUTLOOK*.
- PHPP (2015). *Passive House Planning Package*. Passivhaus Institut, Darmstadt
- Pinto, A. (2022). *Revista Edifícios e Energia*. Maio-Junho, 22.
- RCCTE (1990). *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*. Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro
- Schneiders, J. (2009). *Passive Houses in Shout West Europe*.
- Simões, Fausto. (2017). *A casa – Da Energia à Ecologia*

Thompson, D'Arcy. (1945). *On Growth and Form*.

Thorpe, D. (2017, February 1). *How changing building shape and form can slash energy use*.

United Nations. (2019). *2019 Revision of World Population Prospects* .

United Nations Environment Programm. (2021). *2021 GLOBAL STATUS REPORT FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector*.
www.globalabc.org.

Vale, Clara. (2019). *Por um design mais (eco)consciente e sensível: Relato de uma experiência em curso*. *Indústria e Ambiente*, nº119, p.28

Willis, D., Braham, W. W., Muramoto, K., & Barber, D. A. (2017). *Energy Accounts: Architectural Representations of Energy, Climate, and the Future*. Routledge.

Referências Bibliográficas

8.2. Créditos das imagens

Figura 1: Evolução da produção mundial de energia (Fonte: figura de autor, a partir de dados da IEA)	13
Figura 2: Produção mundial de energia, peso relativo por fonte. 2019 (Fonte: figura de autor, a partir de dados da IEA).....	14
Figura 3: Consumo mundial de energia final, por setor. 2019 (Fonte: figura de autor, a partir de dados da IEA)	15
Figura 5: Consumo mundial de eletricidade, por setor. 2019 (Fonte: figura de autor, a partir de dados da IEA)	16
Figura 6: Emissões de CO ₂ no Mundo, por setor. 2019 (Fonte: figura de autor, a partir de dados da IEA)	17
Figura 7: Evolução da produção de energia em Portugal, 1979-2019. (Fonte: figura de autor, a partir de dados da IEA).....	18
Figura 8: Produção de energia em Portugal, peso relativo por fonte. 2019 (Fonte: figura de autor, a partir de dados da IEA)	19
Figura 9: Consumo de energia em Portugal, por setor. 2019 (Fonte: figura de autor, a partir de dados da IEA)	20
Figura 10: Emissões de CO ₂ em Portugal, por setor. 2019 (Fonte: figura de autor, a partir de dados da IEA)	20
Figura 11: Consumo de eletricidade em Portugal, por setor. 2019 (Fonte: figura de autor, a partir de dados da IEA).....	21
Figura 12: Consumo de eletricidade no setor doméstico, por fonte. 2020 (Fonte: DGEG).....	22
Figura 13: Representação esquemática da orientação de um edifício em função da radiação solar. (Fonte: Moita, 2010)	30
Figura 14: Esquema das pirâmides: Passado, Presente; Futuro. (Fonte: Stefan Behling, 2017).....	33
Figura 15: Representação esquemática do fator de forma (Fonte: Moita, 2010).....	38
Figura 16: Corte esquemático do funcionamento de um <i>iglu</i> . (Fonte: Moita, 2010).....	39
Figura 17: Influência de um maior perímetro de construção para a mesma área, a altura constante, mantendo os requisitos de conforto. (Fonte: APHPT).....	40

Figura 18: Relação entre compacidade e o desempenho de várias classes energéticas de edifícios. (Fonte: Schneiders, 2009)	41
Figura 19: Zonas climáticas mundiais definidas pela PH. (Fonte: PHI).....	43
Figura 20: Foto de matilha de leões compactada para combater o frio. (Fonte: Simões 2017)	44
Figura 21: Relação entre a compacidade e a escala. (Fonte: Simões, 2017)	46
Figura 22: O esforço exigido e o potencial de poupanças em cada fase do processo. (Fonte: PHI)	48
Figura 23: Excerto da folha de verificação do <i>PHPP</i> onde são apresentados os resultados do balanço energético de um edifício (Fonte: Fonte: <i>PHPP</i>)	53
Figura 24: Excerto da tabela base apresentada no Apêndice II (Fonte: figura de autor).....	54
Figura 25: Gráfico da relação do fator de forma com a área de envolvente (Fonte: figura de autor).....	59
Figura 26: Gráfico da relação do fator de forma PH com a área de envolvente (Fonte: figura de autor).....	60
Figura 27: Gráfico da variação das perdas pela envolvente em função do fator de forma, no período de aquecimento – Análise 1 (Fonte: figura de autor).....	61
Figura 28: Gráfico da variação das perdas pela envolvente em função do fator de forma PH, no período de aquecimento – Análise 1 (Fonte: figura de autor).....	62
Figura 29: Gráfico da variação das perdas pela envolvente em função do fator de forma, no período de aquecimento, considerando os valores mínimos de U para cada zona climática - Análise 2 (Fonte: figura de autor)	67
Figura 30: Gráfico das necessidades energéticas em função do fator de forma e da área de envolvente - Análise 3 (Fonte: figura de autor)	71
Figura 31: Gráfico base - análise global dos projetos (Fonte: figura de autor)	79
Figura 32: Gráfico de análise sem os projetos de exceção (Fonte: figura de autor).....	81
Figura 33: Plantas e modelo 3D projeto em Óbidos (Fonte: Homegrid)	82

Figura 34: Plantas e modelo 3D projeto em Santa Maria da Feira (Fonte: Homegrid)	83
Figura 35: Plantas e modelo 3D projeto em Beja (Fonte: Homegrid)	83
Figura 36: Plantas e modelo 3D projeto em Pinhel (Fonte: Homegrid)	84
Figura 37: Plantas de projeto em Torres Vedras (Fonte: Homegrid)	85
Figura 38: Plantas e modelo 3D projeto em Coimbra (Fonte: Homegrid) .	86
Figura 39: Plantas e modelo 3D projeto em Gaia (Fonte: Homegrid)	87
Figura 40: Plantas e modelo 3D projeto em Alijó (Fonte: Homegrid)	87
Figura 41: Plantas e modelo 3D projeto em Seixal (Fonte: Homegrid)	88
Figura 42: Plantas e modelo 3D projeto em Aveiro (Fonte: Homegrid)	88
Figura 43: Plantas e modelo 3D projeto nas Caldas da Rainha (Fonte: Homegrid)	89
Figura 44: Plantas e modelo 3D projeto em Oeiras (Fonte: Homegrid)	90

8.3. Créditos das Tabelas

Tabela 1: Tipologias base (Fonte: tabela de autor).....	58
Tabela 2: Tabela síntese análise 1 (Fonte: tabela de autor)	59
Tabela 3: Tipologias cobertura inclinada (Fonte: tabela de autor)	63
Tabela 4: Relação do tamanho na eficiência das formas (Fonte: tabela de autor).....	65
Tabela 5: Tabela síntese análise 2 (Fonte: tabela de autor)	66
Tabela 6: Comparação da superfície em contacto com o solo das tipologias B_2 e D_2 - Análise 2 (Fonte: tabela de autor).....	68
Tabela 7: Tabela síntese análise 3.....	69
Tabela 8: tabela base tipologias analisadas (Fonte: tabela de autor)	70
Tabela 9: Análise das espessuras de isolamento e valores de U (Fonte: tabela de autor)	73
Tabela 10: Excerto da tabela síntese dos projetos analisados (Fonte: tabela de autor).....	78

9. Apêndices

9.1. Apêndice I: Cálculo do balanço energético - PHPP

No PHPP, para a aferição do desempenho energético dos edifícios é usado um método de cálculo mensal.

As necessidades de aquecimento são calculadas, na folha de cálculo PHPP, através do balanço entre os ganhos e as perdas úteis do edifício.

O total das perdas é dado por:

- Perdas de calor por transmissão (Q_T): ocorrem nas superfícies da envolvente em contacto com o exterior. (usado nas análises 1 e 2 do capítulo 5)
- Perdas de calor por ventilação (Q_V): são consideradas as perdas para o ar ambiente e para o solo.

Building assembly	Temperature zone	Area m²	U-Value W/(m²K)	Month. red. fac.	G _i kWh/a	kWh/a	Per m² of treated floor area
External wall - Ambient	A	90,0	0,434	1,00	46	1788	17,88
External wall - Ground	B			1,00			
Roof/Ceiling - Ambient	A	100,0	0,400	1,00	46	1829	18,29
Floor slab / Basement ceiling	B	100,0	0,500	1,00	18	892	8,92
	A			1,00			
	A			1,00			
	X			0,75			
Windows	A	30,0	1,302	1,00	46	1786	17,86
Exterior door	A			1,00			
Exterior TB (length/m)	A			1,00			0,00
Perimeter TB (length/m)	P			1,00			0,00
Ground TB (length/m)	B			1,00			0,00
						kWh/(m²a)	
Transmission heat losses Q _T						Total 6295	63,0

Effective air change rate Ambient n _{V,e} Effective air change rate Ground n _{V,g}	n _{V,system} 1/h	η*SHX	η _{HR}	n _{V,Res} 1/h	n _{V,equi,fraction} 1/h		
	0,369	0%	0,00	0,050	0,420		
	0,369	0%	0,00		0,000		
Ventilation losses ambient Q _V Ventilation losses ground Q _{V,e}	V _V m³	n _{V,equi,fraction} 1/h	C _{Air} Wh/(m³K)	G _i kWh/a	kWh/a	kWh/(m²a)	
	250	0,420	0,33	46	1583	15,8	
	250	0,000	0,33	24	0	0,0	
Ventilation heat losses Q _V						Total 1583	15,8

Total heat losses Q _L	Q _T kWh/a	Q _V kWh/a	Reduction factor night/weekend saving	kWh/a	kWh/(m²a)
	6295	1583	1,0	7878	78,8

O total dos ganhos é dado por:

- Ganhos solares pelos envidraçados (Q_s), pela cobertura e pelas superfícies opacas;
- Ganhos de calor internos (Q_i): são considerados o nº de habitantes e aparelhos elétricos relevantes.

Orientation of the area	Reduction factor see 'Windows' worksheet	g-Value (perp. radiation)	Area m²	Global radiation kWh/(m²a)	kWh/a	kWh/(m²a)	
North	0,66	0,50	6,0	195	386		
East	0,66	0,50	6,0	499	988		
South	0,69	0,50	12,0	818	3390		
West	0,66	0,50	6,0	506	1005		
Horizontal	0,00	0,00	0,0	809	0		
Sum opaque areas					733		
Available solar heat gains Q_s					Total	6503	65,0

Internal heat gains Q_i	Length kh/d	Heat. Period d/a	Spec. Power q_i W/m²	A_{TFA} m²	kWh/a	kWh/(m²a)
	0,024	243	2,6	100,0	1516	15,2

Free heat Q_F	$Q_s + Q_i =$	8019	80,2
Ratio free heat to losses	$Q_F / Q_L =$	1,02	
Utilisation factor heat gains η_G	$=$	79%	
Heat gains Q_G	$\eta_G * Q_F =$	6352	63,5

Finalmente, o balanço é calculado através da diferença entre os ganhos (Q_G) e as perdas (Q_L):

$Q_L - Q_G =$	1526	15
---------------	------	----

Exemplo da 'folha de verificação' do PHPP onde são apresentados os resultados do balanço energético de um edifício:

Passive House Verification									
Photo or Drawing				Building: Street: Postcode/City: Province/Country: Building type: Climate data set: PT0002a-Porto Climate zone: 5: Warm Altitude of location: -					
				Home owner / Client: Street: Postcode/City: Province/Country: Mechanical engineer: Street: Postcode/City: Province/Country: Certification: Street: Postcode/City: Province/Country:					
Architecture: Street: Postcode/City: Province/Country: Energy consultancy: Street: Postcode/City: Province/Country: Year of construction: No. of dwelling units: 1 No. of occupants: 2,4				Interior temperature winter [°C]: 20,0 Interior temp. summer [°C]: 25,0 Internal heat gains (IHG) heating case [W/m²]: 2,6 IHG cooling case [W/m²]: 2,6 Specific capacity [Wh/K per m² TFA]: 204 Mechanical cooling: x					
Specific building characteristics with reference to the treated floor area									
The PHPP has not been filled completely; it is not valid as verification									
		Treated floor area m²	100,0		Criteria 15		Alternative criteria -		Fullfilled?² no
Space heating	Heating demand kWh/(m²a)	38	≤	-		10			
	Heating load W/m²	16	≤						
Space cooling	Cooling & dehum. demand kWh/(m²a)	2	≤	16		16		yes	
	Cooling load W/m²	1	≤	-		11			
	Frequency of overheating (> 25 °C) %	-	≤	-				-	
	Frequency of excessively high humidity (> 12 g/kg) %	36	≤	10				no	
Airtightness	Pressurization test result n ₅₀ 1/h		≤	0,6					
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand kWh/(m²a)		≤	#N/D				#N/D	
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand kWh/(m²a)	3	≤					-	
	Generation of renewable energy (in relation to projected building footprint area)	-	≥						

² Empty field: Data missing; '-': No requirement

9.2. Apêndice II: Documentos apoio ao capítulo 5

Tabela base: recolha de informação tipologias – Capítulo 5

(Fonte: tabela de autor)

ID	Aútil (m2)	Altura (m)	A.Env (m2)	Volume (m3)	Fator Forma PH (Ae/Au)	Fator forma (Ae/V)	Modelo 3D
A_1	100	3	320	300	3,20	1,07	
B_1	100	6	280	300	2,80	0,93	
C_1	100	3	350	300	3,50	1,17	
D_1	100	6	300	300	3,00	1,00	
E_1	100	3	350	300	3,50	1,17	
F_1	100	3	365	300	3,65	1,22	
G_1	100	3	374	300	3,74	1,25	
H_1	100	3	380	300	3,80	1,27	
I_1	100	3	395	300	3,95	1,32	
J_1	100	3	440	300	4,40	1,47	
K_1	100	3	386	300	3,86	1,29	

Tabela: resultados das perdas de energia pela envolvente – Análise 1
(Fonte: tabela de autor)

			I2 - Porto	I1 - Lisboa	I1 - Évora	I3 - Bragança
ID	Fator de Forma PH	Fator de Forma	Perdas pela envolvente (kWh/(m2a))	Perdas pela envolvente (kWh/(m2a))	Perdas pela envolvente (kWh/(m2a))	Perdas pela envolvente (kWh/(m2a))
A_1	3,20	1,07	83,2	64,7	74,1	118,8
B_1	2,80	0,93	72,8	56,5	64,8	103,8
C_1	3,50	1,17	93,4	70,9	81,1	130,0
D_1	3,00	1,00	78,0	60,6	69,5	111,3
E_1	3,50	1,17	93,4	70,9	81,1	130,0
F_1	3,65	1,22	99,6	73,9	84,7	135,6
G_1	3,74	1,25	102,0	75,8	86,8	138,9
H_1	3,80	1,27	103,7	77,0	88,2	141,2
I_1	3,95	1,32	107,8	80,1	91,7	146,8
J_1	4,40	1,47	120,2	91,6	102,2	163,6
K_1	3,86	1,29	105,3	78,2	89,6	143,4

Tabela: análise das coberturas – Análise 1

(Fonte: tabela de autor)

ID	Aútil (m2)	Altura (m)	A.Env (m2)	Volume (m3)	Fator Forma PH (Ae/Au)	Fator forma (Ae/V)	tipo de cobertura	variação % Ae	variação % V
A_1	100	3	320,0	300	3,20	1,07		-	-
AA_1	100	2,25-3,75	309,4	300	#REF!	1,03		-3%	-
AB_1	100	3-6,0	384,4	450	3,84	0,85		20%	50%
AC_1	100	3-4,5	339,0	375	3,39	0,90		6%	25%
AD_1	100	3-4,5	324,4	350	3,24	0,93		1%	17%

Tabela: impacto do tamanho no desempenho das formas – Análise 1

(Fonte: tabela de autor)

ID	Áutíl (m2)	Altura (m)	A.Env (m2)	Volume (m3)	Fator Forma PH (Ae/Au)	Fator forma (Ae/V)	Modelo 3D	Perdas pela Envolvente (kWh/(m2a))
B_1	100	6	280	300	2,80	0,93		72,8
C_1	100	3	350	300	3,50	1,17		93,4
B_2	200	6	440	600	2,20	0,73		64,9
C_2	200	6	500	600	2,50	0,83		57

Tabela: resultados das perdas de energia pela envolvente – Análise 2

(Fonte: tabela de autor)

ID	Fator de Forma PH	Fator de Forma	I2 - Porto	I1 - Lisboa	I1 - Évora	I3 - Bragança
			Perdas pela envolvente (kWh/(m ² a))	Perdas pela envolvente (kWh/(m ² a))	Perdas pela envolvente (kWh/(m ² a))	Perdas pela envolvente (kWh/(m ² a))
A_2	3,20	1,07	61,5	44,7	38,2	69,7
B_2	2,80	0,93	61,5	45,9	38,0	65,0
C_2	3,50	1,17	70,8	50,5	44,2	77,3
D_2	3,00	1,00	67,2	50,5	43,2	71,9
E_2	3,50	1,17	70,8	50,5	44,2	77,3
F_2	3,65	1,22	74,6	53,4	46,5	81,1
G_2	3,74	1,25	76,9	55,1	47,9	83,4
H_2	3,80	1,27	78,4	56,2	48,9	84,9
I_2	3,95	1,32	83,9	59,1	51,2	88,7
J_2	4,40	1,47	95,6	69,6	58,3	100,1
K_2	3,86	1,29	80,0	57,4	49,8	86,4

Tabela base - Análise 3
(Fonte: tabela de autor)

ID	Orientação	Ártil (TFA) (m2)	Altura (m)	Aenv. (m2)	Volume (m3)	Fator Forma PH (Ae/Au)	Fator forma (Ae/V)	N.Aq (kWh/(m2a))	Carga Aq (W/m2)	N.Arref (kWh/(m2a))	Carga Arref (W/m2)
A_3	N-S	100	3	320	300	3,20	1,07	17	16	2	3
B_3	N-S	100	6	280	300	2,80	0,93	8	14	5	5
B_3.1	E-O	100	6	280	300	2,80	0,93	15	16	5	5
C_3	N-S	100	3	350	300	3,50	1,17	11	15	3	4
C_3.1	E-O	100	3	350	300	3,50	1,17	24	19	3	4
CC_3	N-S	100	20	350	300	3,50	1,17	6	17	14	9
CC_3.1	E-O	100	20	350	300	3,50	1,17	12	19	13	9
D_3	N-S	100	6	300	300	3,00	1,00	13	17	3	5
J_3	N-S	100	3	395	300	3,95	1,32	20	20	3	4

Tabela: estudo das espessuras de isolamento e coeficientes de transmissão térmica (U) – Análise 3

(Fonte: tabela de autor)

ID	Orientação	Fator forma (Ae/V)	isolamento (mm)	U (W/m2K)
A_3	N-S	1,07	65	0,434
B_3	N-S	0,93	32	0,736
B_3.1	E-O	0,93	52	0,518
C_3	N-S	1,17	40	0,630
C_3.1	E-O	1,17	135	0,232
CC_3	N-S	1,17	33	0,721
CC_3.1	E-O	1,17	48	0,551
D_3	N-S	1,00	50	0,534
I_3	N-S	1,32	80	0,366

Composição das paredes para estudo de espessuras de isolamento e respetivos coeficientes de transmissão térmica (U)

Assembly no.	Building assembly description					Interior insulation?
01ud	paredes exteriores					
Heat transmission resistance [m ² K/W]						
Orientation of building element		interior R _{si}		0,13		
Adjacent to		exterior R _{se}		0,04		
Area section 1	λ [W/(mK)]	Area section 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Area section 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Thickness [mm]
reboco exterior	0,350					25
EPS	0,035					65
tijolo cerâmico	1,900					250
reboco interior	0,350					25
Percentage of sec. 1		Percentage of sec. 2		Percentage of sec. 3		Total
100%						36,5 cm
U-value supplement		W/(m ² K)		U-value:		0,434 W/(m ² K)

A_3

Assembly no.	Building assembly description					Interior insulation?
01ud	paredes exteriores					
Heat transmission resistance [m ² K/W]						
Orientation of building element		interior R _{si}		0,13		
Adjacent to		exterior R _{se}		0,04		
Area section 1	λ [W/(mK)]	Area section 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Area section 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Thickness [mm]
reboco exterior	0,350					25
EPS	0,035					32
tijolo cerâmico	1,900					250
reboco interior	0,350					25
Percentage of sec. 1		Percentage of sec. 2		Percentage of sec. 3		Total
100%						33,2 cm
U-value supplement		W/(m ² K)		U-value:		0,736 W/(m ² K)

B_3

Assembly no.	Building assembly description		Interior insulation?			
01ud	paredes exteriores					
Heat transmission resistance [m ² K/W]						
Orientation of building element	2-Wall	interior R _{si}	0,13			
Adjacent to	1-Outdoor air	exterior R _{se}	0,04			
Area section 1	λ [W/(mK)]	Area section 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Area section 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Thickness [mm]
reboco exterior	0,350					25
EPS	0,035					52
tijolo cerâmico	1,900					250
reboco interior	0,350					25
Percentage of sec. 1	100%	Percentage of sec. 2		Percentage of sec. 3		Total
						35,2 cm
U-value supplement		U-value:	0,518	W/(m ² K)		

B_3.1

Assembly no.	Building assembly description		Interior insulation?			
01ud	paredes exteriores					
Heat transmission resistance [m ² K/W]						
Orientation of building element	2-Wall	interior R _{si}	0,13			
Adjacent to	1-Outdoor air	exterior R _{se}	0,04			
Area section 1	λ [W/(mK)]	Area section 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Area section 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Thickness [mm]
reboco exterior	0,350					25
EPS	0,035					40
tijolo cerâmico	1,900					250
reboco interior	0,350					25
Percentage of sec. 1	100%	Percentage of sec. 2		Percentage of sec. 3		Total
						34,0 cm
U-value supplement		U-value:	0,630	W/(m ² K)		

C_3

Assembly no.	Building assembly description				Interior insulation?
01ud	paredes exteriores				
Heat transmission resistance [m²K/W]					
Orientation of building element	2-Wall	interior R _{si}		0,13	
Adjacent to	1-Outdoor air	exterior R _{se}		0,04	
Area section 1	λ [W/(mK)]	Area section 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Area section 3 (optional)	λ [W/(mK)]
reboco exterior	0,350				
EPS	0,035				
tijolo cerâmico	1,900				
reboco interior	0,350				
Percentage of sec. 1		Percentage of sec. 2		Percentage of sec. 3	
100%					
U-value supplement		W/(m²K)		U-value: 0,232 W/(m²K)	
				Total 43,5 cm	

C_3.1

Assembly no.	Building assembly description						Interior insulation?
01ud	paredes exteriores						
Heat transmission resistance [m²K/W]							
Orientation of building element	2-Wall	interior R _{si}					
Adjacent to	1-Outdoor air	exterior R _{se}					
Area section 1	λ [W/(mK)]	Area section 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Area section 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Thickness [mm]	
reboco exterior	0,350					25	
EPS	0,035					33	
tijolo cerâmico	1,900					250	
reboco interior	0,350					25	
Percentage of sec. 1		Percentage of sec. 2		Percentage of sec. 3		Total	
100%						33,3 cm	
U-value supplement		W/(m²K)		U-value:		0,721 W/(m²K)	

CC_3

Assembly no.	Building assembly description		Interior insulation?
01ud	paredes exteriores		
Heat transmission resistance [m²K/W]			
Orientation of building element	2-Wall	interior R_{si}	0,13
Adjacent to	1-Outdoor air	exterior R_{se}	0,04
Area section 1	λ [W/(mK)]	Area section 2 (optional)	λ [W/(mK)]
Area section 3 (optional)	λ [W/(mK)]		
reboco exterior	0,350		
EPS	0,035		
tijolo cerâmico	1,900		
reboco interior	0,350		
Percentage of sec. 1	Percentage of sec. 2	Percentage of sec. 3	Total
100%			34,8 cm
U-value supplement	W/(m²K)	U-value:	0,551 W/(m²K)

CC_3.1

Assembly no.	Building assembly description		Interior insulation?
01ud	paredes exteriores		
Heat transmission resistance [m²K/W]			
Orientation of building element	2-Wall	interior R_{si}	0,13
Adjacent to	1-Outdoor air	exterior R_{se}	0,04
Area section 1	λ [W/(mK)]	Area section 2 (optional)	λ [W/(mK)]
Area section 3 (optional)	λ [W/(mK)]		
reboco exterior	0,350		
EPS	0,035		
tijolo cerâmico	1,900		
reboco interior	0,350		
Percentage of sec. 1	Percentage of sec. 2	Percentage of sec. 3	Total
100%			35,0 cm
U-value supplement	W/(m²K)	U-value:	0,534 W/(m²K)

D_3

Assembly no.
01ud

Building assembly description
paredes exteriores

Interior insulation?

Orientation of building element
2-Wall

Heat transmission resistance [m²K/W]
interior R_{si} 0,13
exterior R_{se} 0,04

Adjacent to
1-Outdoor air

Area section 1	λ [W/(mK)]	Area section 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Area section 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Thickness [mm]
reboco exterior	0,350					25
EPS	0,035					80
tijolo cerâmico	1,900					250
reboco interior	0,350					25

Percentage of sec. 1
100%

Percentage of sec. 2

Percentage of sec. 3

Total
38,0 cm

U-value supplement
W/(m²K)

U-value: 0,366 W/(m²K)

J_3

9.3. Apêndice III: Documentos apoio capítulo 6

Tabela base: recolha de informação sobre os projetos – capítulo 6

(Fonte: tabela de autor)

projeto	localização	zona climática	cobertura	nº de pisos	TFa (m2)	A Env (m2)	V (m3)	N Ag (kWh/(m2a))	N Arref (kWh/(m2a))	Fator Forma (A/V)	Fator Forma PH (a/Au)	mm isolamento pavimento	U pavimento (W/m2a)	mm isolamento paredes	U parede (W/m2a)	mm isolamento cobertura	U cobertura (W/m2a)
2022.01	pinhel	I3	p	1	266,3	1003,8	768,7	9,0	6,0	1,31	3,77	60	0,414	100	0,294	200	0,171
2021.05	oeiras	I1	p	2	381,4	1258,5	992,0	15,3	3,2	1,27	3,30	60	0,499	80	0,310	120	0,215
2021.06	coimbra	I1	i	2	134,8	622,0	485,8	11,7	4,0	1,28	4,61	80	0,381	120	0,240	200	0,21
2021.11	aveiro	I1	i	1	49,3	232,5	162,7	13,0	1,0	1,43	4,72	70	0,329	60	0,162	140	0,22
2021.12	beja	I1	i	2	257,9	771,5	805,3	3,9	5,2	0,96	2,99	30	0,82	80	0,322	200	0,17
2020.11	alijó	I3	i	1	135,9	559,9	479,9	11,7	5,0	1,17	4,12	100	0,278	140	0,208	200	0,17
2020.15	caldas	I1	p	2	178,3	549,6	464,0	3,0	5,0	1,18	3,08	60	0,401	80	0,284	100	0,318
2020.28	seixal	I1	i	1	124,8	518,0	457,1	9,0	1,0	1,13	4,15	100	0,281	140	0,208	200	0,169
2018.28	gala	I2	p	2	153,8	471,5	400,0	7,3	1,3	1,18	3,07	50	0,549	100	0,275	200	0,172
2018.17	feira	I2	i	2	273,4	812,8	903,4	3,5	1,0	0,90	2,97	60	0,414	130	0,238	180	0,232
2018.19	óblidos	I1	p	2	391,0	1152,2	1681,8	2,7	3,8	0,69	2,95	100	0,331	100	0,242	150	0,233
2017.13	torres vedras	I1	p	1	398,4	1443,6	996,0	10,0	2,0	1,45	3,62	60	0,419	100	0,266	150	0,229

PHPP Verification - Habitação unifamiliar em Pinhel

		Treated floor area m ²			Criteria	Alternative criteria	Fulfilled? ²
Space heating	Heating demand kWh/(m ² a)	266,3		≤	15	-	yes
	Heating load W/m ²	12		≤	-	10	
		16		≤			
Space cooling	Cooling & dehum. demand kWh/(m ² a)	-		≤	-	-	-
	Cooling load W/m ²	-		≤	-	-	
		-		≤			
	Frequency of overheating (> 25 °C) %	10		≤	10		yes
	Frequency of excessively high humidity (> 12 g/kg) %	0		≤	20		yes
Airtightness	Pressurization test result n ₅₀ 1/h	0,6		≤	0,6		yes
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand kWh/(m ² a)	2		≤	120		yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand kWh/(m ² a)	1		≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building footprint area) kWh/(m ² a)	-		≥	-	-	

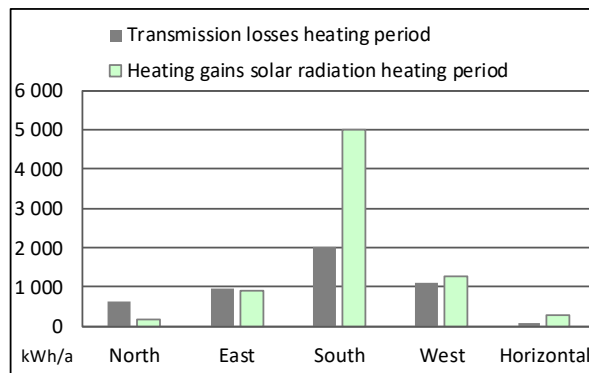
² Empty field: Data missing; '-': No requirement

Dados Climáticos:

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Days	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
ud---01-PT0014a-Manteigas	Latitude °	40,4	Longitude °	-7,5	Altitude [m]	797	Daily temperature swing Summer [K]				11,3	
Exterior temperature	7,3	8,4	10,9	11,7	15,0	19,4	22,0	21,9	18,6	14,5	10,2	8,2
Radiation North	15	19	29	39	51	57	55	44	29	23	15	15
Radiation East	44	54	90	98	116	128	137	134	99	70	50	39
Radiation South	102	110	134	106	100	92	103	124	135	127	115	87
Radiation West	44	54	90	98	116	128	137	134	99	70	50	39
Horizontal radiation	58	79	135	159	200	226	235	210	153	100	64	48
Dew point temperature	3,1	3,5	4,3	5,8	8,7	11,6	12,8	12,7	11,5	9,7	5,9	3,9
Sky temperature	-4,7	-4,1	-2,6	-1,3	2,0	5,6	7,6	7,3	6,8	4,3	-0,6	-3,2
Ground temperature	14,4	13,8	13,7	14,3	16,4	17,7	18,8	19,4	19,5	17,9	16,8	15,5

Balanço das janelas

Window area orientation	Glazing area
Standard values →	m ²
North	12,52
East	20,38
South	46,69
West	22,16
Horizontal	1,51
Total or average value for a	103,26



PHPP Verification - Habitação unifamiliar em Oeiras

		Treated floor area m²	381,4		Criteria	Alternative criteria	Fulfilled? ²
Space heating	Heating demand kWh/(m²a)	15,3	≤	15	-	yes	
	Heating load W/m²	15,0	≤	-	10		
Space cooling	Cooling & dehum. demand kWh/(m²a)	3,2	≤	15	15	yes	
	Cooling load W/m²	8,2	≤	-	10		
	Frequency of overheating (> 25 °C) %	-	≤	-	-	-	
	Frequency of excessively high humidity (> 12 g/kg) %	0	≤	10	-	yes	
Airtightness	Pressurization test result n ₅₀ 1/h	0,6	≤	0,6	-	yes	
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand kWh/(m²a)	75	≤	120	-	yes	
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand kWh/(m²a)	37	≤	-	-	-	
	Generation of renewable energy (in relation to projected building footprint area) kWh/(m²a)	0	≥	-	-		

² Empty field: Data missing; -/- No requirement

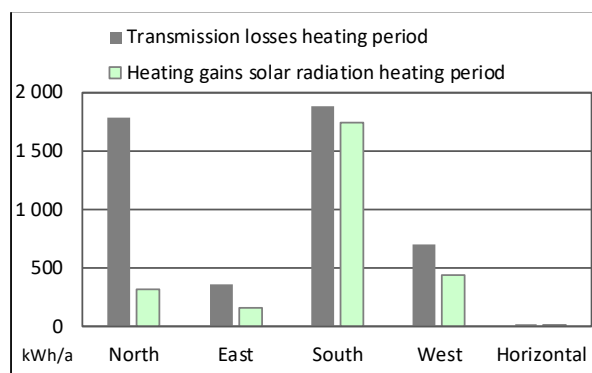
² Empty field: Data missing; '-': No requirement

Dados Climáticos: Lisboa

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Days	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
PT0001a-Lisboa	Latitude °	38,7	Longitude °	-9,1	Altitude [m]	10	Daily temperature swing Summer [K]			12,0		
Exterior temperature	11,8	12,3	13,2	14,5	16,5	19,2	21,6	22,1	21,5	18,3	14,7	12,1
Radiation North	17	18	27	34	47	51	49	35	29	22	16	14
Radiation East	44	49	90	93	109	116	123	120	94	70	42	39
Radiation South	109	97	139	101	94	85	93	114	127	133	99	104
Radiation West	46	48	89	93	112	120	125	114	91	70	44	40
Horizontal radiation	66	78	144	158	199	216	225	207	155	113	65	58
Dew point temperature	8,0	8,3	8,7	9,3	11,5	13,4	14,9	15,1	14,9	13,5	10,5	8,6
Sky temperature	-5,1	-0,5	1,0	5,0	8,0	10,7	12,7	12,5	10,2	5,4	-0,7	-5,3
Ground temperature	16,5	15,4	15,1	15,5	16,7	19,5	21,0	22,0	22,4	20,7	19,5	18,0

Balanço das janelas

Window area orientation	Glazing area
Standard values →	m²
North	66,72
East	14,39
South	77,88
West	33,82
Horizontal	0,40
Total or average value for a	193,21



PHPP Verification - Habitação unifamiliar em Coimbra

		Treated floor area m²		Criteria	Alternative criteria	Fulfilled? ²
Space heating	Heating demand kWh/(m²a)	11,7	≤	15	-	yes
	Heating load W/m²	15,9	≤	-	10	
	Cooling & dehum. demand kWh/(m²a)	4	≤	16	16	
Space cooling	Cooling load W/m²	6	≤	-	10	yes
	Frequency of overheating (> 25 °C) %	-	≤	-	-	
	Frequency of excessively high humidity (> 12 g/kg) %	3	≤	10	-	
Airtightness	Pressurization test result n ₅₀ 1/h	0,6	≤	0,6	-	yes
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand kWh/(m²a)	94	≤	120	-	yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand kWh/(m²a)	44	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building footprint area)	0	≥	-	-	

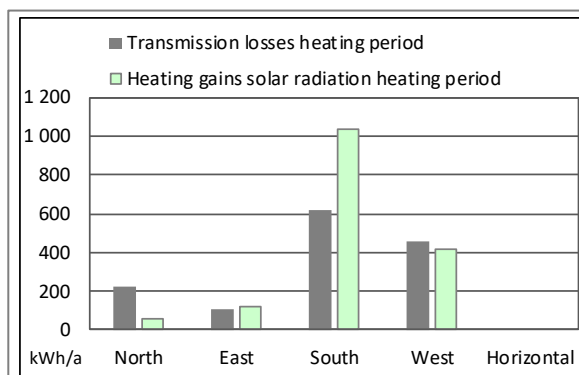
² Empty field: Data missing; '-': No requirement

Dados Climáticos: Coimbra

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Days	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
ud--01-PT0004a-Coimbra	Latitude °	40,2	Longitude °	-8,4	Altitude [m]	141	Daily temperature swing Summer [K]			10,1		
Exterior temperature	10,1	11,1	12,8	14,1	16,5	19,8	22,1	22,1	20,6	17,2	13,3	10,8
Radiation North	16	19	30	38	50	57	55	45	30	23	16	15
Radiation East	48	54	91	106	118	128	135	135	98	73	49	42
Radiation South	111	109	134	115	97	92	99	121	133	133	114	96
Radiation West	48	54	91	106	118	128	135	135	98	73	49	42
Horizontal radiation	62	81	134	170	202	227	235	213	153	106	65	51
Dew point temperature	6,5	7,4	7,8	8,7	11,3	14,3	16,0	15,5	15,2	13,2	9,4	7,5
Sky temperature	-0,1	0,8	1,2	2,2	4,8	7,8	9,6	9,1	8,8	6,7	2,8	0,9
Ground temperature	16,3	15,6	15,4	15,9	16,9	19,5	20,7	21,4	21,6	19,7	18,7	17,4

Balanço das janelas

Window area orientation	Glazing area
Standard values →	m²
North	6,21
East	2,91
South	16,80
West	12,21
Horizontal	0,00
Total or average value for a	38,13



PHPP Verification - Habitação unifamiliar em Aveiro

		Treated floor area m²		Criteria	Alternative criteria	Fulfilled? ²
Space heating	Heating demand kWh/(m²a)	49,3	≤	15	-	yes
	Heating load W/m²	11	≤	-	10	
	Cooling & dehum. demand kWh/(m²a)	1	≤	17	17	
Space cooling	Cooling load W/m²	5	≤	-	11	yes
	Frequency of overheating (> 25 °C) %	-	≤	-	-	
	Frequency of excessively high humidity (> 12 g/kg) %	6	≤	10	-	
Airtightness	Pressurization test result n ₅₀ 1/h	0,6	≤	0,6	-	yes
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand kWh/(m²a)	154	≤	120	-	no
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand kWh/(m²a)	78	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building footprint area)	0	≥	-	-	

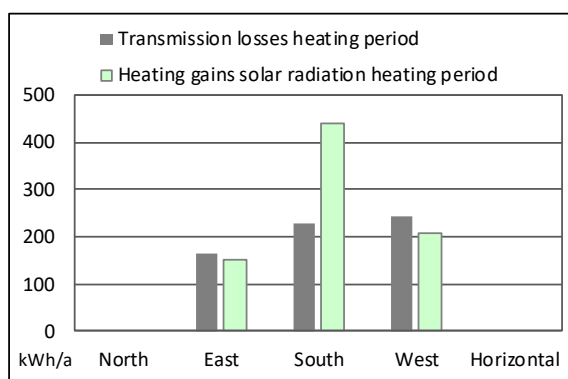
² Empty field: Data missing; '-': No requirement

Dados Climáticos: Aveiro

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Days	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	V
ud--00-lhav0	Latitude °	41,1	Longitude °	-8,6	Altitude [m]	10	Daily temperature swing Summer [K]				7,9		
Exterior temperature	9,4	9,9	11,4	13,0	15,2	17,7	19,5	19,4	18,4	15,8	11,8	9,4	
Radiation North	15	19	27	35	47	51	50	39	29	23	16	13	
Radiation East	38	46	79	90	114	116	119	117	85	65	36	31	
Radiation South	105	92	125	101	94	86	91	112	123	120	93	88	
Radiation West	42	46	77	90	105	116	113	111	87	65	44	37	
Horizontal radiation	59	71	126	151	193	208	206	192	145	101	60	48	
Dew point temperature	6,7	6,6	7,7	9,3	11,5	14,0	15,2	15,8	14,5	12,6	8,7	7,0	
Sky temperature	-0,1	0,1	1,5	2,4	5,3	7,5	9,2	9,0	8,9	6,6	2,3	0,1	
Ground temperature	13,9	13,0	12,8	13,4	14,6	16,2	17,6	18,6	18,8	18,2	16,9	15,4	

Balanço das janelas

Window area orientation	Glazing area
Standard values →	m²
North	0,00
East	2,39
South	3,30
West	3,26
Horizontal	0,00
Total or average value for all	8,95



PHPP Verification - Habitação unifamiliar em Beja

		Treated floor area m ²	257,9		Criteria	Alternative criteria	Fulfilled? ²
Space heating	Heating demand kWh/(m ² a)	3,9	≤	15	-	yes	
	Heating load W/m ²	9,3	≤	-	10		
Space cooling	Cooling & dehum. demand kWh/(m ² a)	5,2	≤	15	15	yes	
	Cooling load W/m ²	8,0	≤	-	10		
	Frequency of overheating (> 25 °C) %	-	≤	-		-	
	Frequency of excessively high humidity (> 12 g/kg) %	0	≤	10		yes	
Airtightness	Pressurization test result n ₅₀ 1/h	0,6	≤	0,6		yes	
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand kWh/(m ² a)	48	≤	120		yes	
	PER demand kWh/(m ² a)	23	≤	-	-	-	
Primary Energy Renewable (PER)	Generation of renewable energy (in relation to projected building footprint area) kWh/(m ² a)	0	≥	-	-		

2 Empty field; Data missing; -: No requirement

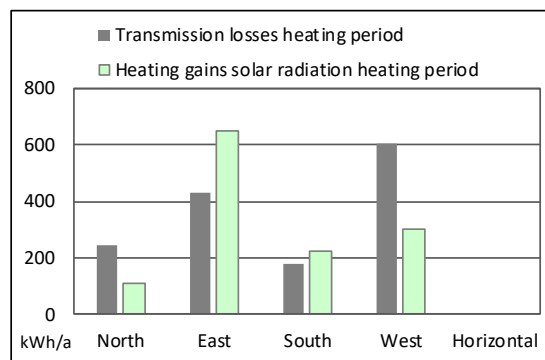
² Empty field: Data missing; -: No requirement

Dados Climáticos: Beja

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Days	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
ud--01-PT0006a-Beja	Latitude °	38,0	Longitude °	-7,9	Altitude [m]	246	Daily temperature swing Summer [K]			14,5		
Exterior temperature	10,5	11,5	14,1	15,3	18,4	22,7	25,4	25,4	23,1	18,9	14,3	11,5
Radiation North	17	20	29	37	52	58	57	44	29	24	17	16
Radiation East	55	61	98	107	128	131	141	137	105	79	60	46
Radiation South	131	120	140	107	96	85	95	117	136	140	139	110
Radiation West	55	61	98	107	128	131	141	137	105	79	60	46
Horizontal radiation	74	90	147	174	218	232	244	219	166	118	81	60
Dew point temperature	7,4	8,1	9,2	9,9	11,7	14,0	14,8	15,3	15,1	13,6	10,0	8,3
Sky temperature	0,5	1,7	2,9	2,7	5,2	8,9	10,2	10,2	10,9	8,6	4,0	1,4
Ground temperature	19,5	19,1	19,0	19,4	20,1	20,9	21,6	22,1	22,1	21,7	21,0	20,2

Balanço das janelas

Window area orientation	Glazing area
Standard values →	m²
North	8,52
East	15,34
South	6,15
West	20,07
Horizontal	0,00
Total or average value for all	50,08



PHPP Verification - Habitação unifamiliar em Alijó

		Treated floor area m²			Criteria	Alternative criteria	Fulfilled? ²
Space heating	Heating demand kWh/(m²a)	135,9		≤	15	-	yes
	Heating load W/m²	11,7		≤	-	10	
	Cooling & dehum. demand kWh/(m²a)	5		≤	15	15	
Space cooling	Cooling load W/m²	10		≤	-	10	yes
	Frequency of overheating (> 25 °C) %	-		≤	-	-	
	Frequency of excessively high humidity (> 12 g/kg) %	0		≤	10	-	
Airtightness	Pressurization test result n ₅₀ 1/h	0,6		≤	0,6	-	yes
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand kWh/(m²a)	77		≤	120	-	yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand kWh/(m²a)	42		≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building footprint area)	4		≥	-	-	

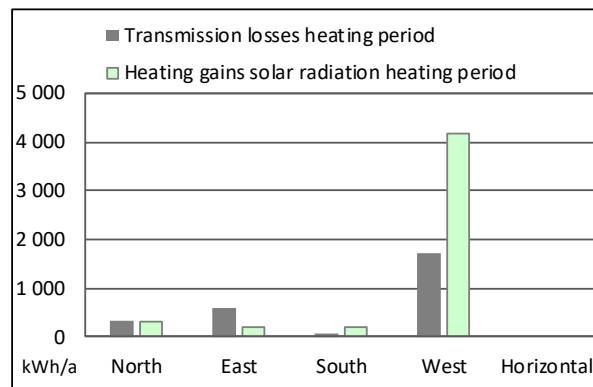
² Empty field: Data missing; '-': No requirement

Dados Climáticos: Vila Real

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Days	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
ud---01-PT0009a-Vila Real	Latitude °	41,3	Longitude °	-7,7	Altitude [m]	562	Daily temperature swing Summer [K]				13,4	
Exterior temperature	5,5	7,4	10,2	11,0	14,2	18,1	20,4	20,7	17,5	13,5	8,8	6,4
Radiation North	15	18	28	38	48	55	55	46	29	23	15	14
Radiation East	44	55	87	102	114	125	137	132	97	71	47	42
Radiation South	101	116	126	113	96	90	104	122	134	125	108	91
Radiation West	44	55	87	102	114	125	137	132	97	71	47	42
Horizontal radiation	56	79	126	162	194	221	235	206	149	100	62	45
Dew point temperature	4,2	4,8	5,7	7,0	9,8	12,7	14,0	13,8	12,7	10,9	7,2	5,1
Sky temperature	-2,0	-1,1	0,1	0,2	3,6	7,0	9,1	9,1	8,8	6,6	1,8	-0,7
Ground temperature	14,2	13,6	13,5	14,1	16,6	17,8	18,9	19,5	19,5	17,4	16,4	15,2

Balanço das janelas

Window area orientation	Glazing area
Standard values →	m²
North	3,91
East	6,39
South	0,72
West	20,33
Horizontal	0,00
Total or average value for all	31,35



PHPP Verification - Habitação unifamiliar nas Caldas da Rainha

		Treated floor area m ²		Criteria	Alternative criteria	Fulfilled? ²
Space heating	Heating demand kWh/(m ² a)	178,3	≤	15	-	yes
	Heating load W/m ²	3	≤	-	10	
	Cooling & dehum. demand kWh/(m ² a)	14	≤	16	16	
Space cooling	Cooling load W/m ²	5	≤	-	10	yes
	Frequency of overheating (> 25 °C) %	8	≤	-	-	
	Frequency of excessively high humidity (> 12 g/kg) %	-	≤	10	-	
Airtightness	Pressurization test result n ₅₀ 1/h	7	≤	0,6	-	yes
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand kWh/(m ² a)	0,6	≤	120	-	yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand kWh/(m ² a)	66	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building footprint area)	31	≥	-	-	
		0				

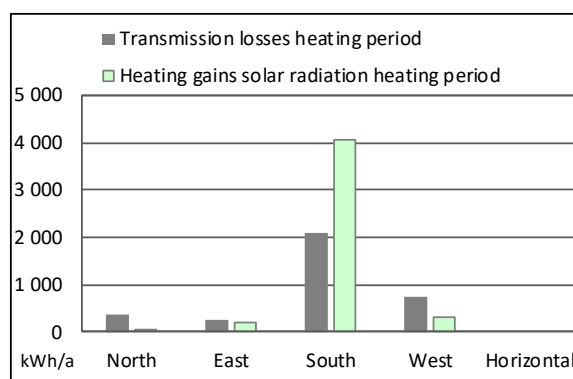
² Empty field: Data missing; '-': No requirement

Dados Climáticos: Leiria

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Days	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
ud---01-Leiria	Latitude °	39,8	Longitude °	-8,8	Altitude [m]	30	Daily temperature swing Summer [K]				9,4	
Exterior temperature	10,0	11,1	13,0	14,1	16,3	19,1	20,4	20,7	19,5	16,9	12,9	10,9
Radiation North	17	20	30	39	51	57	56	44	29	24	16	15
Radiation East	48	55	93	104	121	129	136	134	100	74	50	43
Radiation South	109	113	137	108	98	90	99	121	134	138	114	100
Radiation West	48	55	93	104	121	129	136	134	100	74	50	43
Horizontal radiation	64	82	137	168	208	229	236	213	156	110	67	54
Dew point temperature	7,7	8,4	9,5	10,1	11,9	14,3	15,8	16,2	15,5	13,8	10,4	8,5
Sky temperature	2,2	2,8	3,5	3,1	5,0	7,3	8,7	9,2	10,1	9,1	5,4	3,0
Ground temperature	14,5	13,3	13,1	14,0	16,6	18,6	20,5	21,7	21,9	21,0	18,4	16,4

Balanco das janelas

Window area orientation	Glazing area
Standard values →	m ²
North	7,03
East	5,05
South	46,72
West	15,79
Horizontal	0,00
Total or average value for all	74,58



PHPP Verification - Habitação unifamiliar em Gaia

		Treated floor area m ²			Criteria	Alternative criteria	Fulfilled? ²
Space heating	Heating demand kWh/(m ² a)	153,8		≤	15	-	yes
	Heating load W/m ²	7,31		≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand kWh/(m ² a)	9,00		≤	-	-	-
	Cooling load W/m ²	-		≤	-	-	
		-		≤	10	-	yes
		0,50		≤	20	-	yes
		10,51		≤	0,6	-	yes
Airtightness	Pressurization test result n ₅₀ 1/h	0,6		≤	120	-	yes
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand kWh/(m ² a)	61		≤	-	-	-
		33		≤	-	-	
Primary Energy Renewable (PER)	Generation of renewable energy (in relation to projected building footprint area)	7		≥	-	-	-

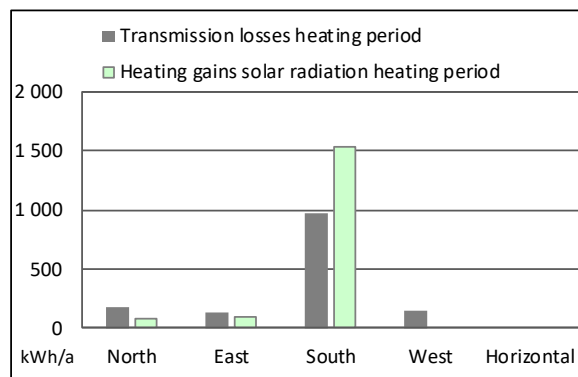
² Empty field: Data missing; '-': No requirement

Dados Climáticos: Porto

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Days	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
ud--01-PT0002b-Porto	Latitude °	41,1	Longitude °	-8,6	Altitude [m]	93	Daily temperature swing Summer [K]				8,8	
Exterior temperature	9,7	10,7	12,4	13,6	15,8	18,9	20,2	20,5	19,2	16,4	12,8	10,7
Radiation North	16	19	28	35	49	56	55	44	28	24	17	14
Radiation East	43	52	85	98	117	126	134	130	98	67	47	28
Radiation South	98	107	129	113	99	92	102	121	136	123	108	71
Radiation West	43	52	85	98	117	126	134	130	98	67	47	28
Horizontal radiation	56	77	129	162	201	222	232	202	150	99	63	44
Dew point temperature	6,7	7,5	8,2	9,4	11,3	14,1	15,9	15,8	15,2	12,7	9,6	7,7
Sky temperature	0,1	1,1	1,9	2,2	4,3	7,2	9,3	9,1	9,6	7,7	3,9	1,8
Ground temperature	16,4	15,8	15,7	16,1	16,9	19,7	20,5	21,1	21,1	18,9	18,1	17,2

Balanço das janelas

Window area orientation	Glazing area
Standard values →	m ²
North	2,88
East	2,23
South	22,00
West	3,34
Horizontal	0,00
Total or average value for a	30,46



PHPP Verification - Habitação unifamiliar em Santa Maria da Feira

		Treated floor area m²		Criteria	Alternative criteria	Fulfilled? ²
Space heating	Heating demand kWh/(m²a)	273,4	≤	15	-	yes
	Heating load W/m²	3,5	≤	-	10	
	Cooling & dehum. demand kWh/(m²a)	7,6	≤	-	-	
Space cooling	Cooling load W/m²	-	≤	-	-	-
	Frequency of overheating (> 25 °C) %	-	≤	10	-	yes
	Frequency of excessively high humidity (> 12 g/kg) %	0,1	≤	20	-	yes
Airtightness	Pressurization test result n ₅₀ 1/h	10	≤	0,6	-	yes
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand kWh/(m²a)	0,6	≤	120	-	yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand kWh/(m²a)	51	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building footprint area)	24	≥	-	-	
		0				

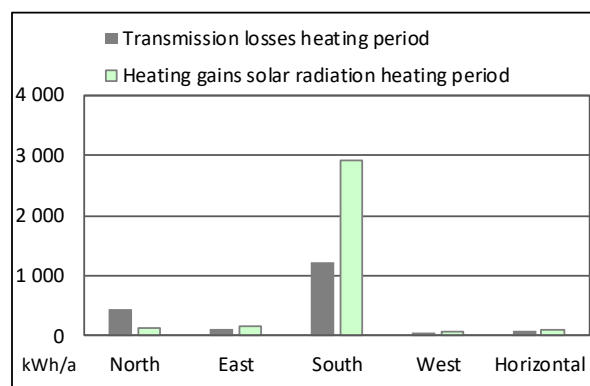
² Empty field: Data missing; '-': No requirement

Dados Climáticos: Porto

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Days	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
ud--01-PT0002b-Porto	Latitude °	41,1	Longitude °	-8,6	Altitude [m]	93	Daily temperature swing Summer [K]			8,8		
Exterior temperature	9,5	10,5	12,2	13,4	15,6	18,7	20,0	20,3	19,0	16,2	12,6	10,5
Radiation North	16	19	28	35	49	56	55	44	28	24	17	14
Radiation East	43	52	85	98	117	126	134	130	98	67	47	28
Radiation South	98	107	129	113	99	92	102	121	136	123	108	71
Radiation West	43	52	85	98	117	126	134	130	98	67	47	28
Horizontal radiation	56	77	129	162	201	222	232	202	150	99	63	44
Dew point temperature	6,7	7,5	8,2	9,4	11,3	14,1	15,9	15,8	15,2	12,7	9,6	7,7
Sky temperature	0,1	1,1	1,9	2,2	4,3	7,2	9,3	9,1	9,6	7,7	3,9	1,8
Ground temperature	16,8	16,4	16,3	16,6	19,1	19,8	20,4	20,8	20,8	20,6	18,0	17,4

Balanco das janelas

Window area orientation	Glazing area
Standard values →	m²
North	6,98
East	1,19
South	22,53
West	0,75
Horizontal	1,18
Total or average value for all	32,62



PHPP Verification - Habitação unifamiliar em Óbidos

		Treated floor area m²			Criteria	Alternative criteria	Fulfilled? ²
Space heating	Heating demand kWh/(m²a)	391,0		≤	15	-	yes
	Heating load W/m²	2,7		≤	-	10	
	Cooling & dehum. demand kWh/(m²a)	9,9		≤	-	-	
Space cooling	Cooling load W/m²	-		≤	-	-	-
	Frequency of overheating (> 25 °C) %	-		≤	10	-	
	Frequency of excessively high humidity (> 12 g/kg) %	3,8		≤	20	-	
Airtightness	Pressurization test result n ₅₀ 1/h	9		≤	0,6	-	yes
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand kWh/(m²a)	0,6		≤	#N/D	-	#N/D
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand kWh/(m²a)			≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building footprint area)	0		≥	-	-	

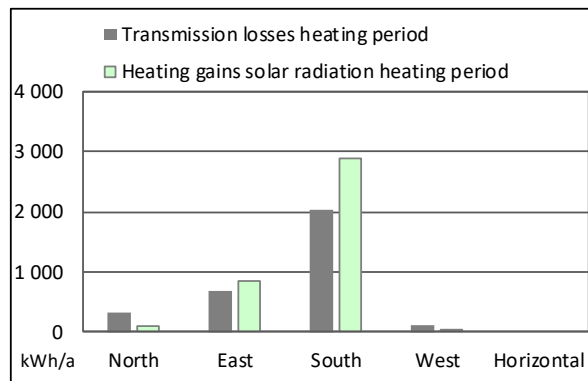
² Empty field: Data missing; '-': No requirement

Dados Climáticos: Leiria

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Days	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
ud---03-PT0013a-Leiria	Latitude °	39,8	Longitude °	-8,8	Altitude [m]	30	Daily temperature swing Summer [K]				9,4	
Exterior temperature	10,4	11,5	13,4	14,5	16,7	19,5	20,8	21,1	19,9	17,3	13,3	11,3
Radiation North	17	20	30	39	51	57	56	44	29	24	16	15
Radiation East	48	55	93	104	121	129	136	134	100	74	50	43
Radiation South	109	113	137	108	98	90	99	121	134	138	114	100
Radiation West	48	55	93	104	121	129	136	134	100	74	50	43
Horizontal radiation	64	82	137	168	208	229	236	213	156	110	67	54
Dew point temperature	7,7	8,4	9,5	10,1	11,9	14,3	15,8	16,2	15,5	13,8	10,4	8,5
Sky temperature	2,2	2,8	3,5	3,1	5,0	7,3	8,7	9,2	10,1	9,1	5,4	3,0
Ground temperature	16,7	16,1	16,0	16,4	18,6	19,5	20,4	20,9	21,0	20,6	18,4	17,5

Balanco das janelas

Window area orientation	Glazing area
Standard values →	m²
North	5,53
East	18,65
South	48,80
West	2,78
Horizontal	0,00
Total or average value for all	75,75



PHPP Verification - Habitação unifamiliar em Torres Vedras

	Treated floor area m²	398,4				
Space heating	Heating demand kWh/(m²a)	10	≤	15	-	yes
	Heating load W/m²	12	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand kWh/(m²a)	2	≤	15	15	yes
	Cooling load W/m²	7	≤	-	10	
	Frequency of overheating (> 25 °C) %	-	≤	-		-
	Frequency excessively high humidity (> 12 g/kg) %	10	≤	10		yes
Airtightness	Pressurization test result n ₅₀ 1/h	0,6	≤	0,6		yes
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand kWh/(m²a)	4	≤	120		yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand kWh/(m²a)	2	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy kWh/(m²a)	0	≥	-	-	

² Empty field: Data missing; '-': No requirement

Dados Climáticos: Sintra

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Days	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
ud---01-PT0015a-Sintra	Latitude °	38,8	Longitude °	-9,4	Altitude [m]	205	Daily temperature swing Summer [K]			8,9		
Exterior temperature	10,2	11,2	12,9	14,0	16,3	19,6	21,2	21,8	20,5	17,4	13,5	11,2
Radiation North	17	20	29	35	52	57	57	43	28	25	17	15
Radiation East	53	58	93	108	123	128	141	130	103	75	56	43
Radiation South	125	119	133	113	98	87	98	117	137	137	127	103
Radiation West	53	58	93	108	123	128	141	130	103	75	56	43
Horizontal radiation	70	88	138	174	211	229	245	209	161	112	75	55
Dew point temperature	7,4	8,0	9,0	9,8	11,8	14,7	16,0	16,3	15,7	13,7	10,2	8,5
Sky temperature	2,3	2,7	3,4	2,8	4,7	7,7	9,3	10,0	10,8	9,3	5,7	3,4
Ground temperature	16,2	15,3	15,1	15,6	16,7	19,4	20,6	21,5	21,7	19,8	18,7	17,4

Balanço das janelas

Window area orientation	Glazing area
Standard values →	m²
North	14,26
East	22,73
South	22,75
West	42,85
Horizontal	0,00
Total or average value for all	102,60

